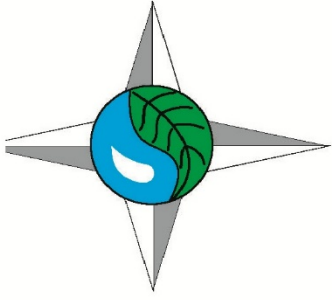


ISSN 2311-0902 (print)
ISSN 2616-7271 (online)



Номер 21

Issue 21

2018

**УКРАЇНСЬКИЙ
ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНИЙ
ЖУРНАЛ**

Ukrainian Hydrometeorological Journal

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Ministry of Education and Science of Ukraine

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Odessa State Environmental University

**У К Р А Ї Н С Ь К И Й
Г І Д Р О М Е Т Е О Р О Л О Г І Ч Н И Й
Ж У Р Н А Л**

Ukrains'kij Gidrometeorologičnij Žurnal

Ukrainian Hydrometeorological journal

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ
Scientific Journal

Друкується 2 рази на рік
Issued: 2 times a year

Заснований у 2005 р.
Founded in 2005 y.

№ 21, 2018

**Одеса
ТЕС
2018**

Головний редактор

Ю. С. Тучковенко, д-р геогр. наук, проф.,
проректор з наукової роботи ОДЕКУ
(Одеський державний екологічний університет)

Заступники головного редактора

В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.,
проректор з навчально-методичної роботи ОДЕКУ;
редактор розділів : Метеорологія
і кліматологія, Агриметеорологія

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри
гідроекології та водних ресурсів ОДЕКУ;
редактор розділу : Гідрологія суші,
водні ресурси, гідрохімія

Т. А. Сафранов, д-р геол.-мінер. наук, проф.,
зав. кафедри екології та охорони довкілля ОДЕКУ;
редактор розділу : Конструктивна географія і
раціональне використання природних ресурсів

Редакційна колегія

Український склад : **М. А. Берлінський**, д-р геогр. наук, проф.,
зав. кафедри океанології та морського природокористування
ОДЕКУ; **В. В. Гребін**, д-р геогр. наук, проф. кафедри гідрології та
гідроекології Київського національного ун-ту ім. Тараса Шевченка;
С. В. Іванов, д-р геогр. наук, старш. наук. співроб., пров. наук.
співроб. науково-дослідної частини ОДЕКУ; **М. І. Кульбіда**, канд.
геогр. наук, директор Українського гідрометеорологічного центру,
м. Київ; **А. М. Польовий**, д-р геогр. наук, проф., зав. кафедри
агриметеорології та агроекології ОДЕКУ; **В. А. Овчарук**, д-р
геогр. наук, доцент, директор Гідрометеорологічного інституту
ОДЕКУ; **С. М. Степаненко**, д-р фіз.-мат. наук, проф., ректор
ОДЕКУ; **В. М. Тімченко**, д-р геогр. наук, проф., зав. відділом
екологічної гідрології та управління водними екосистемами
Інституту гідробіології НАН України; **Ж. Р. Шакирзанова**, д-р
геогр. наук, проф., зав. кафедри гідрології суші ОДЕКУ.

Зарубіжний склад : **А. А. Бакланов**, д-р фіз.-мат. наук,
проф. метеорології, геофізики, ст. наук. співроб. Датського
метеорологічного інституту; асоційований проф. Інституту Нільса
Бора Копенгагенського ун-ту (Данія); **С. С. Зілітінкевич**, д-р фіз.-
мат. наук, проф. метеорології, геофізики; директор з досліджень,
відділ наук про атмосферу, ун-т Хельсінкі; дослідницький проф.,
Фінський метеорологічний ін-т (Фінляндія); **О. Макарінський**,
PhD в географії, пров. наук. співроб., Австралійський інститут
морських наук, дослідницький центр "Арафура-Тимор" (Австралія);
Д. Макарінська, PhD у геофізиці, Служба якості води/ Відділ
водних ресурсів, Департамент екології та природних ресурсів
(Австралія).

О. І. Маруніч, відповідальний секретар, співроб. редакційно-
видавничого відділу ОДЕКУ

"Український гідрометеорологічний журнал" є спеціалізованим науковим виданням, у якому публікуються результати теоретичних та експериментальних наукових досліджень у сфері «Гідрометеорологія» (метеорологія і кліматологія; агриметеорологія; гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія; океанологія) та «Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів» Наук про Землю з метою інформування щодо результатів наукових досліджень і сучасного стану вирішення проблем, підвищення наукового рівня фахівців, обміну досвідом, розвитку вищої освіти за відповідними напрямками.

Журнал призначений для науковців, науково-педагогічних працівників закладів вищої освіти, студентів, аспірантів та докторантів, фахівців у галузі природничих наук.

"Ukrainian Hydrometeorological Journal" is the specialized scientific periodical publishing the results of theoretical and experimental research in the areas of "Hydrometeorology" (Meteorology and Climatology; Agricultural Meteorology; Hydrology and Water Resources, Hydrochemistry; Oceanography) and "Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources" of the Earth Sciences. The journal aims to report the results of scientific research and the state-of-the-art of above areas, to raise the scientific level of experts, to share experience and to develop higher education of the relevant areas.

The journal is intended for use by scientists, scientific and pedagogical workers of higher education establishments, students, postgraduate students and postdoctoral researchers, experts in the field of natural sciences.

Editor-in-Chief

Yu. S. Tuchkovenko, Dr. Scient. in Geography, Prof.,
Vice-Rector for Research of OSENU
(Odessa State Environmental University)

Deputies of Editor-in-Chief

V. M. Khokhlov, Dr. Scient. in Geography, Prof.,
Vice-Rector for Educational Methodology of OSENU;
Editor of the sections : Meteorology and Climatology,
Agricultural Meteorology

N. S. Loboda, Dr. Scient. in Geography, Prof.,
Head of the Department of Hydroecology
and Water Resources of OSENU;
Editor of the section : Hydrology,
Water Resources, Hydrochemistry

T. A. Safranov, Dr. Scient. in Geology & Mineralogy,
Prof., Head of the Department of Ecology and
Environmental Protection of OSENU;
Editor of the section : Constructive Geography
and Rational Use of Natural Resources

Editorial board

Ukrainian Staff : **M. A. Berlinsky**, Dr. Scient. in Geography, Prof.,
Head of the Department of Oceanography and Marine Nature
Management of OSENU; **V. V. Grebin**, Dr. Scient. in Geography,
Prof. of the Department of Hydrology and Hydroecology of Taras
Shevchenko National University of Kyiv; **S. V. Ivanov**, Dr. Scient. in
Geography, Senior Scientist, Lead Research Scientist of the Research
Division of OSENU; **M. I. Kulbida**, PhD in Geography, Director of the
Ukrainian Hydrometeorological Centre, Kyiv; **A. M. Polevoi**,
Dr. Scient. in Geography, Prof., Head of the Department of
Agrometeorology and Agroecology of OSENU; **V. A. Ovcharuk**,
Dr. Scient. in Geography, Assoc. Prof., Director of the
Hydrometeorological Institute of OSENU; **S. M. Stepanenko**,
Dr. Scient. in Physics & Mathematics, Prof., Rector of OSENU;
V. M. Timchenko, Dr. Scient. in Geography, Prof., Head of the
Department of Ecological Hydrology and Water Ecosystem
Management of the Institute of Hydrobiology of the National Academy
of Sciences of Ukraine; **J. R. Shakhirzanova**, Dr. Scient. in
Geography, Prof., Head of the Department of Hydrology of Land of
OSENU.

Foreign Staff : **Alexander Baklanov**, Dr. Scient. in Physics &
Mathematics (Meteorology, Geophysics), Prof. of Meteorology,
Geophysics, Senior Scientist /project leader at Danish Meteorological
Institute, Research Department; Adjoint Professor at the Niels Bohr
Institute of the University of Copenhagen; **Sergej Zilitinkevich**, Dr.
Scient. in Physics & Mathematics (Meteorology, Geophysics), Prof. of
Geophysics, Meteorology, Director of Research, Division of
Atmospheric Sciences, University of Helsinki; Research Professor,
Finnish Meteorological Institute; **Oleg Makarynskyy**, PhD in
Geography, Lead Research Scientist, Australian Institute of Marine
Science, Arafura Timor Research Facility, Australia; **Dina
Makarynska**, PhD in Geophysics, Aquatic Health Unit / Water
Resources Division, Department of Environment and Natural Resources,
Australia.

O. I. Marunych, Executive Secretary, Fellow of Editorial and
Publishing Department of OSENU



ЗМІСТ

CONTENTS

Метеорологія і кліматологія

Meteorology and Climatology

- Кривобок А. А., Кривошеин А. О., Коман М. М., Крупа Е. О.* Український сегмент системи гро-
зопеленгации ENTLN 5
Kryvobok O. A., Kryvoshein O. O., Komar M. M., Krupa E. O. Ukrainian segment of the ENTLN
(Lightning Finding System)
- Юссеф Ель Хадри, Хохлов В. М.* Результати роз-
рахунків регіональних кліматичних моделей 21
кількості загальної хмарності в Марокко на пе-
ріод 2020-2050 рр.
Youssef El Hadri, Khokhlov V. M. Simulation of
regional climate models of total cloud fraction in
Morocco for the period of 2020-2050

Агрометеорологія

Agricultural Meteorology

- Margaryan V. G., Mkhitaryan M. S.* Assessment
and analysis of heat provision vulnerability in the 28
main wine-producing region of Armenia (Ararat
Valley and foothill area) within the context of
expected climate change
Margaryan V. G., Mkhitaryan M. S. Assessment
and analysis of heat provision vulnerability in the
main wine-producing region of Armenia (Ararat
Valley and foothill area) within the context of
expected climate change
- Данілова Н. В.* Оцінка впливу змін клімату на
продуктивність проса в центральному районі 35
України
Danilova N. V. Evaluation of the influence of cli-
mate change on the productivity of millet in the
central part of Ukraine

Гідрологія суші, водні ресурси, гідрохімія

Hydrology, Water Resources, Hydrochemistry

- Лобода Н. С., Яров Я. С.* Оцінка впливу зрошу-
вання за рахунок річки-донора (Дністра) на ха- 42
рактеристики річного стоку річки Барабой
Loboda N. S., Yarov Ya. S. Evaluation of influence
of irrigation using the resources of donor river (the
Dniester) on characteristics of the annual water
runoff of the Baraboy River
- Лобода Н. С., Отченаш Н. Д., Гриб О. М.* Опис
штучних водойм на водозборі річки Великий 50
Куяльник та регламентування їх роботи у су-
часності та майбутньому
Loboda N. S., Otchenash N. D., Hryb O. M.
Description of artificial reservoirs within the
catchment area of the Great Kuyalnik river and
regulation of their operation at the present time and
in future
- Яров Я. С., Лобода Н. С.* Вплив тривалого до-
норського зрошування на якість підземних вод у 60
Південно-степовій зоні України
(на прикладі р. Барабой, Одеська область)
Yarov Ya. S., Loboda N. S. Influence of long-term
donor irrigation on quality of underground water in
the South-Steppe zone of Ukraine (case of the
Baraboy River, Odessa region)

Океанологія

Oceanography

- Тучковенко Ю. С., Тучковенко О. А.* Модель звт-
рофікації морських і лиманних екосистем се- 75
веро-західного Причорномор'я
Tuchkovenko Yu. S., Tuchkovenko O. A. The model
of eutrophication of marine and estuarine
ecosystems in the northwest Black Sea region

- Берлінський Н. А.* Гідрологічні фактори формування кислородного режиму внутрішніх морей **90** *Berlinsky N.* Hydrological factors of formation of oxygen regime of inland seas

Конструктивна географія і раціональне використання природних ресурсів

Constructive Geography and Rational Use of Natural Resources

- Сафранов Т. А., Черкез Є. А., Шаталін С. М.* Оцінка сприятливості території Одеської області для розміщення полігонів твердих побутових відходів **98** *Safranov T. A., Cherkez Ye. A., Shatalin S. M.* Evaluation of the extent of favourableness of the territory of the Odesa region for placement of solid household waste landfills

- Михайленко В. І., Шаніна Т. П., Сафранов Т. А.* Основні джерела ненавмисного утворення стійких органічних забруднюючих речовин (на прикладі міста Одеса) **110** *Mykhailenko V. I., Shanina T. P., Safranov T. A.* Main sources of unintentional production of persistent organic pollutants (the case of Odesa)

УДК 551.501; 551.508; 551.594

УКРАИНСКИЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМЫ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ ENTLN

Кривобок А. А., канд. геогр. наук,
Кривошеин А. О., канд. геогр. наук
Коман М. М.
Крупа Е. О.

*Украинский гидрометеорологический институт
03028, г. Киев, проспект Науки, 37., krivoshein@uhmi.org.ua*

В статье рассматривается украинский сегмент системы грозопеленгации компании Earth Networks, созданный в 2016 году. Он состоит из 12 датчиков, установленных на метеорологических станциях в разных частях Украины. В статье описываются общие принципы функционирования данного сегмента в составе общей системы грозопеленгации и рассматриваются примеры ее работы в период лета-осени 2016 года.

Ключевые слова: грозопеленгация, система ENTLN, обработка данных, грозовые разряды.

1. ВВЕДЕНИЕ

Система грозопеленгации имеет большое значение для метеорологической безопасности государства, благодаря своевременным прогнозам стихийных метеорологических явлений погоды и их влиянию, практически, на все отрасли промышленности и социальной деятельности человека. Именно поэтому, созданию и функционированию подобных систем придавалось огромное значение в различных странах мира. В настоящее время более 60 систем грозопеленгации работают по всему земному шару. Например, в США действуют несколько частных и государственных компаний, среди которых можно выделить WeatherBug Total Lightning Network (WTLN), National Lightning Detection Network (NLDN) и United States Precision Lightning Network (USPLN) [1-5]. В Европе, необходимо отметить, помимо национальных систем, как правило, работающих в границах отдельных государств, общеевропейскую - EUCLID (EUropean Cooperation for Lightning Detection) [6], которая объединяет 147 датчиков грозопеленгации, расположенных в 27 странах Европы. В Японии, Бразилии, Канаде, Южной Африке, Австралии, России и Китае также действуют национальные системы грозопеленгации, имеющие свои функциональные особенности [7-14]. Помимо национальных систем в последнее время интенсивно развиваются глобальные сети грозопеленгации, среди которых можно отметить систему грозопеленгации компании Vaisala (GLD360), вероятность обнаружения молниевых разрядов которой составляет около 80 % при точности определения местоположения разряда от 2 до 5 км [15, 16], а также систему грозопе-

леленгации World Wide Lightning Location Network (WWLLN), датчики которой могут располагаться в тысячах километрах друг от друга [17, 18]. Последние исследования показали, что вероятность обнаружения гроз и молний этой сети составляет около 30 % и точность локации около 50 км [19-20].

В последнее время подобные системы создаются частными компаниями, которые устанавливают датчики не только в одной стране, а в целом регионе, континенте или по всему земному шару, объединенные в единую сеть грозопеленгации. Примерами таких коммерческих сетей являются Earth Networks (США) и LINET-Nowcast (Германия) [1, 21, 22].

Работа всех подобных сетей основана на принципе получения информации с распределенной сети датчиков, ее дальнейшей обработкой и анализом в децентрализованной («облачной») инфраструктуре с последующим распределением обработанных результатов потребителям. Причем количество датчиков зависит от их определенных особенностей, характеризующих вероятность обнаружения молниевых разрядов. К таким особенностям, в первую очередь, относится их тип, позволяющий фиксировать электромагнитное излучение (ЭМИ) от молниевых разрядов. Считается, что наиболее эффективными являются датчики, которые фиксируют ЭМИ в низкочастотном (LF/VLF) и высокочастотном (HF/VHF) диапазонах одновременно, что позволяет определять как межоблачные разряды (MP), так и разряды земля-облако (PZO). Первые являются возможными предикторами о последующей интенсивности молниевой активности. Большинство вышеперечисленных сетей имеют

датчики, которые фиксируют ЭМИ в низкочастотной области спектра, что позволяет надежно определять только разряды земля-облако. К таким относится система LINET-Nowcast, которая регистрирует молниевые разряды в диапазоне частот от 10 до 400 кГц (LF/VLF). Число датчиков в сети, в настоящий момент, составляет 450, а заявленная точность около 150 м. Система позволяет идентифицировать как разряды земля-облако, так и межоблачные разряды, однако, вероятность их обнаружения является невысокой.

Существенным преимуществом системы грозопеленгации компании Earth Networks является то, что она позволяет регистрировать электромагнитные сигналы молний в диапазоне от 1 Гц до 12 МГц. Именно благодаря этому более точно определяются пространственное положение МР и РЗО путем анализа спектра электромагнитного сигнала в заявленном диапазоне. В настоящее время установлены 1200 датчиков по всему земному шару. Точность местоположения молниевых разряда определяется количеством датчиков и составляет, например, на территории Европы около 200 м [23].

В Украине до недавнего времени отсутствовали современные системы грозопеленгации, которые дают возможность получать более правдоподобную информацию о грозовой активности, чем спутниковые и радиолокационные измерения [24]. Именно поэтому Украинский гидрометеорологический институт (УкрГМИ) и Украинский Гидрометцентр (УкрГМЦ) инициировали создание подобной системы. Это связано с наблюдающимся большим количеством стихийных метеорологических явлений, вызванных конвективными процессами в теплый период года [25], приводящим к значительным разрушениям инфраструктуры и гибели людей. Анализ возможностей современных систем грозопеленгации, о которых говорилось выше, показал, что наиболее совершенные системы имеют точность локации грозового разряда менее 200 метров, фиксируют как разряды земля-облако, так и межоблачные, которые, в свою очередь, являются предикторами наиболее опасных разрядов земля-облако и сопутствующих им стихийных явлений погоды (смерчи, град, сильный ветер). Из-за отсутствия отечественного производителя подобных систем с вышеперечисленными характеристиками фиксации молниевых разрядов, был проведен поиск коммерческих компаний, предлагающих подобные услуги. Наиболее привлекательный вариант сотрудничества получен от американской компании Earth Networks (США) и

принято решение об использовании датчиков этой компании и интегрировании их в общую сеть ENTLN (Earth Networks Total Lightning Network) для оценивания и предупреждения грозовой активности на территории Украины.

Таким образом, целью данной работы является описание общих принципов функционирования украинского сегмента системы грозопеленгации компании Earth Networks созданного 2016 году.

2. СИСТЕМА ГРОЗОПЕЛЕНГАЦИИ КОМПАНИИ EARTH NETWORKS (ENTLN)

2.1 Оборудование для получения данных

Сенсор (датчик) системы грозопеленгации состоит из 4 компонентов: антенна грозопеленгации, GPS антенна, процессор цифровой обработки сигнала и сетевое устройство передачи данных (рис. 1).

Антенна грозопеленгации фиксирует электромагнитное излучение на длинах волн от 1 Гц до 12 МГц. Общеизвестно, что межоблачные разряды и разряды земля-облако излучают электромагнитную энергию в широком диапазоне частот [26-29], причем, если разряды земля-облако генерируют низкочастотное излучение (LF/VLF), которое может распространяться на тысячи километров, то межоблачные разряды генерируют коротковолновое излучение (HF/VHF), затухающее в радиусе около 150 км от источника излучения (молниевых разрядов). Поэтому компанией был создан датчик, позволяющий фиксировать излучение по всему указанному спектру электромагнитного излучения. Имея такой спектральный ход электромагнитного излучения разряда (waveform), можно с большей точностью различить межоблачные разряды от разрядов земля-облако. В общем, указанная система позволяет фиксировать до 95 % разрядов земля-облако и более 50 % межоблачных разрядов молний. Процессор цифровой обработки сигнала получает данные о виде спектрального хода электромагнитного излучения разряда от антенны грозопеленгации, времени и местоположении разряда от GPS антенны и передает всю информацию на сетевое устройство. Сетевое устройство, которое управляется микропроцессором, передает данные на «облачный сервер» компании, который анализирует полученную информацию, формирует и передает результаты обработки потребителям. Также сетевое устройство используется для диагностики, калибровки и настройки сенсора.



Рис. 1 - Компоненты сенсора системы грозопеленгації ENTLN



Рис. 2 - Метод локації молний на основі принципу «времени прихода сигнала»

2.2 Точность локализации разрядов молний в пространстве

Для локализации грозового разряда в сети ENTLN используется метод локации молний на основе принципа «времени прихода сигнала» (time of arrival – TOA) [30] (рис. 2). Подробный теоретический анализ этой методологии, называемой как местоположение гиперболических пересечений, проводил Льюис [30]. TOA методы могут давать точное местоположение на боль-

ших расстояниях [31], если датчики правильно расположены и систематические ошибки минимальны. Причем для того, чтобы отсутствовала неопределенность при вычислении местоположения, необходимо, чтобы минимальное количество датчиков (данные от которых используются в определении месторасположения конкретного разряда) было больше или равно четырем.

При получении датчиком сигнала от молниевое разряда сетевое устройство пересылает данные о точном моменте времени фиксации

электромагнитного излучения на «облачный сервер», где, на основе разницы во времени получения сигнала разными датчиками, рассчитывается географическое положение разряда молнии. Для расчетов используются ближайшие датчики (минимум 5, максимум 25). В работе [32] была проанализирована точность определения географического положения разрядов молний данной системы, причем исследовались три координаты: высота, широта и долгота. Сравнение проводилось с данными сети VHF датчиков, которая управляется NASA (DC Lightning Mapping Array), считающейся наиболее точной по фиксации молниевых разрядов на территории США. В результате анализа было показано, что высота, на которой произошел молниевый разряд, определяется системой ENTLN с ошибкой более 1 км. Это связано с тем, что точность фиксации сигнала составляет 7 микросекунд, а простой расчет показал [32], что временная разница между сигналами, пришедшими с расстояния 100 км и с высот 9 и 10 км, составляет 0,3 микросекунды. Задача может быть решена уплотнением сети датчиков (т. е. расположением их через 15 км, вместо существующих 150 км), что приведет, однако, к удорожанию системы. Точность определения географических координат существенно выше, чем вертикальных координат и соответствует 200 метрам, причем в 23 из 24 анализируемых случаях молниевые разряды по датчикам сети VHF находились в области 99 % вероятности их обнаружения системой ENTLN.

2.3 Возможность определения стихийных гидрометеорологических явлений системой ENTLN

Учитывая то, что грозовые явления сопровождаются сильными порывами ветра, смерчами, торнадо и градом, в работе [2] показана связь между количеством межоблачных разрядов (МР) в минуту, разрядов земля-облако (ЗОР) в минуту с указанными опасными явлениями погоды. Следуя этой работе, резкое увеличение количества межоблачных разрядов и отношение МР/ЗОР (рис. 3; 4) могут служить предикторами для возникновения града, сильного ветра, смерча или торнадо. Наиболее опасная конвективная облачность может генерировать большое количество МР и большие значения МР/ЗОР. Чем выше значения МР, тем выше вероятность возникновения града из конвективной облачности. Проводя мониторинг грозовых ячеек, можно, с заблаговременностью до 30 минут, выдавать

оповещения о грозовой опасности. Таким образом, данные сети ENTLN могут быть использованы для обеспечения заблаговременного предупреждения о стихийных метеорологических явлениях.

3. СПЕЦИФИКА ПОСТРОЕНИЯ УКРАИНСКОГО СЕГМЕНТА ENTLN

3.1 Установка датчиков системы гронопеленгации

Для получения информации о молниевых разрядах над территорией Украины с вероятностью обнаружения межоблачных разрядов более 50 %, разрядов земля-облако – 95 % и пространственной точностью обнаружения данных явлений около 200 м, было рассчитано необходимое количество и определено географическое местоположение соответствующих датчиков. Учитывая необходимость сохранности оборудования, была достигнута договоренность с Украинским гидрометеорологическим центром об установке датчиков гронопеленгации на территории метеорологических станций. В таблице 1 указан перечень соответствующих метеостанций, где установлено оборудование.

Сотрудниками УкрГМИ, при поддержке компании Earth Networks, начиная с мая 2016 года, было установлено 12 датчиков гронопеленгации на указанных метеостанциях. Установка проводилась в несколько этапов и была закончена в июле 2016 года. Согласно требованиям к установке датчиков, их вертикальное расположение должно превышать самую верхнюю точку здания на 2-3 метра, и поэтому была реализована соответствующая конструкция крепления блоков сенсора на мачте. На рис. 5 представлены установленные мачты на зданиях метеостанции в п. Аскании Нова, в Гидрометцентре Черного и Азовского морей (г. Одесса) и в УкрГМИ (г. Киев).

3.2 Система обработки и визуализации данных украинского сегмента ENTLN

3.2.1 Внутренняя обработка данных

Первичные данные, полученные от датчиков гронопеленгации, благодаря возможностям существующей у производителя внутренней системы централизованной обработки (проводится первичная валидация, исключение дублирующих сообщений, статистический анализ данных и пороговая обработка данных с низкой точностью определения месторасположения), могут

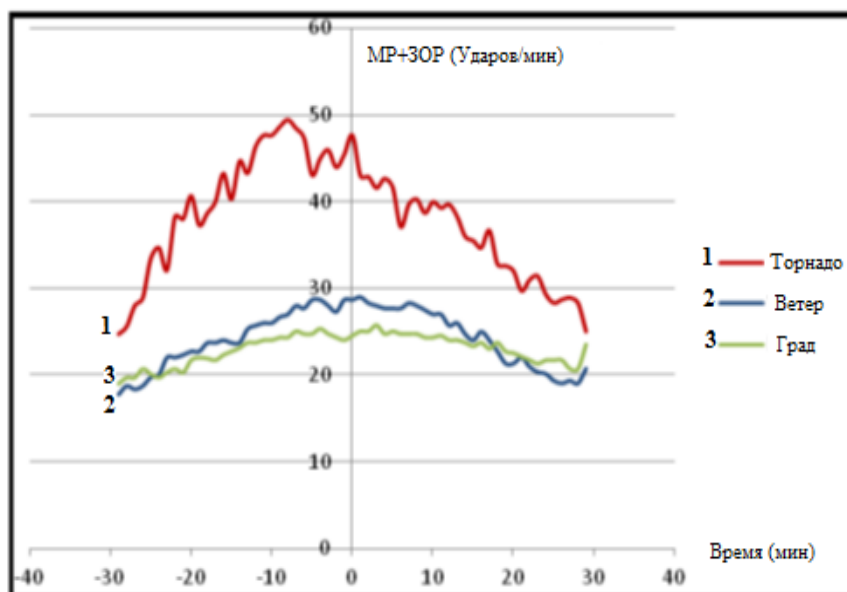


Рис. 3 - Залежність між часовою динамікою кількості МР і ЗОР і виникненням граду, сильного ветра, смерча і торнадо [2]

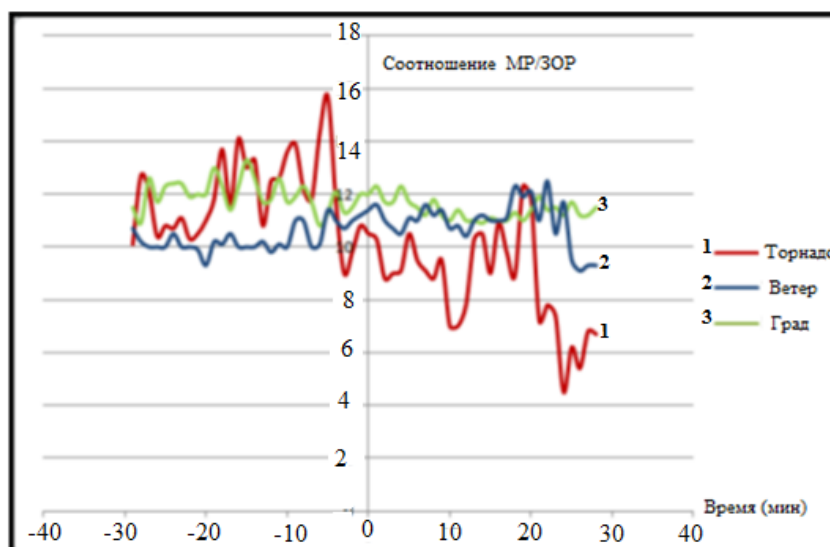


Рис. 4 - Залежність між часовою динамікою відношення МР/ЗОР і виникненням граду, сильного ветра, смерча і торнадо [2]

Таблиця 1 - Перечень метеостанцій, де встановлено обладнання системи грозопеленгації

Номер станції	Назва станції	Широта, в градусах	Долгота, в градусах
33464	г.Смела, Черкасска область	49.80	30.20
33345	г. Киев, УкрГМИ	50.60	30.40
33156	г. Глухов, Сумська область	51.60	34.00
34319	п. Большой Бурлук, Харьковская область	49.60	37.70
33506	г.Полтава, метеостанция	49.60	34.50
33838	Одесса, Гидрометцентр Чорного і Азовського морей	46.40	30.80
33915	п.Аскания Нова, Херсонская область	46.50	33.90
34606	п.Пришиб, Запорожская область	47.60	36.30
33088	г.Ровно	51.30	26.60
33513	г.Стрый, Львовская область	49.20	23.80
33662	г.Новоднестровск, Черновицкая область	48.10	27.07
33647	г.Рахов, Закарпатская область	48.00	24.20



Рис. 5 - Установленные мачты с датчиками грозопеленгации на метеостанции (п. Аскания Нова), в Гидрометцентре Черного и Азовского морей (г. Одесса) и в УкрГМИ (г. Киев)

использоваться потребителем как непосредственно, так и являться исходными для серии продуктов, являющимся результатом обработки с использованием математических, статистических и геоинформационных систем. Наиболее интересной и, в конечном итоге, ценной для потребителя является предварительно обработанная геотегируемая информация, получаемая в режиме реального времени в формате наиболее удобном для интеграции в существующие технологические процессы. Современным требованием, де-факто, является также возможность интеграции данных грозопеленгации в геоинформационные системы (ГИС) и с публичными картографическими сервисами (Google Maps, Yandex Maps, Bing, Yahoo Maps, OSM [33-37]), используя широкий спектр оборудования (специализированные АРМ мониторинга, принятия решений и АСУ ТП предприятий, оперативные стационарные и мобильные центры пр.) и применяя для их построения платформы PC, iOS, Android.

С целью унификации средств исходной обработки данных, формирования гибких возможностей по их вторичной обработке и обеспечения любых необходимых каналов с привлечением современных протоколов передачи данных, с учётом требований к надёжности, доступности, и безопасности передаваемой информации, в УкрГМИ разработана модульная система обработки данных, удовлетворяющая перечисленным требованиям.

Немаловажным фактором в основополагающих требованиях к системе является возмож-

ность ее развёртывания как в целом, так и отдельных её рабочих модулей ввода-вывода на широком спектре промышленного и бытового оборудования с возможностью резервирования компонентов системы и её горизонтального масштабирования с целью создания изолированных защищённых систем обработки и визуализации, а также распределённых высоконадёжных систем обработки и хранения геоинформационных, метеорологических и композитных данных. Эти требования обеспечиваются использованием базового программного обеспечения с открытым исходным кодом (OSS), а также открытого стека технологий в «ядре» системы обработки, являющимся стандартным в современной IT индустрии (WEB сервер Apache/Nginx, СУБД PostgreSQL/PostGIS, использование очереди сообщений (Message Query – MQ) в многопоточной обработке и обмене данными между процессами).

Использование унифицированного внутреннего межмодульного интерфейса прикладного программирования (API) позволило снизить себестоимость разработки системы, и в то же время позволяет легко создавать специализированные модули по передаче данных в необходимом потребителю формате и протоколе обмена, в том числе, выдачей их по зашифрованным каналам в базы данных потребителя.

3.2.2 Визуализация данных

С целью визуализации и тестирования возможностей обработки геотегируемых данных используется подсистема подготовки геоданных

GeoServer с отображением на клиентских средствах с использованием картографических данных проекта OpenStreetMap (рис. 6). Эти технологии используют данные закрытых или условно-бесплатных систем, поддерживающие стандарты Web Feature Service (WFS), Web Coverage Service (WCS), Web Map Service (WMS).

Кроме того, указанные технологии позволяют использовать геотегированные данные сети грозопеленгации совместно с картографическими сервисами и данными из других источников (спутникового зондирования, численных моделей и пр.).

Решения, используемые для обеспечения работы подсистем, предусматривают также создание специализированных веб-приложений по разным видам стихийных метеорологических явлений для различных категорий потребителей (авиация, энергетика, транспорт, связь и пр.). Такими решениями достигается также высокая интеграция различных видов отображения информации, например, для кризисных центров могут отображаться текущие данные сети грозопеленгации, вектор смещений очагов опасных явлений и текущие данные сети метеорологических/гидрологических наблюдений.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ УКРАИНСКОГО СЕГМЕНТА ENTLN В 2016 ГОДУ

Для анализа пространственного и временного распределения грозовой активности над территорией Украины были использованы данные сети грозопеленгации ENTLN с 10 июня до 30 сентября 2016 года. Эти данные включали в себя информацию о географическом местоположении (широта, долгота) молниевых разряда, типе разряда (межоблачный или земля-облако), максимальной силы тока разряда, количества импульсов в разряде и ряд другой информации. Основная идея анализа заключалась в том, чтобы сравнить среднемесячные данные о грозовой активности над территорией Украины в теплый период года (июнь-сентябрь), полученные с помощью новой технологии с соответствующими данными на метеостанциях. Очевидно, что такое сравнение имеет свои недостатки, в первую очередь из-за недостаточного ряда наблюдений сети грозопеленгации, всего четыре месяца, а стандартные метеонаблюдения составляют около 30 лет, во-вторых, если сеть грозопеленгации можно отнести к инструментальным наблюдениям, где молниевый разряд фиксируется по электро-

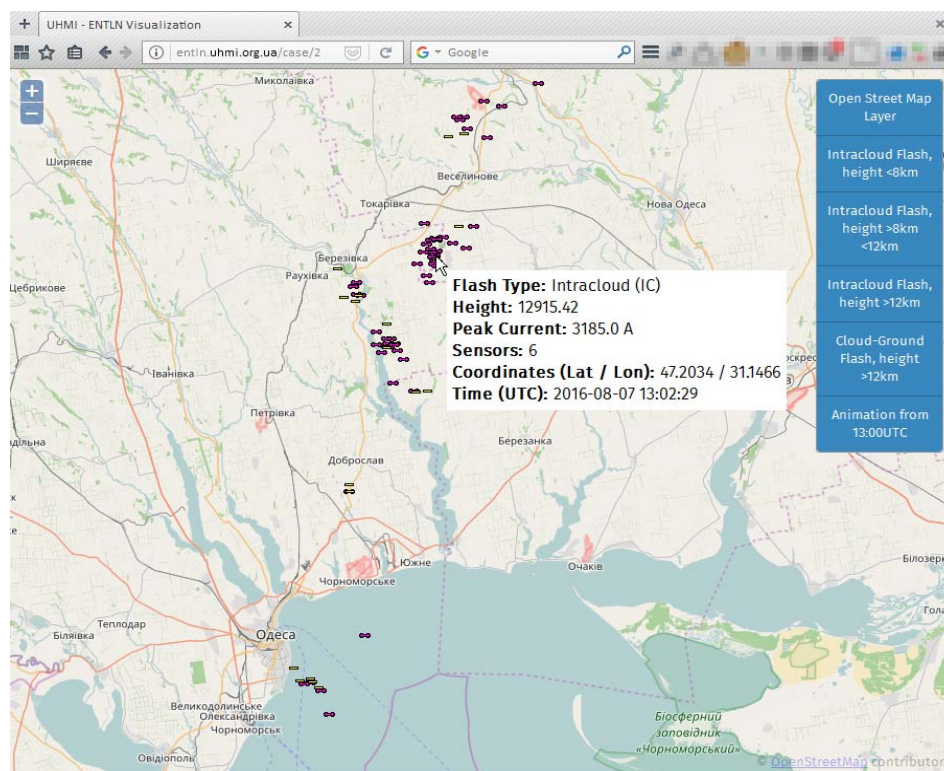


Рис. 6 - Визуализация архивных данных сети грозопеленгаторов в интересующем районе на картографической подложке

магнитному излучению независимо от наблюдателя, то наблюдения на станциях основаны на визуальном или слуховом восприятии (субъективном) дежурного наблюдателя. Тем не менее, об определённых результатах можно говорить уже сейчас.

Основные климатологические особенности пространственно-временного распределения гроз над территорией Украины подробно описаны в работах [25, 38]. В них было отмечено, что районами с наибольшим количеством дней с грозовой активностью являются Украинские Карпаты, Волынская, Подольская, Приднепровская и Донецкая возвышенности, а наименьшее количество наблюдалось в Крыму. Наш анализ показал, что в июне, июле и сентябре большая грозовая активность была в западной части Украины, а в августе - в восточной (рис. 7).

В июне максимальное количество дней с грозой наблюдалось в Киевской области (13 дней), а минимальное – 1 день на южном побережье Крыма, в остальной части Крыма эти значения составили 5-7 дней, что соответствовало средним многолетним значениям. В июле максимальное количество дней отмечалось в Украинских Карпатах (15 дней), что также, достаточно, близко к среднемуголетним – 12 дням. В августе наблюдалось увеличение количества дней на юге и востоке Украины, максимум зафиксирован в Крыму и составил 18 дней, а минимальное количество дней – на северо-западе и составило 3 дня, что не соответствовало среднемуголетним значениям. Это может быть объяснено особенностями атмосферных процессов, которые

характеризовали этот месяц. В сентябре, практически, по всей территории Украины, наблюдалось 1-2 дня с грозовой активностью, что соответствовало средним многолетним значениям. Наибольшее несоответствие между среднемуголетними данными и данными грозопеленгации было при расчёте отношения количества гроз к количеству дней с грозой (рис. 8).

Эти средние многолетние значения находятся в пределах 1.00 – 1.15 [39], наш анализ показал, что вариации данного значения составляют от 1 до 500. Безусловно, что такая большая разница определяется большими технологическими возможностями инструментальных наблюдений, в отличие от субъективной оценки наблюдателя.

Одним из основных преимуществ системы грозопеленгации является возможность фиксации межоблачных разрядов, которые могут характеризовать интенсивность грозовой активности, о чем уже отмечалось в разделе 2.3. Построенные карты месячных значений отношения межоблачных разрядов к разрядам земля-облако (рис. 9) показывают районы, где были наиболее опасные явления. В соответствии с [2] если значения МР/ЗОР будут превышать 10, то появляется большая вероятность возникновения града, сильного ветра, смерча и торнадо.

Таким образом, полученная информация может являться новым, качественным источником данных для климатологических исследований. В то же время, получение данных в режиме реального времени позволяет создавать серии продуктов для широкого круга потребителей, заинтересованных в краткосрочном прогнозировании.

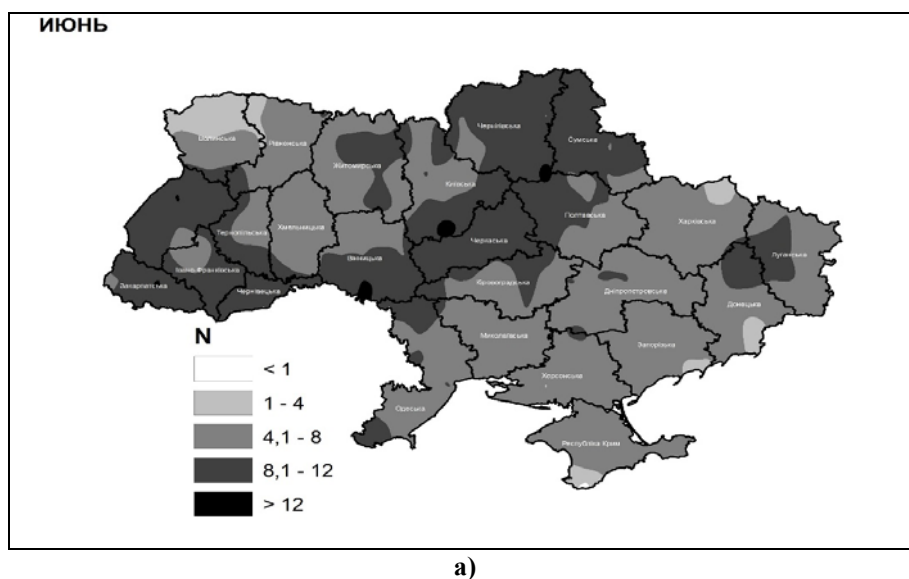
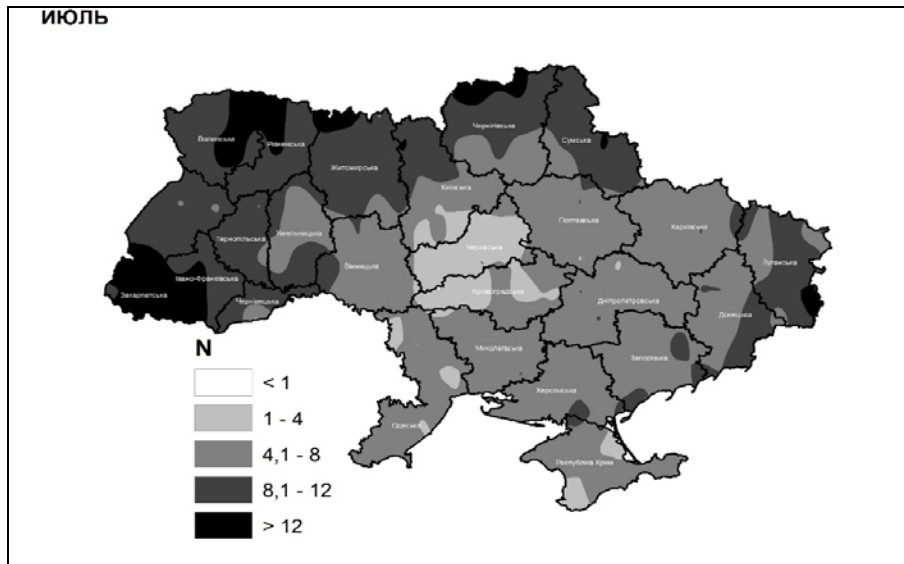
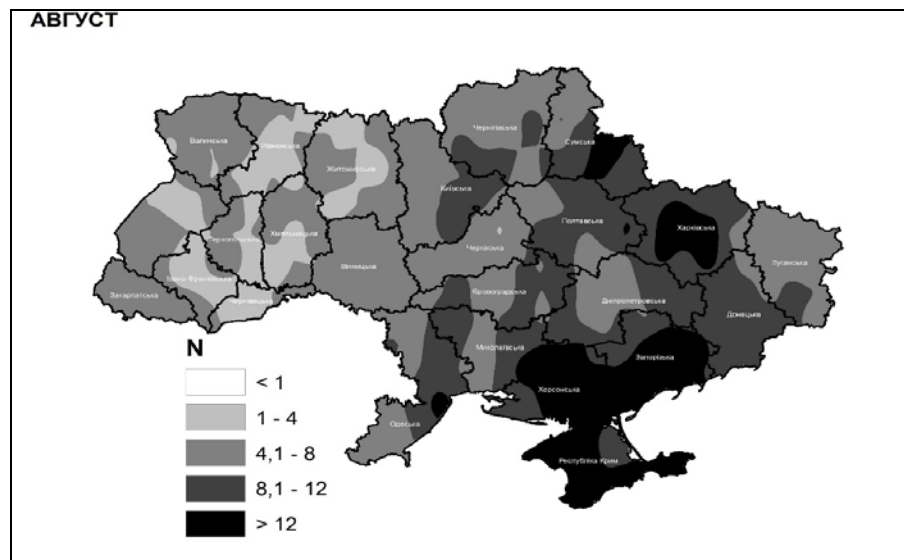


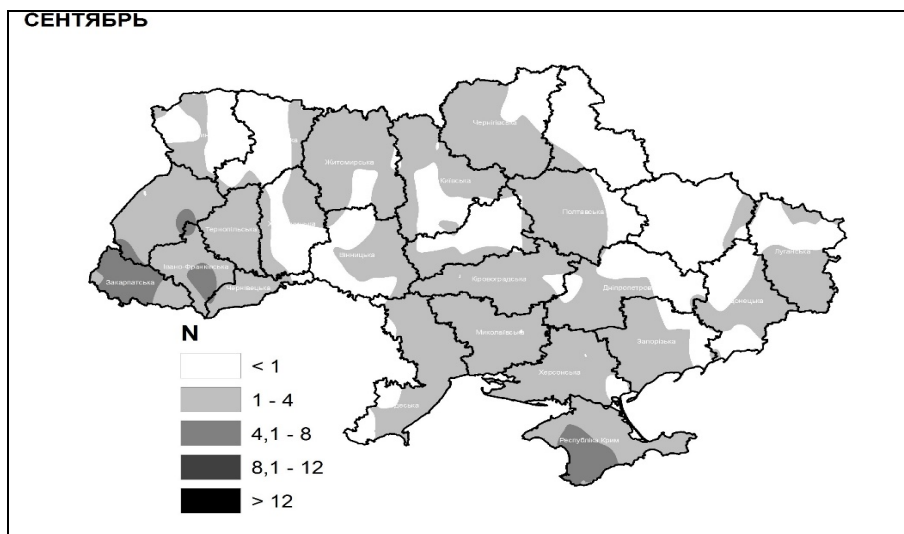
Рис. 7 – Количество дней с грозой (а – июнь, б – июль, в – август; г - сентябрь)



б)

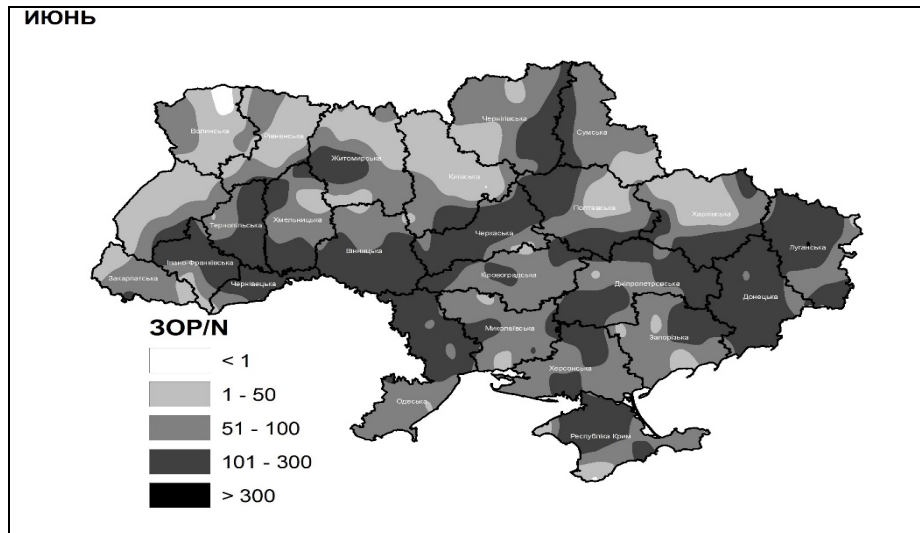


в)

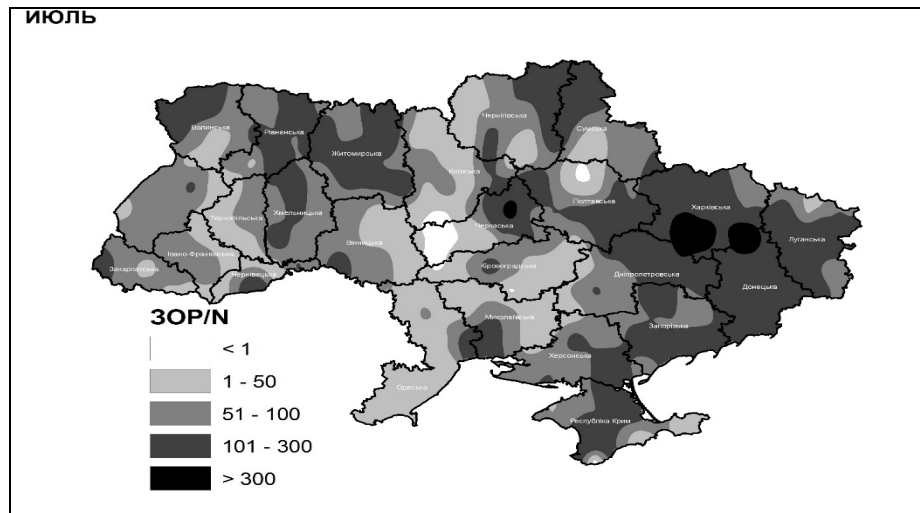


г)

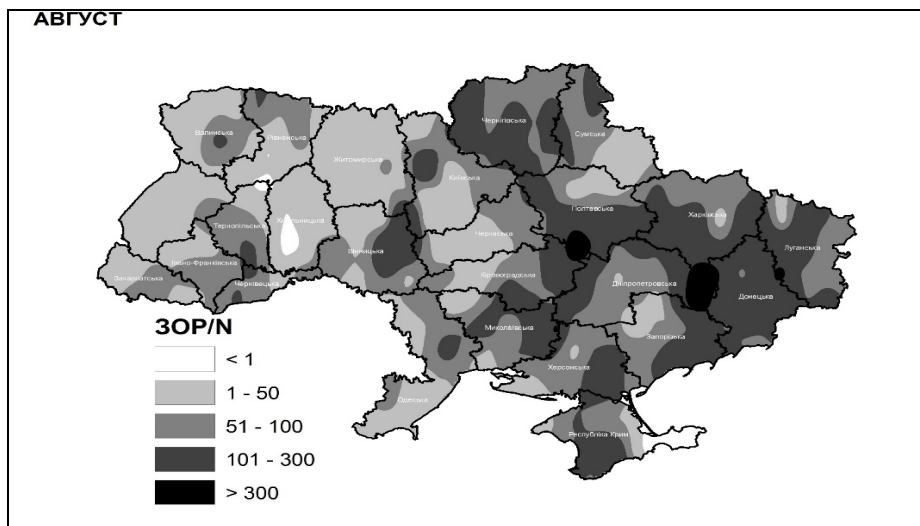
Рис. 7 – Окончание



а)

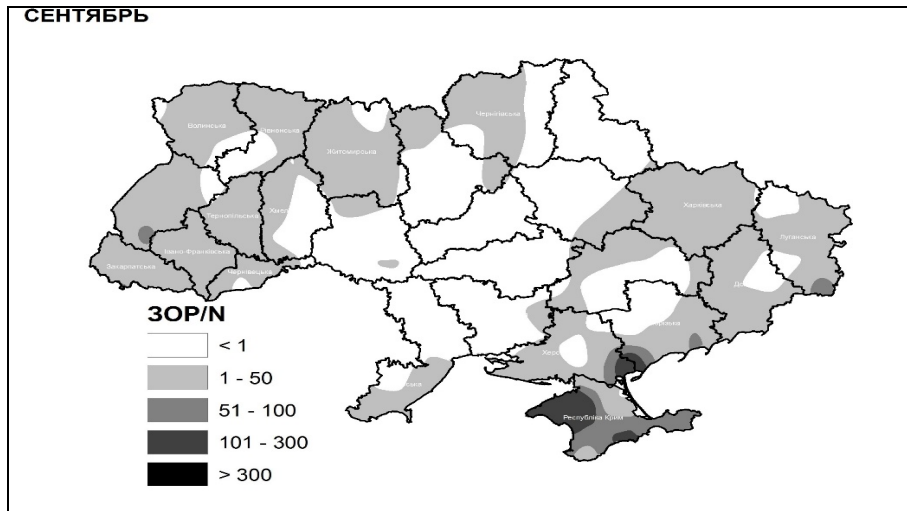


б)



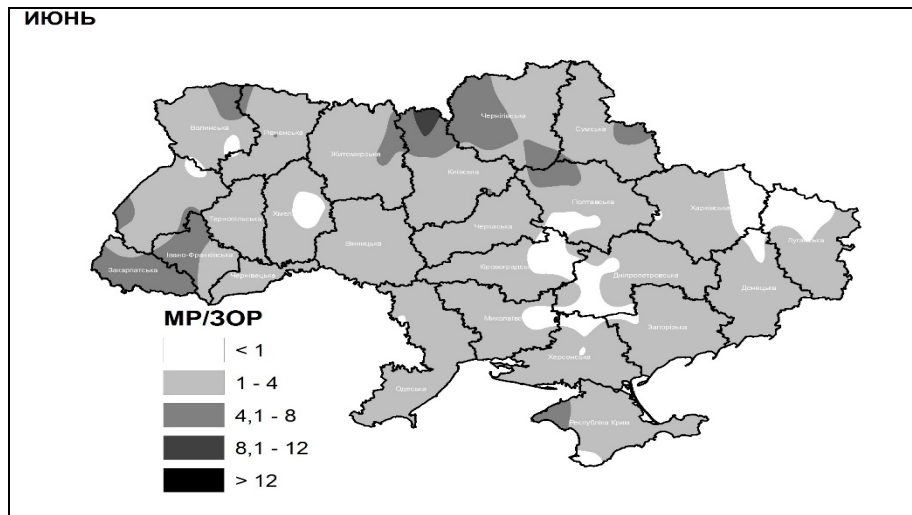
в)

Рис. 8 – Отношения количества гроз к количеству дней с грозой (а – июнь, б – июль; в – август, г - сентябрь)

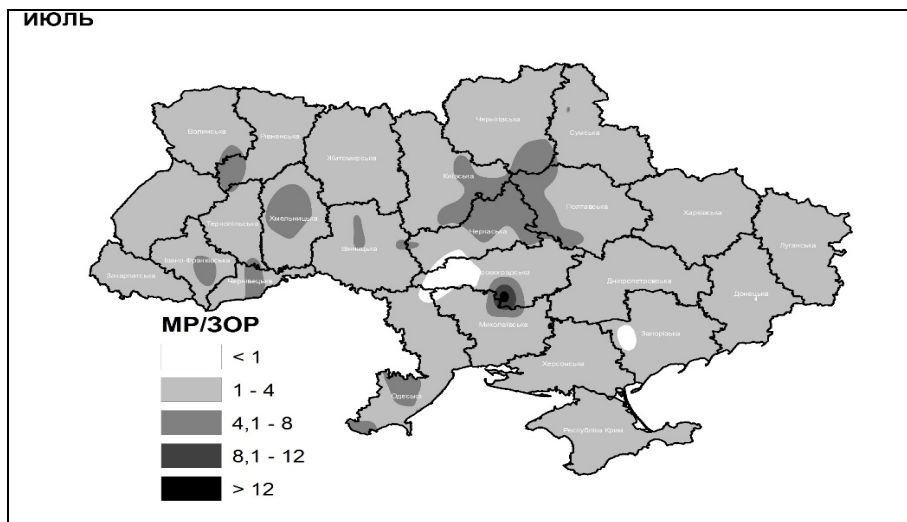


г)

Рис. 8 – Окончание

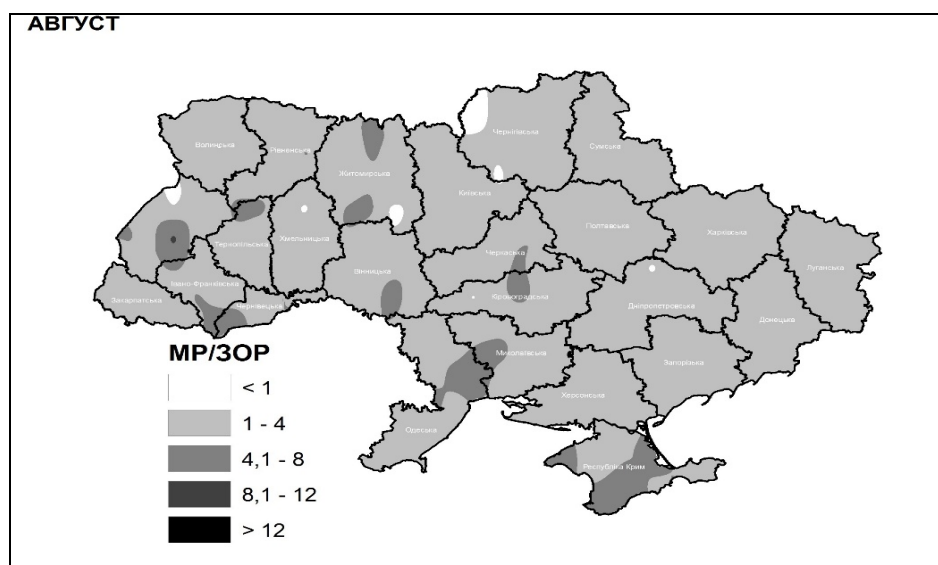


а)

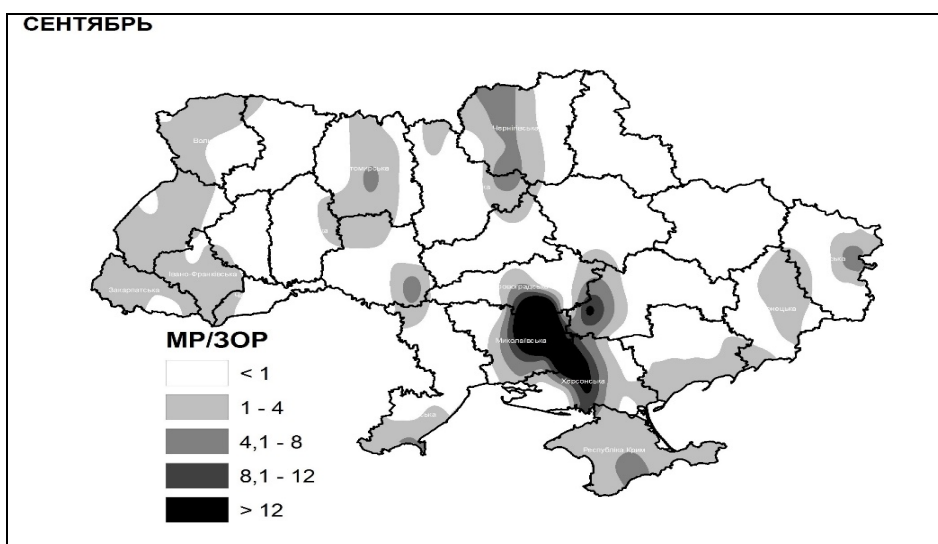


б)

Рис. 9 – Отношение межоблачных разрядов к разрядам в землю (а-июнь; б – июль, в – август; г - сентябрь)



в)



г)

Рис. 9 – Окончание

5. ВЫВОДЫ

Украинский сегмент сети грозопеленгации компании Earth Networks является первой системой, установленной на территории Украины, позволяющей в реальном режиме времени отслеживать грозовую активность. Весь процесс создания данного сегмента составил не более 2 месяцев и состоял из установки 12 датчиков в различных частях Украины. Эти датчики позволяют с высокой точностью фиксировать как межоблачные, так и разряды земля-облако, что подтверждено сравнением с данными метеостанций.

Поскольку, система грозопеленгации предоставляет не только информацию о текущих грозах

и молниях, но и даёт возможность предупредить о наступлении грозового фронта, в будущем планируется разработать систему автоматического оповещения выбранных районов о наступлении грозы и других опасных метеорологических явлений, таких как: шквальный ветер, ливень и град.

Таким образом, установленный Украинский сегмент сети грозопеленгации и грозооповещения, наряду с построенной в УкрГМИ инфраструктурой обработки, визуализации и распространения метеорологических данных, является важным инструментом как для исследовательских целей, так и для обеспечения деятельности различных категорий потребителей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Earth networks company*. URL: <https://www.earthnetworks.com/> (accessed: 10.10.2017)
2. Charlie Liu, Chris Sloop, Stan Heckman. (2014). Application of lightning in predicting high impact weather. *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, July 7-9, Saint Petersburg, Russian Federation*.
3. Cummins, K.L., Pyle, R.B., Fournier, G. (1999). An integrated North American lightning detection network. *Preprints, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, June 7-11, Guntersville, Alabama*, pp. 218-221.
4. Orville, R.E., Huffines, G.R., Burrows, W.R., Holle, R.L., Cummins, K.L. (2002). The North American lightning detection network (NALDN) – First results: 1998-2000. *Monthly Weather Review, August*, 130(8).
5. *TOA system*. URL: <http://www.uspln.com/product.html> (accessed: 10.10.2017).
6. Wolfgang Schulz, Gerhard Diendorfer, Stéphane Pedeboy, Dieter Roel Poelman. (2016). The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 595–605.
7. *Japan Lightning Detection Network (JLDN)*. URL: <http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/> (accessed: 15.10.2017)
8. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O. (2008). The third generation relative detection efficiency model for the brazilian lightning detection network (brasildat). *20th International Lightning Detection Conference, 21-22 April. Tucson, Arizona USA*.
9. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O., Pinto, I. (2006). Different types of detection efficiency models to correct cloud-to-ground data obtained by Lightning Detection Networks. *Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*. SB-RAI, Maceió, CD-ROM, Nov.
10. Abreu, D., Chandan, D., Holzworth, R.H., Strong, K. (2010). A performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) via comparison with the Canadian Lightning Detection Network (CLDN). *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1143-1153.
11. Evert, R., Schulze, G. (2005). Impact of a new lightning detection and location system in South Africa. *Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, 2005 IEEE*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=10730> (accessed: 15.10.2017)
12. *Australian largest lightning detection network*. URL: <http://www.gpats.com.au/> (accessed: 15.10.2017).
13. Jiahong Chen, Yubin Wu, Zhibin Zhao. (2010). The New lightning detection system in China : Its method and performance. *Conference: Electromagnetic Compatibility (APEMC), Asia-Pacific Symposium*.
14. Никитин Д. Системи грозопеленгації на страже електросетевого господарства. *Професійний журнал*. 2010. №06(7, 8). С. 17–20.
15. *Vaisala Lightning detection network*. URL: <http://www.vaisala.com/en/products/thunderstormandlightningdetectionsystems/Pages/GLD360.aspx> (accessed: 17.10.2017)
16. Demetriades, N.W.S., Pohjola, H., Murphy, M.J., Crame, J.A. (2010). Validation of vaisala's global lightning dataset (GLD360). *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, 30 August – 1 September, Helsinki, Finland*.
17. Rodger, C.J., Brundell, J.B., Dowden, R.L. (2005). Location accuracy of VLF World Wide Lightning Location (WWLL) network: Post-algorithm upgrade. *Ann. Geophys.*, 23, 277–290.
18. Rodger, C.J., Werner, S.W., Brundell, J.B., Thomson, N.R., Lay, E.H., Holzworth, R.H., Dowden, R.L. (2006). Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): Initial case study. *Ann. Geophys.*, 24, 3197–3214.
19. Jacobson, A.R., Holzworth, R., Harlin, J., Dowden, R., Lay, E. (2006). Performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN), using the Los Alamos Sferic Array (LASA) as Ground Truth. *J. Atmo. Oceanic Tech.*, 23, 1082–1092.
20. Lay, E.H., Jacobson, A.R., Holzworth, R.H., Rodger, C.J., Dowden, R.L. (2007). Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network. *J. Geophys. Res.*, 112, D13111, doi:10.1029/2006JD007944.
21. Betz, H.D., Schmidt, K., Oettinger, W.P. (2008). LINET—An international VLF/LF lightning detection network in Europe. *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Dordrecht, NL: Springer Verlag, pp. 115-140.
22. Betz, H.D., Schmidt, K., Laroche, P., Blanchet, P., Oettinger, W.P., Defer, E., Dziejewicz, Z., Konarski, J. (2008). LINET—An international lightning detection network in Europe. *Atmos. Res.* doi:10.1016/j.atmosres.2008.06.01
23. Sidik, M.A.B., Shahroom, H.B., Salam, Z., Buntat, Z., Nawawi, Z., Ahmad, H., Jambak, M.I., Arief, Y.Z. (2015). Lightning monitoring system for sustainable energy supply: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, August 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.045
24. Kryvobok, O., Kulbida, M., Savchenko, L. (2011). Monitoring of Severe Weather in Ukraine With the Use of Satellite Data. *Use of satellite and in-situ Data to Improve Sustainability/ Part of the series NATO Science and Security/ Series C/Environmental Security*. Netherlands: Springer, pp. 41-48
25. Клімат України / за ред. Ліпінського В. М. Київ : Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
26. Malan, D.J. (1963). *Physics of Lightning*. London: The English Universities Press, Ltd.
27. Pierce, E.T. (1977). Atmospheric and radio noise, in Lightning. In: R.H. Golde (Ed.). *Lightning: Physics of Lightning*, 01, 351-384.
28. Murphy, M.J., Cummins, K.L. 2-D and 3-D cloud discharge detection, 1998. (1998). *Intl. Lightning Detection Conf.*, Tucson, AZ, Global Atmospheric, Inc.
29. Smith, D.A., Shao, X.M., Holden, D.N., Rhodes, C.T., Brook, M., Krehbiel, P.R. et al. (1999). A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions. *J. Geophys. Res.*, 104, 4189-4212.
30. Lewis, E.A., Harvey, R.B., Rasmussen, J.E. (1960). Hyperbolic direction finding with sferics of transatlantic origin. *J. Geophys. Res.*, 65, 1879–1905.
31. Fagan, D., Meier, R. (2011). Intelligent time of arrival estimation. *IEEE forum on integrated and sustainable*

transportation system (FISTS).

32. Stan Heckman. (2014). ENTLN Status Update. *XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June*, Norman, Oklahoma, U.S.A.
 33. *Google maps APIs*. URL: <https://developers.google.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
 34. *Yandex maps APIs*. URL: <https://tech.yandex.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
 35. *Bing maps*. URL: <https://www.bingmapsportal.com/> (accessed: 01.11.2017)
 36. *Developer network YAHOO*. URL: <https://developer.yahoo.com/maps/> (accessed at 01.11.2017)
 37. *OpenStreetMap/ Wikipedia*. URL: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API> (accessed: 01.11.2017)
 38. Мазин И. П., Хргиан А. Х. Облака и облачная атмосфера. Справочник. Ленинград: Гидрометеоздат, 1989. 646 с.
 39. Логвинов К. Т., Бабиченко В. Н., Кулаковская М. Ю. Опасные явления погоды в Украине. Ленинград: Гидрометеоздат, 1972. 236 с.
- ## REFERENCES
1. *Earth networks company*. Available at: <https://www.earthnetworks.com/> (accessed: 10.10.2017)
 2. Charlie Liu, Chris Sloop, Stan Heckman. (2014). Application of lightning in predicting high impact weather. *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, July 7-9*, Saint Petersburg, Russian Federation.
 3. Cummins, K.L., Pyle, R.B., Fournier, G. (1999). An integrated North American lightning detection network. *Preprints, 11th International Conference on Atmospheric Electricity, June 7-11*, Guntersville, Alabama, pp. 218-221.
 4. Orville, R.E., Huffines, G.R., Burrows, W.R., Holle, R.L., Cummins, K.L. (2002). The North American lightning detection network (NALDN) – First results: 1998-2000. *Monthly Weather Review, August*, 130(8).
 5. *TOA system*. Available at: <http://www.uspln.com/product.html> (accessed: 10.10.2017).
 6. Wolfgang Schulz, Gerhard Diendorfer, Stéphane Pedeboy, Dieter Roel Poelman. (2016). The European lightning location system EUCLID – Part 1: Performance analysis and validation. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16, 595-605.
 7. *Japan Lightning Detection Network (JLDN)*. Available at: <http://www.franklinjapan.jp/contents/observation/jldn/> (accessed: 15.10.2017)
 8. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O. (2008). The third generation relative detection efficiency model for the brazilian lightning detection network (brasildat). *20th International Lightning Detection Conference, 21-22 April*. Tucson, Arizona USA.
 9. Naccarato, K.P., Pinto, Jr.O., Pinto, I. (2006). Different types of detection efficiency models to correct cloud-to-ground data obtained by Lightning Detection Networks. *Proceedings of the International Conference on Grounding and Earthing & 2nd International Conference on Lightning Physics and Effects*. SB-RAI, Maceió, CD-ROM, Nov.
 10. Abreu, D., Chandan, D., Holzworth, R.H., Strong, K. (2010). A performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN) via comparison with the Canadian Lightning Detection Network (CLDN). *Atmos. Meas. Tech.*, 3, 1143-1153.
 11. Evert, R., Schulze, G. (2005). Impact of a new lightning detection and location system in South Africa, *Power Engineering Society Inaugural Conference and Exposition in Africa, 2005 IEEE*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/mostRecentIssue.jsp?punumber=10730> (accessed at 15.10.2017)
 12. *Australian largest lightning detection network*. Available at: <http://www.gpats.com.au/> (accessed: 15.10.2017)
 13. Jiahong Chen, Yubin Wu, Zhibin Zhao. (2010). The New lightning detection system in China: Its method and performance. *Conference: Electromagnetic Compatibility (AP EMC), Asia-Pacific Symposium*.
 14. Nikitin, D. (2010). [Lightning detection system on guard of electric facilities]. *Profesionalnyy zhurnal [Professional magazine]*, 06 (7, 8), 17-20. (in Russ.)
 15. *Vaisala Lightning detection network*. Available at: <http://www.vaisala.com/en/products/thunderstormandlightningdetectionsystems/Pages/GLD360.aspx> (accessed: 17.10.2017)
 16. Demetriades, N.W.S., Pohjola, H., Murphy, M.J., Crame, J.A. (2010). Validation of vaisala's global lightning dataset (GLD360). *Preprints, WMO Technical conference on meteorological and environmental instruments and methods of observation, 30 August – 1 September*, Helsinki, Finland.
 17. Rodger, C.J., Brundell, J.B., Dowden, R.L. (2005). Location accuracy of VLF World Wide Lightning Location (WWLL) network: Post-algorithm upgrade. *Ann. Geophys.*, 23, 277-290.
 18. Rodger, C.J., Werner, S.W., Brundell, J.B., Thomson, N.R., Lay, E.H., Holzworth, R.H., Dowden, R.L. (2006). Detection efficiency of the VLF World-Wide Lightning Location Network (WWLLN): Initial case study. *Ann. Geophys.*, 24, 3197-3214.
 19. Jacobson, A.R., Holzworth, R., Harlin, J., Dowden, R., Lay, E. (2006). Performance assessment of the World Wide Lightning Location Network (WWLLN), using the Los Alamos Sferic Array (LASA) as Ground Truth. *J. Atmo. Oceanic Tech.*, 23, 1082-1092.
 20. Lay, E.H., Jacobson, A.R., Holzworth, R.H., Rodger, C.J., Dowden, R.L. (2007). Local time variation in land/ocean lightning flash density as measured by the World Wide Lightning Location Network. *J. Geophys. Res.*, 112, D13111, doi:10.1029/2006JD007944.
 21. Betz, H.D., Schmidt, K., Oettinger, W.P. (2008). LINET—An international VLF/LF lightning detection network in Europe. *Lightning: Principles, Instruments and Applications*. Dordrecht, NL: Springer Verlag, pp. 115-140.
 22. Betz, H.D., Schmidt, K., Laroche, P., Blanchet, P., Oettinger, W.P., Defer, E., Dziewit, Z., Konarski, J. (2008). LINET—An international lightning detection network in Europe. *Atmos. Res.* doi:10.1016/j.atmosres.2008.06.01
 23. Sidik, M.A.B., Shahroom, H.B., Salam, Z., Buntat, Z., Nawawi, Z., Ahmad, H., Jambak, M.I., Arief, Y.Z. (2015). Lightning monitoring system for sustainable energy supply: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, August 2015, doi: 10.1016/j.rser.2015.04.045
 24. Kryvobok, O., Kulbida, M., Savchenko, L. (2011). Monitoring of Severe Weather in Ukraine With the Use of Satellite Data. *Use of satellite and in-situ Data to Improve Sustainability/ Part of the series NATO Science and Security/ Series C/Environmental Security*. Netherlands: Springer, pp. 41-48
 25. Lipinsky, V.M. (Ed). (2003). *Klimat Ukrainy* [The climate of Ukraine]. Kyiv: Raevsky Publishing House. (in Ukr.)
 26. Malan, D.J. (1963). *Physics of Lightning*. London: The English Universities Press, Ltd.

27. Pierce, E.T. (1977). Atmospherics and radio noise, in Lightning. In: R.H. Golde (Ed.). *Lightning : Physics of Lightning*, 01, 351-384.
28. Murphy, M.J., Cummins, K.L. 2-D and 3-D cloud discharge detection, 1998. (1998). *Intl. Lightning Detection Conf.*, Tucson, AZ, Global Atmospheric, Inc.
29. Smith, D.A., Shao, X.M., Holden, D.N., Rhodes, C.T., Brook, M., Krehbiel, P.R. et al. (1999). A distinct class of isolated intracloud lightning discharges and their associated radio emissions. *J. Geophys. Res.*, 104, 4189-4212.
30. Lewis, E.A., Harvey, R.B., Rasmussen, J.E. (1960). Hyperbolic direction finding with sferics of transatlantic origin. *J. Geophys. Res.*, 65, 1879-1905.
31. Fagan, D., Meier, R. (2011). Intelligent time of arrival estimation. *IEEE forum on integrated and sustainable transportation system (FISTS)*.
32. Stan Heckman. (2014). ENTLN Status Update. *XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June*, Norman, Oklahoma, U.S.A.
33. *Google maps APIs*. Available at: <https://developers.google.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
34. *Yandex maps APIs*. Available at: <https://tech.yandex.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
35. *Bing maps*. Available at: <https://www.bingmapsportal.com/> (accessed: 01.11.2017)
36. *Developer network YAHOO*. Available at: <https://developer.yahoo.com/maps/> (accessed: 01.11.2017)
37. *OpenStreetMap/Wikipedia*. Available at: <http://wiki.openstreetmap.org/wiki/API> (accessed: 01.11.2017)
38. Mazin, I.P., Khrgian, A.Kh. (1989). *Oblaka i oblachnaya atmosfera. Spravochnik* [Clouds and cloudy atmosphere. Directory]. Leningrad : Gidrometeoizdat.
39. Logvinov, K.T., Babichenko, V.N., Kulakovskaya, M.U. (1972). *Opasnye yavleniya pogody v Ukraine* [Dangerous weather phenomena in Ukraine]. Leningrad: Gidrometeoizdat.

УКРАЇНСЬКИЙ СЕГМЕНТ СИСТЕМИ ГРОЗОПЕЛЕНГАЦІЇ ENTLN

Кривобок О. А., канд. геогр. наук,
Кривошеїн О. О., канд. геогр. наук
Коман М. М.
Крупа Є. О.

Український гідрометеорологічний інститут
 03028, м. Київ, проспект Науки, 37. krivoshein@uhmi.org.ua

В статті розглядається український сегмент системи грозопеленгації компанії Earth Networks, який був створений в 2016 році. Він складається з 12 датчиків, розташованих у різних частих України, які дозволяють ідентифікувати як розряди земля-хмара (ЗХР), так і розряди між хмарами (МР). Заявлена кількість датчиків покриває всю територію України і дозволяє визначити ЗХР з імовірністю 95 %, а просторова точність виявлення блискавок становить близько 200 метрів. З огляду на необхідність збереження обладнання, була досягнута домовленість з Українським гідрометеорологічним центром про встановлення датчиків грозопеленгації на території метеорологічних станцій. Істотною перевагою даної системи грозопеленгації є те, що вона дозволяє реєструвати електромагнітні сигнали блискавок в діапазоні від 1 Гц до 12 МГц. Саме завдяки цьому, більш точно визначається просторове положення ЗХР і МР шляхом аналізу спектра електромагнітного сигналу у вказаному діапазоні. Для локалізації грозового розряду в мережі ENTLN використовується метод локації блискавок на основі принципу «часу приходу сигналу» (time of arrival - TOA). Первинні дані, отримані від датчиків грозопеленгації проходять через внутрішню систему централізованої обробки і надалі можуть використовуватися споживачем як безпосередньо, так і бути вихідними для серії продуктів, які є результатом обробки з використанням математичних, статистичних та геоінформаційних систем. Для обробки даних в УкрГМІ розроблено модульну систему, яка дозволяє уніфікувати засоби первинної та вторинної обробки вихідних даних та забезпечити всі необхідні канали для передачі сформованих даних за допомогою широкого кола протоколів. Для візуалізації даних блискавки використовуються підсистема GeoServer та інструмент відображення OpenStreetMap.

В статті описуються загальні принципи функціонування українського сегменту у складі мережі грозопеленгації та розглядаються приклади її роботи в період з 10 червня до 30 вересня 2016 року. Таким чином, отримана інформація може бути новим, якісним джерелом даних для кліматологічних досліджень. У той же час, отримання даних в режимі реального

часу дозволяє створювати серії продуктів для широкого кола споживачів, зацікавлених в короткостроковому прогнозуванні.

Ключові слова: грозопеленгація, система ENTLN, обробка даних, грозові розряди.

UKRAINIAN SEGMENT OF THE ENTLN (LIGHTNING FINDING SYSTEM)

Kryvobok O. A., Cand. Geogr. Sci.

Kryvoshein O. O., Cand. Geogr. Sci.

Koman M. M.

Krupa E. O.

*Ukrainian Hydrometeorological Institute
03028, Kyiv, Nauki av., 37, krivoshein@uhmi.org.ua*

The Ukrainian segment of the Earth Networks lightning finding system created in 2016 is discussed in the paper. It consists of 12 sensors located in different parts of Ukraine which allow identifying both types of lightning: "cloud-to-ground discharge (CG)" and "cloud-to-cloud discharge (CC)". The stated number of sensors covers the entire territory of Ukraine and allows the determination of CG with a probability of 95 % with the spatial accuracy of lightning detection constituting about 200 meters. Taking into account the necessity to preserve the equipment, an agreement was reached with the Ukrainian Hydrometeorological Centre on installation of lightning finding sensors within the territory of meteorological stations. Significant advantage of this lightning finding system is that it allows recording of electromagnetic lightning signals within the range from 1 Hz to 12 MHz. Due to this, the spatial position of CG and CC can be determined more accurately by analyzing the spectrum of electromagnetic signal within the specified range. To localize a lightning discharge using the ENTLN network the method of lightning finding based on the principle of "time of signal arrival (ToA)" is applied. The primary data obtained from the lightning finding sensors are analyzed in the internal system of centralized processing and can be used further by a consumer in two ways: either directly, or serve as output data for series of products resulted from processing using mathematical, statistical and geographic information systems. In order to process obtained data the UHMI developed a modular system that allows unification of the means of primary and secondary processing of output data and enabling all necessary channels for transmission of generated data using a wide range of protocols. To visualize the lightning data a subsystem based on the open GeoServer for preprocessing of the geodata and client tools using the mapping data of OpenStreetMap are used. As an example of one of possibilities these lightning data provide, the analysis of the spatial and temporal distribution of lightning activity over the territory of Ukraine from June 10 to September 30, 2016 has been done and the results showed that these data could be a new, qualitative source of data for climatological studies. In addition, real-time data acquisition allows creation of a series of products for a wide range of consumers interested in a short-term forecasting.

Keywords: lightning finding, the ENTLN system, data processing, lightning discharges.

Подання до редакції : 20. 02. 2018

Надходження остаточної версії : 10. 05. 2018

Публікація статті : 29. 06. 2018

УДК: 551.576.2, 551.581.1

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ РЕГІОНАЛЬНИХ КЛІМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ КІЛЬКОСТІ ЗАГАЛЬНОЇ ХМАРНОСТІ В МАРОККО НА ПЕРІОД 2020-2050 РР.

Юссеф Ель Хадрі

В. М. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, magribinets@ukr.net

У статті наводяться результати розрахунків кількості загальної хмарності отримані за допомогою 11 регіональних кліматичних моделей проекту CORDEX на період 2020-2050 рр. у Марокко. Метою роботи є визначення можливих кількісних показників загальної хмарності та визначення ділянок території на яких хмарність буде надавати найменший вплив на кількість прямої сонячної радіації, що надходить до підстильної поверхні. В результаті проведеного аналізу визначений майбутній просторовий розподіл хмарності та характер її річного ходу в Марокко. Зроблений висновок, що в майбутньому велика частина території Марокко буде характеризуватися низькою кількістю загальної хмарності, що в свою чергу буде незначно впливатиме на кількість прямої сонячної радіації, що надходить до підстильної поверхні у цих районах.

Ключові слова: загальна хмарність, регіональні кліматичні моделі, Марокко.

1. ВСТУП

Сьогодні людство прийшло до усвідомлення, що єдиним реалістичним засобом для досягнення сталого розвитку та уникнення катастрофічних змін клімату є швидкий і глобальний перехід до відновлюваних енергетичних технологій. За результатами конференції зі зміни клімату, яка відбулася в Парижі в 2015 році, був розроблений глобальний план, метою якого є подвоєння частки відновлюваних енергетичних джерел в загальносвітовому виробництві енергії до 2030 року [1]. Втілення в життя цього плану має високе значення для досягнення «carbonfree» (енергія, виробництво якої не супроводжується викидами двоокису вуглецю) енергетичної системи, протягом найближчих 50 років, а також зменшення викликів глобальної енергетичної безпеки та ризиків для навколишнього середовища і здоров'я людини. Використання сонячної енергії є одним з найбільш перспективних напрямків розвитку відновлюваних джерел енергії.

Для оцінки потенціалу сонячної енергії і прогнозу його зміни, важливим є вивчення трендів актинометричних величин [2, 3]. Дані про прихід сонячної радіації за різні відрізки часу свідчать про його значну мінливість протягом року, сезону і доби, обумовлену астрономічними факторами, прозорістю атмосфери та режимом хмарності. Хмарність значно впливає на кількість сумарної радіації, що надходить до підстильної поверхні і тривалість сонячного саява. Зміна місячних

сум сумарної радіації при фактичних умовах хмарності обумовлена, в основному, особливостями її річного ходу [4].

Оцінка енергетичної ефективності сонячних установок, як правило, проводиться на основі розрахунків приходу сонячної радіації при безхмарному небі [5]. Потім, для підвищення точності оцінки, виконується уточнення технічного потенціалу сонячних установок в залежності від їх параметрів і погодних умов [5]. Таким чином, можна сказати, що погодні умови, а саме хмарність, надають істотний вплив на кінцеву виробку електроенергії за допомогою сонячних установок.

Дослідження показують [5], що величина сонячного енергетичного потенціалу з урахуванням хмарності може мати значення менше прийнятих при безхмарному небі в два і більше разів. В результаті необхідно вносити поправки в меншу сторону щодо кількості електроенергії, яка може бути вироблена сонячними елементами, що, в свою чергу, внесе зміни в термін окупності проектів по використанню сонячної енергії.

Сонячні ресурси є в достатку по всій території Марокко. Південно-східна частина країни має достатні ресурси для використання геліотермальних (CSP – Concentrated Solar Power) електростанцій, в той час як у північно-західній частині існують оптимальні умови для впровадження фотоелектричних проектів.

Формування режиму хмарності відбувається,

як під впливом циркуляційних процесів, так і під впливом підстильної поверхні на повітряні маси [6].

Джерелами вологих повітряних мас, що потрапляють на територію Марокко, є перенесення вологого Атлантичного повітря вглиб континенту і проникнення вологого тропічного повітря із Західної Африки на територію Марокко [7]. Гірські масиви Середнього, Високого Атласу, Антиатласу і Ер-Рифу істотно впливають на повторюваність хмарності в цих районах, створюють розкид в розподілі від сезону до сезону та значне різномайття форм хмарності.

Схили гір впливають на формування хмарності. На навітряних схилах відбувається вимушене натікання повітряних потоків і виникає впорядкована конвекція гірно-долинної циркуляції, в результаті чого відбувається інтенсивне хмароутворення і збільшується повторюваність похмурого неба. На підвітряних схилах, завдяки низхідним рухам повітря, хмарність розмивається.

Метою цього дослідження є визначення особливостей просторово-часового розподілу загальної хмарності на території Марокко у найближчому майбутньому.

2. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА МАРОККО

Марокко знаходиться на північному сході Африки (рис. 1), в межах від 20° до 35° півн. ш. Площа території складає 446550 км². На півночі Марокко омивається водами Середземного моря, а на заході – Атлантичного океану. Марокко відокремлюється від Європи Гібралтарською протокою. Східні кордони проходять всередині континенту.

Територію країни можна розділити на чотири фізико-географічні регіони: Ер-Риф (гірський район), розташований паралельно Середземноморському узбережжю, його висота не перевищує 1500 м; Атлаські гори, які пролягають з південного заходу на північний схід і розділені на три основні хребти: Антиатлас (2360 м), Високий Атлас, вершини якого перевищують 3700 м, і Середній Атлас, північна частина якого є плато розташоване на висоті близько 1800 м; регіон прибережних рівнин, що лежать на Атлантичному узбережжі; долини, розташовані на південь від Атлаських гір, що переходять у пустелю.

Гірський хребет Атлас проходить через центр країни, утворюючи розділову лінію між двома основними кліматичними зонами: середземноморським північним прибережним регіоном, та

південним, внутрішнім районом, який знаходиться на краю гарячої пустелі Сахара.

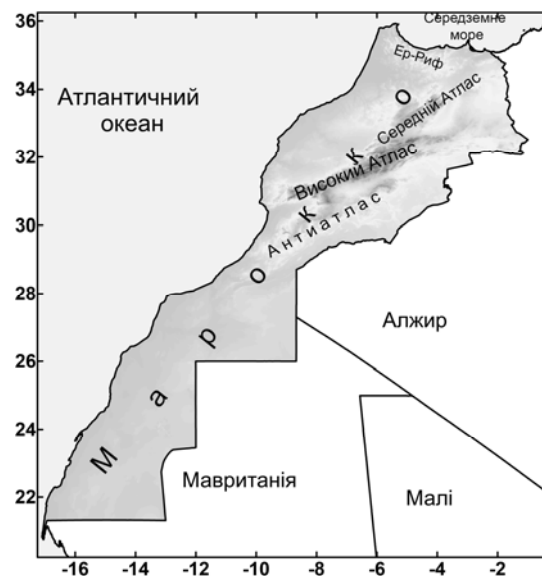


Рис. 1 – Фізико-географічна карта Марокко

За класифікацією кліматів Кеппена, клімат в північній частині Марокко відноситься до спекотного середземноморського клімату (Csa), в центральних гірських районах зустрічаються прохолодний напівпустельний (BSk) та прохолодний клімат пустель (BWk), на південних схилах Атлаських гір відзначається спекотний напівпустельний клімат (BSh), південна половина країни характеризується спекотним пустельним кліматом (BWh).

3. МЕТОДИ І МАТЕРІАЛИ ДОСЛІДЖЕННЯ

У дослідженні були використані дані регіонального кліматичного моделювання з високим просторовим розрішенням проекту CORDEX [8]. Кліматичні дані CORDEX отримані з аналізу даних спостережень (1988-2010 рр.) або з глобальних кліматичних моделей (1950-2100 рр.). Масштабування виконується з використанням декількох регіональних моделей клімату та методів статистичного даунскейлінга.

Симуляції регіональних кліматичних моделей (РКМ) надають можливості для більш глибокого розуміння атмосферних процесів у досліджуваному регіоні та оцінки їх можливих змін в майбутньому.

Найбільш високу успішність відтворення середніх кліматичних характеристик, при порівнянні з даними спостережень, як правило, показує результат усереднення за ансамблем моделей. Це пов'язано з тим, що систематичні помилки, властиві кожній моделі окремо часто є випа-

Таблиця 1 – Характеристики регіональних кліматичних моделей

№ моделі	Назва моделі	Модель загальної циркуляції атмосфери	Інститут-розробник
M1	KNMI-ICHEC-EC-EARTH	IFS	CNRM, Франція
M2	CanESM2	CanCM4	CCCMA, Канада
M3	CNRM-CM5	ARPEGE	CNRM / CERFACS, Франція
M4	SMHI-ICHEC-EC-EARTH	IFS	CNRM, Франція
M5	CSIRO Mark 3.6	Mk3 AGCM	CSIRO, Австралія
M6	IPSL-CM5A-MR	LMDZ	IPSL, Франція
M7	MIROC5	AGCM CCSR	AORI/NIES/JAME S&T, Японія
M8	HadGEM2-ES	HadGEM2-A	Hadley Center, Великобританія
M9	MPI-ESM-LR	ECHAM6	MPI, Німеччина
M10	NorESM1	CAM4-Oslo	NCC, Норвегія
M11	GFDL-ESM2M	AM3	GFDL, США

дковими по відношенню до ансамблю моделей і при осередненні за ансамблем взаємно компенсуються [9].

У роботі використовувались результати моделювання РКМ за сценарієм RCP 4.5 для регіону Африки, подані у прямокутній системі координат з просторовим розрешенням ≈ 44 км. Для аналізу використовувався ансамбль з 11 кліматичних моделей, розроблених в дослідних інститутах і метеорологічних центрах різних країн світу (табл. 1).

В результаті розрахунку РКМ були отримані середньомісячні значення кількості загальної хмарності (Total Cloud Fraction, – TC) на період 2020-2050 рр. для території Марокко. TC визначається як сумарна частка небосхилу, яка закрита усіма видами хмар від усієї видимої поверхні небосхилу і приймає значення від 0% до 100%. На основі середньомісячних значень TC було розраховане середньорічне значення TC.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Аналіз показав, що на більшій частині території Марокко середньорічне значення TC становитиме від 20 до 40 % (рис. 2). Найбільш високі значення TC (від 40 до 60 %) будуть характерні для горних районів Високого Атласу, Ер-Рифу, Таоурірт-Уджди, та на ділянках Атлантичного узбережжя в районі населених пунктів Ель-Джадіда, Сафі, Ель-Аюн, Буждур, Дахла. Найбільш низькі значення TC (від 0 до 20 %) прогноуються на прикордонних з Алжиром низинних районах адміністративної області Сус-Масса, яка розташована біля підніжжя південних схилів Антиатласу.

Як було сказано вище, джерелом вологих повітряних мас в Марокко є перенесення вологого Атлантичного повітря вглиб континенту. Надалі

відбувається його натікання на західні схили Атлаських гір, що призводить до високої повторюваності хмарності в цих районах. Потім, переваливши через гірські хребти Атласу, повітря опускається по східних та південно-східних схилах, воно нагрівається і висушується, в результаті чого, відбувається розмивання хмарності, наслідком чого є переважання ясної погоди в прикордонних з Алжиром областях.

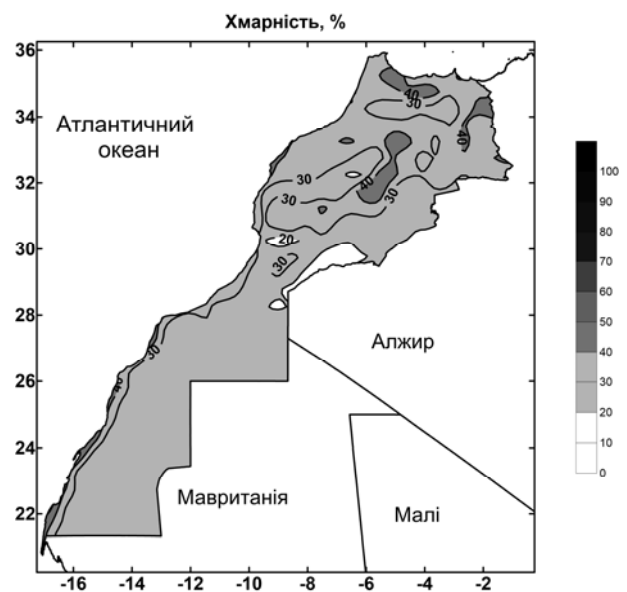


Рис. 2 – Проекція середньорічної кількості загальної хмарності (%) в Марокко на період 2020-2050 рр.

Високі значення TC на Атлантичному узбережжі викликані перенесенням на континент хмарності утвореної над поверхнею Атлантичного океану. Біля узбережжя Марокко протікає Канарська течія, над холодними водами якої створюються сприятливі умови для конденсації вологого морського повітря, з подальшим виникненням туманів і шаруватої хмарності нижнього ярусу [10].

Аналіз характеру річного ходу ТС показав, що на більшій частині території Марокко в період осінь-зима буде відбуватися збільшення значення ТС (рис. 3а; г), а у весняно-літній період буде відзначатися його знижене (рис. 3б; в). Для більш детального аналізу територію можна поділити на такі зони.

1. Північна частина Марокко, що включає прибережні рівнини Атлантичного океану, Середземноморське узбережжя, гори Ер-Риф і гірські плато, розташовані в північно-східній частині країни на кордоні з Алжиром. У цих районах підвищені середньомісячні значення ТС (40-60 %) будуть відзначатися з грудня по березень,

а в період з червня по серпень ці значення не будуть перевищувати 30 %.

2. Гірські райони Високого і Середнього Атласу. На цій ділянці найбільшу кількість ТС потрібно очікувати в липні-серпні (40-70 %), а мінімум ТС буде припадати на травень місяць (близько 30 %).

3. Ділянка Атлантичного узбережжя від міста Агадір до кордону з Мавританією. У цій зоні підвищене значення ТС може спостерігатися в період з травня по жовтень (40-60 %), а з грудня по лютий величина ТС буде перебувати в межах 30-40 %.

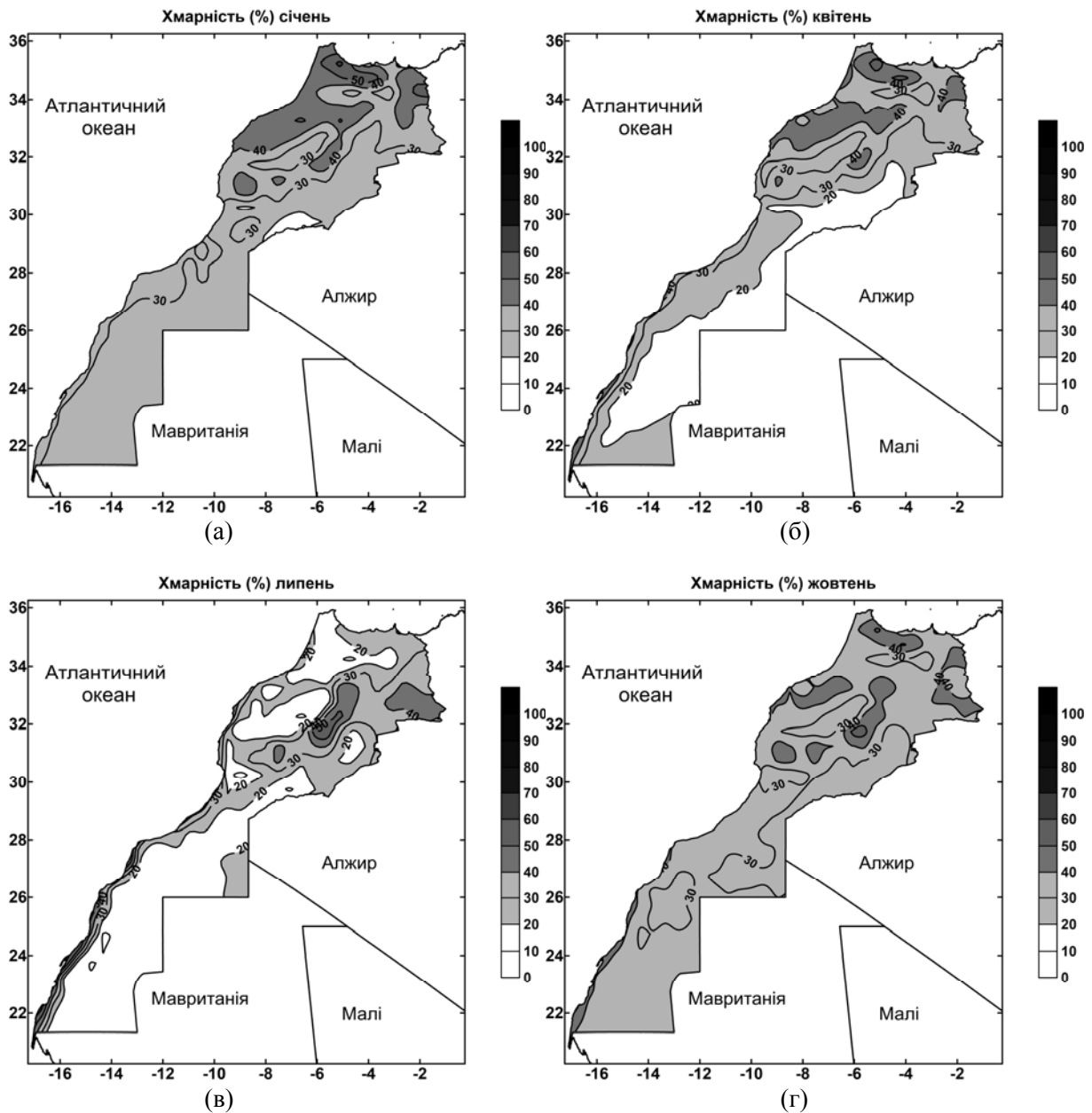


Рис. 3 – Проекції середньомісячної кількості загальної хмарності (%) в Марокко на період 2020-2050 рр.: (а) – січень, (б) – квітень, (в) – липень, (г) – жовтень

4. Південна частина Марокко, без узбережжя Атлантичного океану. Річний хід ТС на цій території буде мати максимум у вересні (30-40 %), а мінімальні значення ТС буду відзначатися з квітня по серпень (10-20 %).

Розподіл території Марокко на зони, в залежності від характеру річного ходу хмарності свідчить, що і в майбутньому на її формування в різних частинах країни будуть впливати різні чинники.

Річний хід хмарності в основному визначається циркуляційними процесами, але в гірських районах провідну роль у його формуванні може грати сезонність у розвитку конвекції. Це відбувається на підвітряних схилах гір, де фронтальна хмарність, пов'язана з процесами загальної циркуляції атмосфери, розмивається при перевалюванні через гірські хребти. Тому наявність літнього максимуму і зимового мінімуму у річному ході хмарності має бути обумовлена сезонною зміною в умовах конвекції [6].

Як відомо, в субтропічній зоні циркуляція атмосфери взимку носить циклонічний характер. Таким чином, можна зробити висновок, що і в майбутньому на формування режиму хмарності в північній частині Марокко будуть впливати процеси загальної циркуляції атмосфери. У гірських районах Атласу, основним фактором, який впливає на формування режиму хмарності, буде протікання процесів конвекції.

Зростання кількості хмарності літом в південній частині Атлантичного узбережжя Марокко буде обумовлене зростанням в цей період року різниці між температурою морської води в Канарській течії і температурою повітря.

На характер режиму хмарності в південній частині Марокко, як і на півночі країни, будуть впливати процеси загальної циркуляції атмосфери, з тією відмінністю, що в цій частині Марокко характер циркуляції обумовлений сезонними змінами інтенсивності пасату. У період з травня по серпень в цьому регіоні відбувається його посилення, в результаті чого дана територія знаходиться під впливом східних і північно-східних повітряних потоків [11], які переносять сухі гарячі повітряні маси з пустелі Сахара на узбережжя Атлантики.

З точки зору геліоенергетики, в південній частині Марокко, за винятком узбережжя, протягом усього року хмарність буде надавати найменшого впливу на кількість сонячної енергії, що доходить до земної поверхні. У північній і центральній частині Марокко в районі, де розташовані прибережні рівнини, кліматичні моделі

прогнозують значну річну амплітуду ТС, тут хмарність надаватиме найменший вплив на прихід сонячної радіації в літні місяці. У гірських районах і на узбережжі протягом усього року моделюється підвищене значення ТС, це буде значно знижувати кількість сонячної радіації, що доходить до земної поверхні, і чинити негативний вплив на виробництво електроенергії від сонячних елементів.

5. ВИСНОВКИ

З проведеного аналізу можна зробити наступні висновки. Величина середньорічної кількості загальної хмарності на території Марокко буде мати найменші значення в прикордонних з Алжиром рівнинних районах адміністративної області Сус–Масса, що знаходяться біля підніжжя південних схилів Антиатласу.

Аналіз річного ходу кількості загальної хмарності показав, що в майбутньому в різних частинах країни він буде мати різний характер внаслідок різноманітності причин, які впливають на його формування.

Зоною з найменшими значеннями кількості загальної хмарності протягом всього року буде район, що займає південну частину адміністративної області Драа – Тафілалет, та області Сус–Масса, Гульмім – Уед-Нун, Ель-Аюн – Сегіет-ель-Хамра, Дахла – Уед-ед-Дахаб, виключаючи їх прибережні до Атлантичного океану частини.

У північній і центральній частині Марокко в районі, що займає рівнинні частини адміністративних областей Фес – Мекнес, Рабат – Сале – Кенітра, Бені-Меллаль – Хеніфра, Марракеш – Сафі, північну частину області Драа – Тафілалет, буде відзначатися значна річна амплітуда кількості загальної хмарності. У цих районах найменший вплив на сонячну радіацію, що доходить до поверхні землі, хмарність надаватиме в літні місяці.

Загальний висновок полягає в тому, що в майбутньому велика частина території Марокко буде характеризуватися низькою кількістю загальної хмарності, що в свою чергу буде незначно впливатиме на кількість сонячної радіації, що надходить до підстильної поверхні у цих районах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Roadmap for a renewable energy future*. URL: www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REmap_2016_edition_summary.pdf (accessed: 10.01.2017)
2. Рекомендации по определению климатических характеристик гелиоэнергетических ресурсов на территории

- СССР / Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова, Гос. н.-и. энерг. ин-т им. Г. М. Кржижановского. Ленинград : Гидрометеиздат, 1987. 30 с.
3. Климатические данные для возобновляемой энергетики России (база климатических данных): учебн. пособ. / О. С. Попель и др. Москва: Из-во МФТИ, 2010. 56 с.
 4. Севастьянова Л. М., Никольченко Ю. Н. Потенциальные ветро- и гелиоэнергетические ресурсы в Алтайском крае. *Вестник Томского государственного университета*. 2012. № 365. С. 187-193.
 5. Шакиров В. А., Артемьев А. Ю. Методика учета влияния облачности на поток солнечной радиации по данным архивов метеостанций. *Системы. Методы. Технологии*. 2014. № 4(24). С. 79-83
 6. Алисов Б. П., Полтараус Б. В. Климатология. Москва: Изд-во МГУ, 1974. 300 с.
 7. Born, K., Christoph, M., Fink, A.H., Knippertz, P., Paeth, H., Speth, P. (2008). Moroccan climate in the present and future: combined view from observational data and regional climate scenarios. In: Zereini, F.H., Hötzl, A.A. (Eds). *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa: Part of the series Environmental Science and Engineering*, pp. 29-45.
 8. IS-ENES climate4impact portal. URL: <https://climate4impact.eu/> (accessed: 23.09.2017)
 9. Павлова Т. В., Катцов В. М., Мелешко В. П., Школьник И. М., Говоркова В. А., Надежина Е. Д. Новое поколение климатических моделей. *Труды ГГО*. 2014. Вып. 575. С. 5-64.
 10. Marzol, M.V., Sánchez, J.L., Yanes, A. (2011). Meteorological patterns and fog water collection in Morocco and the Canary Islands. *Erdkunde*, 65(3), 291–303.
 11. Слиже М. О., Семергей-Чумаченко А. Б., Эль Хадри Юссеф. Современное распределение ветра в Марокко. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2016. №17. С. 61-69.
- REFERENCES**
1. *Roadmap for a renewable energy future*. Available at: www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REmap_2016_edition_summary.pdf (accessed: 10.01.2017)
 2. Voeikov Main Geophysical Observatory and Krzhizhanovsky Power Engineering Institute. (1987). *Rekomendatsii po opredeleniyu klimaticheskikh kharakteristik gelioenergeticheskikh resursov na territorii SSSR*. [Recommendations for determining the climatic characteristics of solar energy resources on the territory of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat. (in Russ.)
 3. Popel, O.S., Frid, S.E., Kiseleva, S.V., Kolomiets, Ju.G., Lisitskaya, N.V. (2010). *Klimaticheskie dannye dlya возобновляемой энергетики России (база климатических данных)* [Climatic data for renewable energy in Russia (climate data base)]. Moscow: Publ. MIPT. (in Russ.)
 4. Sevastyanova, L.M., Nikolchenko, Yu.N. (2012). [Potential wind and solar energy resources in the Altai Territory]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University], 365, 187-193. (in Russ.)
 5. Shakirov, V.A., Artemyev, A.Yu. (2014). [Method of accounting for the effect of cloudiness on the flux of solar radiation from the meteorological data archives]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods. Technologies], 4(24), 79-83. (in Russ.)
 6. Alisov, B.P., Poltaraus, B.V. (1974). *Klimatologiya* [Climatology]. Moscow: MSU. (in Russ.)
 7. Born, K., Christoph, M., Fink, A.H., Knippertz, P., Paeth, H., Speth, P. (2008). Moroccan climate in the present and future: combined view from observational data and regional climate scenarios. In: F.H. Zereini, A.A. Hötzl (Eds). *Climatic Changes and Water Resources in the Middle East and North Africa: Part of the series Environmental Science and Engineering*, pp. 29-45.
 8. IS-ENES climate4impact portal. Available at: <https://climate4impact.eu/> (accessed: 23.09.2017)
 9. Pavlova, T.V., Katsov, V.M., Meleshko, V.P., Shkolnik, I. M., Govorkova, V.A., Nadezhina, E.D. (2014). [A new generation of climate models]. *Trudy GGO im. A. I. Voeykova* [Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory], 575, 5-64. (in Russ.)
 10. Marzol, M.V., Sánchez, J.L., Yanes, A. (2011). Meteorological patterns and fog water collection in Morocco and the Canary Islands. *Erdkunde*, 65(3), 291–303.
 11. Slizhe, M.O., Semergey-Chumachenko, A.B., El Hadri, Youssef. (2016). [Current distribution of wind in Morocco]. *Український гідрометеорологічний журнал* [Ukrainian hydrometeorological journal], 17, 61-69. (in Russ.)

SIMULATION OF REGIONAL CLIMATE MODELS OF TOTAL CLOUD FRACTION IN MOROCCO FOR THE PERIOD OF 2020-2050

Youssef El Hadri

V. M. Khokhlov, Dr Sci (Geogr.), Prof.,

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, magribinets@ukr.net

The Moroccan energy system is highly dependent on external energy markets. The use of solar energy is one of the most promising ways in the development of renewable energy sources. At the moment, there are several scenarios for the development of renewable energy in Morocco diverging only in quantitative assessments. All of them are aimed at increasing the generation of green energy, from the complete satisfaction of all needs of Moroccan consumers to the opportunity of exporting some of its environmentally friendly electricity to Europe. Estimation of energy efficiency of solar installations is usually carried out on the basis of calculations of solar

radiation arrival in the presence of cloudless sky. Clouds significantly reduce amount of solar radiation and sunshine duration.

This study is aimed at determination of possible quantitative parameters of the total cloud cover and the areas in which the cloud cover would have the least impact on the amount of incoming solar radiation in Morocco in 2020-2050. The article presents the results of simulation of total cloud fraction using 11 regional climate models of CORDEX project for the period of 2020-2050 in Morocco. For the period of 2020-2050 the average values of total cloud fraction on the territory of Morocco will have the smallest values within the plains located near the border with Algeria on the territory of the prefecture of Sous-Massa lying at the foot of the southern slopes of the Anti-Atlas. The analysis of the annual regime of total cloud fraction showed that in the future it will be of a different nature in different parts of the country due to various factors affecting its formation. The area with the smallest volumes of monthly total cloud fraction will lie within the territory the southern part of prefecture Draa-Tafilalet and prefectures Sous-Massa, Guelmim-Oued Noun, Laayoune-Sakia El Hamra, Dakhla-Oued Ed-Dahab excluding their coastal parts of the Atlantic Ocean.

In the future most of the territory of Morocco will be characterized by a low amount of total cloud fraction, which, in its turn, will have an insignificant effect on the amount of solar radiation entering to the underlying surface of these areas. In terms of solar power, the best conditions will exist at the southern parts of Morocco, excluding the coast where the total cloud fraction will have the least impact on the amount of solar radiation reaching the earth's surface and on sunshine duration.

Keywords: total cloud fraction, total cloud cover, regional climate models, Morocco.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ РЕГИОНАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ КОЛИЧЕСТВА ОБЩЕЙ ОБЛАЧНОСТИ В МАРОККО НА ПЕРИОД 2020-2050 ГГ.

Юссеф Эль Хадри

В. Н. Хохлов, д-р геогр. наук, проф.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, magribinets@ukr.net*

В статье приводятся результаты расчетов количества общей облачности, полученные с помощью 11 региональных климатических моделей проекта CORDEX на период 2020-2050 гг. в Марокко. Цель работы заключалась в определении возможных количественных показателей общей облачности и определении участков территории, на которых облачность будет оказывать наименьшее влияние на количество поступающей солнечной радиации. В результате проведенного анализа было определено будущее пространственное распределение облачности и характер ее годового хода в Марокко. В будущем большая часть территории Марокко будет характеризоваться низким количеством общей облачности, что в свою очередь окажет незначительное влияние на количество солнечной радиации, поступающей к подстилающей поверхности в этих районах.

Ключевые слова: общая облачность, региональные климатические модели, Марокко.

*Подання до редакції : 13. 03. 2018
Надходження остаточної версії : 23. 05. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018*

UDC 634.8:551.58:577.46:

ASSESSMENT AND ANALYSIS OF HEAT PROVISION VULNERABILITY IN THE MAIN WINE-PRODUCING REGION OF ARMENIA (ARARAT VALLEY AND FOOT- HILL AREA) WITHIN THE CONTEXT OF EXPECTED CLIMATE CHANGE

V. G. Margaryan¹, Cand. Sci. (Geogr.)
M. S. Mkhitarian²

¹ Yerevan State University, Alek Manoukian Street 1, 0025 Yerevan,
Republic of Armenia, vmargaryan@ysu.am

² Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia,
Service for Hydrometeorology and Active Impact on Atmospheric Phenomena,
109/8 A. Mikoyan Str. 4th Block of Davitashen, 0054 Yerevan, Republic of Armenia

The paper reviews and assesses heat provision conditions of Armenia's main wine-producing region (Ararat Valley and foothill area), analyzes the patterns of temporal distribution of heat provision and determines how they are affected by the global climate change.

It demonstrates increase of active temperatures observed in the main wine-producing region.

Keywords: grape, heat provision, vulnerability, climate change, main wine-producing region, Ararat Valley and foothill area.

1. INTRODUCTION

One of the important factors of grape vine vitality is the heat, which characterizes the possibility of grape cultivation under the conditions. If heat conditions are good during the vegetation, the process of growth and development of all organs of vine will be better, high and quality yield from planting stock will be obtained. The problem is even more important, especially under the climate change, as in the territory of the country, an increase in climate aridity and decrease of rainfall are predicted.

Given the above, we intend:

- to examine and evaluate the heat provision conditions of the country's main industrial region of viticulture (the Ararat Valley and the foothill zone) in the paper,

- analyze and find out the patterns of temporal distribution of heat providing, in the context of global climate change.

2. THE STUDY AREA

The Ararat Valley is one of the subregions of the physical-geographical area of Ararat. It has 100 km length within the Republic, the width in the north-western part reaches reaches 15-17 km, in the south-eastern part – 4-5 km. The surface is generally flat. The height of the area is 800-1000 m above a sea level. The foothill zone includes southern slopes of Aragats mass, up to 1600 meters, highlands of Yeghvard and Kanaker, western slopes of the Arpa River basin and the foothills part, up to 1600 m height. The landscape of the Ararat Valley is a de-

sert – a semidesert, characterised by sierozem. At some locations sandy hills, alkaline soil and salt marshes are met. Most of the plain is cultivated and covered with cultural-irrigated lands. The virgin part of the area is covered with halophyte and xerophilous vegetation and wormwood, and the cultural-irrigated areas are covered with gardens of fruit-trees and vineyards, cotton plantations and other agricultural crops. In foothill zones chestnut soils dominate and pass to chernozem in the upper limit. It is typical for various grass steppe vegetations. In a relatively low part of the area podzolic and brown soils appear which are sometimes intermitted by alkaline soil and salt marsh [1].

The feature of climate characteristic of study area is a sharp continentality (that is, area has sharp continental climate) with great fluctuations of annual and daily temperature and air humidity. The annual temperature amplitude is over than 63,0...75,0 °C (in winter –26,1...– 32,6 °C, in summer — 37,5...42,6 °C), while annual rainfall is 200-300 – 400-450 mm. The Ararat Valley and the foothill areas are considered one of the driest areas in the Transcaucasia, especially in the lower part.

The region's climatic conditions are favorable for cultivation of various crops, subtropical fruits (pomegranate, fig, olive, almond), fruits orchards (peaches, apricots, apples, pears), technical (cotton, etc.), cereal, tuber and other crops. The Ararat Valley and the foothill areas are the main agricultural production areas. Here agriculture develops due to irrigation.

3. THE MATERIAL AND METHOD

In order to solve the problems, relevant studies, published works, reports, development programs, projects have served as a theoretical and informational basis [1-10]. As a source material, daily data from actual observations at meteorological stations in the study area of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Armenia "Service for Hydrometeorology and Active Impact on Atmospheric Phenomena", as well as agroclimatic reference-books are used.

Grape is a crop of temperate warm zone, which has the best conditions for cultivation: between 35-45 ° north latitude and the industrial cultivation is possible between 20 ° and 47-54 ° north latitude. In subtropical conditions the vine is an evergreen plant and gives a low yield with bad quality. The grapes are cultivated under different soil-climatic conditions in Armenia. Moreover, more than 83 % of vineyards are in the closed vineyard areas. The grape is used in a fresh state and for the predominant national traditional wine and brandy-exclusive production material as well. Viticulture is the most profitable branch of agriculture in Armenia. Here the grape plantation area was 13,1 thousand ha in 2005, the yield was 71.4 c/ha, the harvest — 81,6 thousand.

Among the five viticultural areas of the Republic, the first one is the Ararat plain, which had 66 % of a total area of vineyard before the Soviet Union's collapse and up to 81 % of gross output of grape and by average data for 2010 — 71,2 and 85,6 % accordingly [2].

In the Ararat Valley and the foothills white Sateni, pink Kishmish, Nazeli, Ararat, Mskhali, Itsaptuk, White Muscat grape varieties are cultivated, which require different amounts of heat for their cultivation. Thus different varieties of vine, beginning from the breaking of buds to full ripeness, take about 109 to 169 days, and require the total temperature above 10.0 °C of about 2200 to 3000-3600 °C [2]. Even the same grape variety, depending on the area's height above sea level, the relief, the slope exposure, and consequentially, the amount of active temperatures accumulates different amounts of sugar and acids in fruits, which directly effects the chemical indicators and the quality of wine. As a methodological basis for the work a mathematics-statistics and an extrapolation analyses

as well as the correlation methods are applied in the work in question.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The climate has a direct impact on a vine growth and yield. Among with the climatic conditions the heat is particularly important for the vitality of vine that characterizes the probability for cultivation of vine, the average period and duration of vine phases during the vegetation period, the total amount of active temperatures in this period. Grape's vegetation starts in spring with crying [2, 3], when an average daily air temperature is above 8.0 to 10.0 °C and ends in autumn, when an average daily temperature decreases to 8,0...10,0 °C and lower. In 15-25 days upon crying, when an average daily temperature exceeds 11,0...12,0 °C, the buds open; blooming is observed 35-57 days after opening of the buds, when the average daily air temperature is 18,0...21,0 °C:

Heat provision is the amount of heat required for finishing an annual cycle of a crop development. It is expressed with the sum of average daily temperatures (the amount of biological temperatures), which accumulate from the beginning of vegetation to a crop maturity. Heat provision of agricultural crops is characterized by the amount of temperatures above 5,0 °C and 10,0 °C. Heat provision and duration of a vegetation period depend on the sum of temperatures above 10 degrees (active temperatures), it has some effect on the variety choice, a sugar accumulation in fruit and specialization in viticulture. According to the actual observations in the study area, the annual amount of temperatures above 10,0 °C is 3176 °C (Garni) to 4220 °C (Ararat) on average. As a result, the thermal conditions of the region are favorable for the accumulation of large amounts of sugar in the grape fruit.

In table 1 the long-term average periods of a grape growth and the sum of temperatures above 10,0 °C in the Ararat Valley and the foothills are summarized.

It should be noted that the studies show [4], that on the southern slopes of 500-2000 m in the dry regions of the Republic a sum of temperatures of above 10,0 °C, accumulate 400-600 °C more than on the northern slopes. Therefore, the same crop can be developed on the southern slopes in about 250-350 m higher elevations than on the northern slopes.

Table 1 - The average periods of grape development phases and the sum of necessary temperatures ($\Sigma > 10,0^\circ\text{C}$)

Characteristics	Phases of Growth						
	crying	swelling of buds	opening of buds	opening of III leaf	blooming	full ripeness	harvest
The Ararat valley							
date	03/04	14/04	20/04	30/04	05/06	01/09	29/09
$\Sigma > 10^\circ\text{C}$	52	177	182	332	1057	3173	3748
Foothill zone							
date	08/04	22/04	30/04	12/05	16/06	18/09	12/10
$\Sigma > 10^\circ\text{C}$	4	100	130	440	950	2840	3180

Table 2 - The heat requirements (a sum of temperatures above 10 degrees) for cultivation of early-ripe and late-ripe varieties of grape in the Ararat valley and the upper climatic zone of their spread [4]

Minimum biological temperatures of growth in air	Amount of requirement of biological temperatures	A sea level (m), where biological temperatures provide the yield ripeness
8-9	2100-3700	1500-1800

Comparing the demand of crops to the sum of temperatures of above 5,0 and 10,0 °C to the respective average values typical of this area (table 2) it is possible to find out what kind of crop is expedient to use there.

The studies show that in the region the amount of temperatures above 5,0 and 10,0 °C are more than the sum of the temperatures necessary for a crop cultivation. It means that in the region thermal conditions are favorable for grape cultivation, as well as for different crops (subtropical, technical, fruits, cereal, vegetable and melon crops and other). However, the risk of late spring and early autumn frosts should also be considered.

We have graphically presented the average terms of the development of grape in the Ararat valley and the foothills zone, where the necessary sum of temperatures above 10,0 °C is also taken into account (fig. 1). In this graph we can determine how much cumulative temperature is needed for the development of this phase.

The studies have shown that in the main industrial viticulture region of the republic a tendency of increase in the sum of temperatures of above 10,0 °C is observed (fig. 2). Its persistence will bring a change to the grape's quality, the shape, the taste, the spread of diseases and their geographic expansion.

It is expected that up to 2100 the impact of the climate change will move the cultivation zone for each crop, including the grape, 100-200 m to 400 m

up. On the other hand, the combination of an increase in the temperature and evaporation and a decrease in precipitation will bring a reduction to grape productivity, an additional demand of irrigation water, a secondary salinization of the soil, thus, a cost increase. It is naturally enough to make serious scientific researches, work out a new strategy, find out new zones for vineyard and develop new varieties to meet the aforesaid conditions.

The climate change will also have a significant effect on the agricultural crop yield. So in the third national message on the climate change, the effect of the climate change on the main agricultural crops was assessed. A decrease in the harvest for grape has been predicted both for the irrigated and the non-irrigated conditions.

Table 3 shows the average values for a sum of temperature of above 10 degrees and the predicted changes (%) by the average for 1966-2015 for the years of 2030, 2050, 2070 and 2100. According to the table 3, an increase of necessary temperatures for grape cultivation is observed in the study area.

Thus, under the impact of the climate change, a tendency towards an increase in both the average annual air temperature [5-6, 8] and the amount of active temperatures [9-10] is observed in the study area. It turns out that in the study area, under the conditions of an expected increase in the temperature, the vegetative period duration also increases.

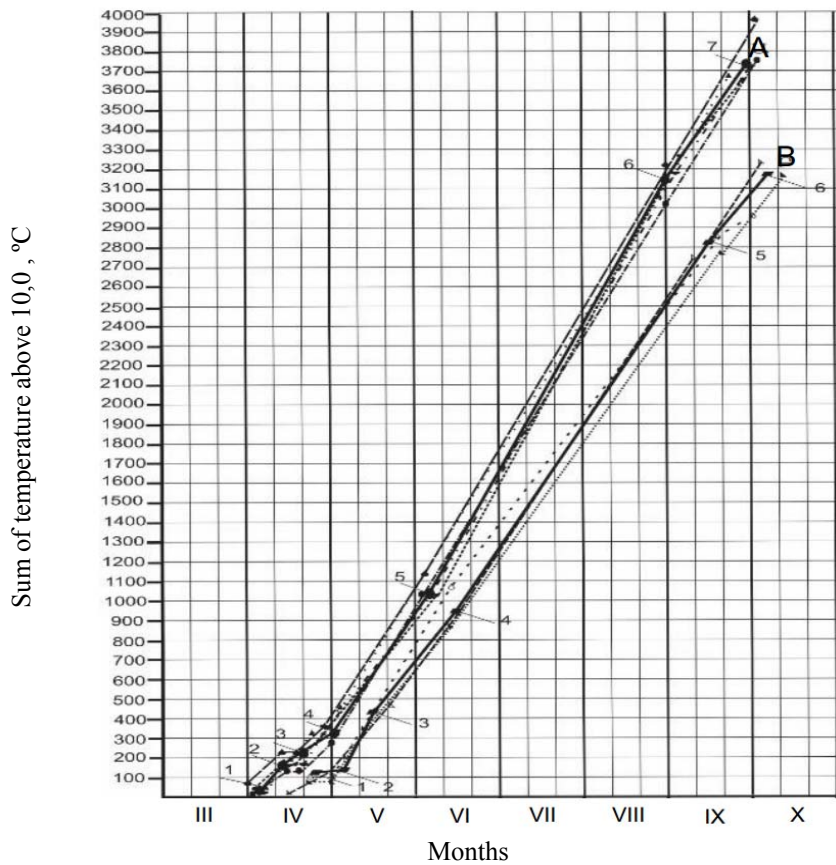


Fig. 1 - The long-term average period of a grape growth and a necessary sum of temperatures Above 10,0 °C in the Ararat valley (A) and the foothills zone (B):1-crying, 2-swelling of buds, 3-opening of buds, 4-opening of III leaf, 5-blooming, 6-full ripeness, 7-harvest.

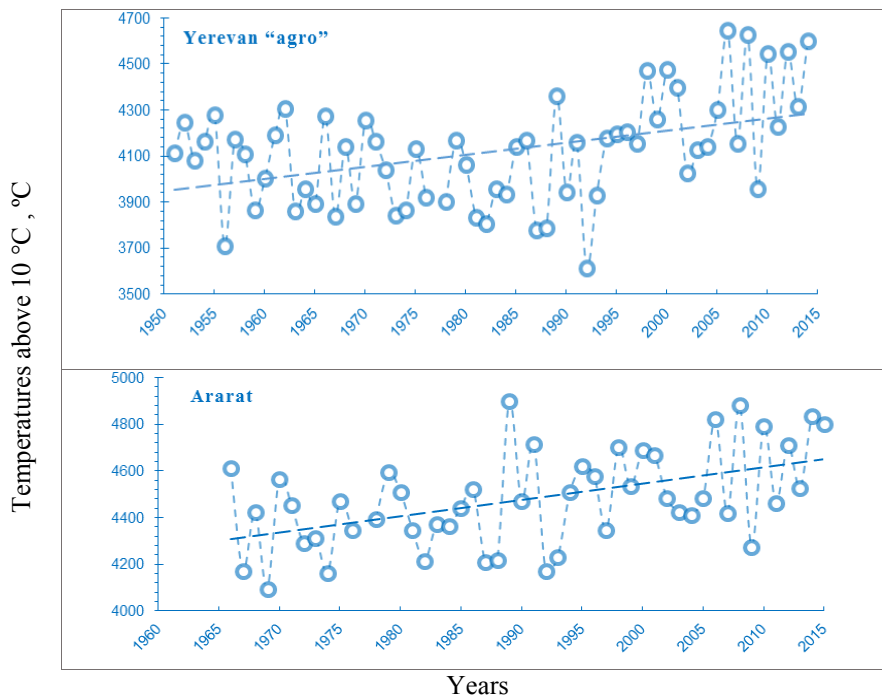
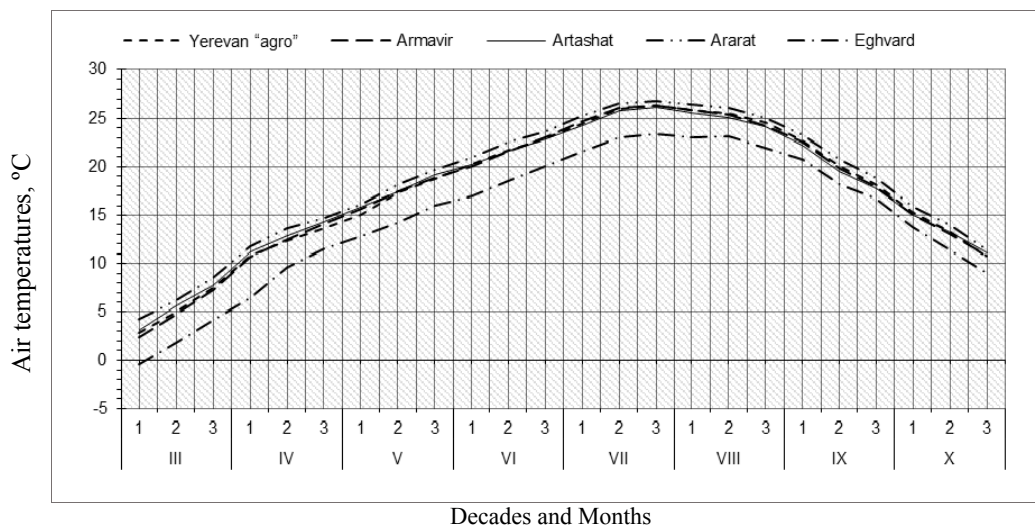


Fig. 2 - Dynamics change of the sum of temperatures above 10 °C in a vegetation period (March-October) at Yerevan agro and Ararat meteorological stations

Table 3 - The average values and predicted changes of the sum of active temperatures by the average of 1966-2015 period (%)

Meteor. Stations	Middle period		Change by trend (%)			
	1961-1990	1966-2015	2030	2050	2070	2100
Yerevan "Agro"	4015	4145	+ 5	+ 8	+ 10	+ 14
Ararat	—	4480	+ 6	+ 9	+ 12	+ 17

**Fig. 3** - The process of average ten-day air temperatures in a vegetation period in the Ararat valley and the foothill zone

That is, in the issue, the vegetation begins earlier, which on the one hand creates favorable thermal conditions for grape cultivation and, on the other hand, increases the degree of vulnerability of grape to unfavorable and dangerous meteorological phenomena.

As brandy wine materials, fortified sweet, desert, table wine and grape juice production are specialized in the Ararat valley, the production of table dry wines will become difficult and impossible to implement in view of the climate change. The reason is that the grape sugariness will increase sharply and will not correspond to standard conditions. The cultivation of these varieties should be moved to a foothill zone. The viticulture of the Ararat Valley will be exclusively specialized on a brandy wine material, fortified sweet and dessert wines as well as grape juice production. On the other hand, during the latest 2-3 decades the grape areas are sharply separated, the handwork has become dominant, in the most cases vineyards are not closed, vines freeze, the crop yield reduced, diseases and pests become widespread. The latter is one of the priority issues in the sector, which has not been provided a solution for and requires lots of efforts and substantial financial investment.

For the grape cultivation, it is also important to know the average ten-day air temperatures in a vegetation period by months. Based on the actual

values of the average ten-day air temperatures, their distribution in a vegetation period has been made (fig. 3). It allows to ascertain the average terms for a grape growth in the study area and to regulate and plan the field works by taking the weather conditions of a particular year into account.

So, it is necessary to make a serious scientific researches, to work out new strategies, to find new areas for vineyards and to work out more productive new kinds for these conditions.

5. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

In the result of the studies we came to the following *conclusions and recommendations*:

- The region is known for its great potential of thermal resources;
- In the latest 70-80 years, a stable change of climatic elements with the temperature increase is observed;
- It is supposed that in 2100 in a vegetation period (March-October) there will be observed an increase of an active temperatures sum from 600-700 to 1000 °C as compared to the present average, an increase of grape sugariness, lift of the upper limit of cultivation of up to 1600-1800 m, an expansion of the vineyard areas, an increase of the production of the exported red wines;
- Climate change will have its impact on a

grape harvest which will lead to some downfall;

- In view of the climate change, a shift in phenological phases of the crops and cultivation borders is expected. It is possible that the vegetation of the crop will begin earlier and end later, the upper limit borders of crops may move up to 100-200 m higher figures.

It is necessary to :

- provide and implement comprehensive, systemized and uninterrupted views;
- expand the irrigated area;
- invest in a new and drought-resistant high-yielding varieties
- invest in and apply new and integrated technologies of grape cultivation, which will somewhat mitigate the adverse effects of the climate change;
- work out definite mechanisms aimed at combatting hazardous hydrometeorological phenomena, causing a damage to viticulture, combined with prevention of social detriment and economic loss.

REFERENCES

1. Baghdasaryan, A.B. (1958). *The climate of Armenian SSR*. Yerevan : Publ. House of the Armenian SSR Academy of Sciences.
2. Ayvazyan, P.K., Ayvazian, G., Barseghyan, Mr. (2015). *The main grape varieties spreaded in Armenia. Viticulture and wine production specialization and distribution of varieties. Manual*. Yerevan : ALIS.
3. Mkrtychyan, R.S., Melkonian, D.H., Badalyan, V.H. (2011). *Agroclimatic resources of Armenia*. MES of Armenia & Hydrometeorological and Monitoring Service of Armenia "Armstatehydromet". Yerevan: Lusabats.
4. Margaryan, V.G. (2016). The dynamics change of average annual values of air temperature in instrumental period (on the pattern of mountainous territory of the Republic of Armenia). *The Conference Global Climate Observation: the Road to the Future*, 2-4 March, Amsterdam, pp. 37-38. Available at: Abstracts_GCOS_Science_Conference_2-4March2016.pdf (accessed: 20.06.2016).
5. Margaryan, V.G. (2017). The problems of change climate conditions for the period of over the last century over mountainous territory of Armenian Republic. *Abstract book: Zaragoza 5th Open Science Meeting. Global challenges for our Common Future a Paleoscience Perspective*, 9-13 May, Zaragoza, Spain, p. 310.
6. Ministry of Nature Protection of the Republic of Armenia (2015). *Armenia's Third National Communication on Climate Change*. Yerevan : Lusabats.
7. Margaryan, V.G., Guloyan, G.V. (2017). The vulnerability and risk assessment of agricultural crops in the conditions of expected climate change in the Republic of Armenia. *Book of Abstracts: MACSUR Science Conference*, 22–24 May, Berlin, p. 103.
8. Margaryan, V.G., Mkhitarian, M.S. (2017). Assessment of viticulture and winemaking vulnerability in the expected conditions of climate change in Ararat valley and foothills. *Book of Abstracts: MACSUR Science Conference*, 22–24 May, Berlin, p. 102.
9. Margaryan, V.G., Mkhitarian, M.S., Simonyan, L.M. (2017). Assessment and analysis of heat-providing vulnerability of main viticulture industrial region of Armenia in expected climate change. International conference landscape dimensions of sustainable development: science – planning – governance. *Book of Abstracts. ICLDS-2017*, 4-6 October, Tbilisi, Georgia, pp. 69-70.
10. Fulga, I.G. (1989). *Fundamentals of viticulture and fruit growing*. 2nd ed., revised and completed. Moscow : Agropromizdat.

ОЦЕНКА И АНАЛИЗ УЯЗВИМОСТИ ТЕПЛООБЕСПЕЧЕНИЯ В ОСНОВНОМ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОМ РАЙОНЕ АРМЕНИИ (АРАРАТСКАЯ ДОЛИНА И ПРЕДГОРНАЯ ЗОНА) В КОНТЕКСТЕ ОЖИДАЕМОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

В. Г. Маргарян¹, канд. геогр. наук, М. С. Мхитарян²

¹ Ереванский государственный университет,

Республика Армения, г. Ереван, 0025, ул. Алека Манукяна, 1, vmargaryan@ysu.am

² Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Армения "Служба по гидрометеорологии и активным воздействиям на атмосферные явления"

Республика Армения, Ереван 0054, Давиташен, 4-ый квартал, ул. А. Микояна 109/8

В работе изучены и оценены условия теплообеспеченности основного района промышленного виноградарства Республики Армения (Араратская равнина и ее предгорная зона) в контексте изменения климата. В качестве исходного материала в работе использованы ежедневные данные фактических наблюдений метеостанций на изучаемой территории гидрометслужбы МЧС Армении, а также агроклиматические справочники.

Теплообеспеченность сельскохозяйственных культур характеризуется суммой температур выше 5 и 10 °С. Суммой температур выше 10 °С (активных температур) обусловлена продолжительность и теплообеспеченность вегетационного периода растений, что имеет определенное воздействие на выбор сортов, накопление сахара в плодах и на специализацию. Согласно фактическим наблюдениям, годовая сумма температур выше 10 °С в среднем составляет 3176-4220 °С.

В результате исследований выяснилось, что в основном районе промышленного виноградарства республики наблюдается рост теплообеспеченности. А продолжение роста при-

ведет к изменению качества, формы, вкуса винограда, распространению болезней, расширению географии; под воздействием изменения климата до 2100 года ожидается смещение соответствующей зоны для возделывания любой культуры, в том числе винограда, вверх от 100-200 до 400 м. На изучаемой территории в условиях ожидаемого роста температуры расчет также и продолжительность вегетационного периода. То есть, в результате этого вегетация начинается раньше, что, с одной стороны, создаются благоприятные термические условия для возделывания винограда, а с другой стороны, увеличивается степень уязвимости винограда к неблагоприятным и опасным метеорологическим явлениям. Кроме того, комбинирование роста температуры и испарения и уменьшение осадков приведет к сокращению продуктивности винограда, к дополнительной потребности в оросительной воде, вторичному засолению почв, и, как следствие, к росту расходов. Таким образом, необходимо провести серьезные научные исследования, разработать новую стратегию, найти новые зоны виноградников и культивировать наиболее продуктивные новые сорта для указанных условий.

Ключевые слова: виноград, теплообеспечение, уязвимость, изменение климата, главный винодельческий район, Араратская долина и предгорная зона.

ОЦІНКА І АНАЛІЗ ВРАЗЛИВОСТІ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В ОСНОВНОМУ ВІНОРОБНОМУ РАЙОНІ ВІРМЕНІЇ (АРАРАТСЬКА ДОЛИНА І ПЕРЕДГІРНА ЗОНА) В КОНТЕКСТІ ОЧІКУВАНОЇ ЗМІНИ КЛІМАТУ

В. Г. Маргарян¹, канд. геогр. наук, М. С. Мхітарян²

¹ Єреванський державний університет, vmargaryan@ysu.am

Республіка Вірменія, м. Єреван, 0025, вул. А. Манукяна, 1, vmargaryan@ysu.am

² Міністерство з надзвичайних ситуацій Республіки Вірменія "Служба по гідрометеорології та активних дій на атмосферні явища"

Республіка Вірменія, Єреван 0054, Давіташен, 4-ий квартал, вул. А. Мікояна 109/8

У роботі вивчені і оцінені умови теплозабезпечення основного району промислового виноградарства Республіки Вірменія (Араратська рівнина і її передгірна зона) в контексті зміни клімату. В якості вихідного матеріалу в роботі використані щоденні дані фактичних спостережень метеостанцій на території, що вивчається, гідрометслужби МНС Вірменії, а також агрокліматичні довідники.

Теплозабезпечення сільськогосподарських культур характеризується сумою температур вище 5 і 10 °С. Сумою температур вище 10 °С (активних температур) обумовлена тривалість і теплозабезпечення вегетативного періоду рослин, що має певний вплив на вибір сортів, накопичення цукру в плодах і на спеціалізацію. Згідно з фактичними спостереженнями, річна сума температур вище 10 °С в середньому становить 3176-4220 °С.

В результаті досліджень з'ясувалося, що в основному районі промислового виноградарства республіки спостерігається зростання теплозабезпечення. А продовження зростання призведе до зміни якості, форми, смаку винограду, поширенню хвороб, розширенню географії, під впливом зміни клімату до 2100 року очікується зсув відповідної зони для обробітку будь-якої культури, в тому числі винограду, вгору від 100-200 до 400 м. На досліджуваній території в умовах очікуваного зростання температури зростає також і тривалість вегетативного періоду. Тобто, в результаті цього вегетация починається раніше, що, з одного боку, створює сприятливі термічні умови для обробітку винограду, а з іншого боку, збільшує ступінь уразливості винограду до несприятливих і небезпечних метеорологічних явищ. Крім того, комбінування зростання температури і випаровування і зменшення опадів призведе до скорочення продуктивності винограду, до додаткової потреби в зрошувальній воді, вторинного засолення ґрунтів, і, як наслідок, до зростання витрат. Таким чином, необхідно провести серйозні наукові дослідження, розробити нову стратегію, знайти нові зони виноградників і культивувати найбільш продуктивні нові сорти для зазначених умов.

Ключові слова: виноград, теплозабезпечення, вразливість, зміна клімату, головний виноробний район, Араратська долина і передгірна зона.

Подання до редакції : 08. 02. 2018

Надходження остаточної версії : 16. 05. 2018

Публікація статті : 29. 06. 2018

УДК : 551.583:631.559:633.17(477)

ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН КЛІМАТУ НА ПРОДУКТИВНІСТЬ ПРОСА В ЦЕНТРАЛЬНОМУ РАЙОНІ УКРАЇНИ

Н. В. Данілова, канд. геогр. наук

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, nataliadanilova0212@gmail.com

Виконано дослідження впливу змін клімату на формування продуктивності проса шляхом порівняння даних за сценарієм RCP4,5 та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників. Оцінено вплив агрокліматичних умов на динаміку приростів різних рівнів агроекологічної урожайності. Дана оцінка впливу агрокліматичних умов на формування урожаю проса в умовах зміни клімату. Встановлено відмінності в оптимальних значеннях інтенсивності *ФАР*, температури повітря і характеристик зволоження для центрального району України.

Ключові слова: просо, зміна клімату, урожайність, температура повітря, прирости, опади, вологозабезпеченість.

1. ВСТУП

У сучасному світі клімат є природним ресурсом. Він приносить вигоди тим країнам, де він сприятливий, і збитки там, де він несприятливий. Через неповне або неправильне використання ресурсів клімату і кліматичної інформації можуть зростати втрати в сільському господарстві, енергетиці, будівництві. Крім того, в умовах клімату, що змінюється, дуже важливо мати стратегії реагування сільськогосподарського та промислового виробництва на ці зміни. Особливості фізико-географічного розташування нашої країни обумовлюють значне різноманіття кліматичних умов. Оцінка кліматичних і агрокліматичних показників, або районування території, дають уявлення про відмінності та кількісні параметри ресурсів тепла і вологи кожного регіону.

Зміна клімату — це зміна кліматичних умов глобальної атмосфери та на Землі у цілому (або в окремих її зонах або територіях), прямо або побічно обумовлена діяльністю людей на планеті, що накладаються на природні коливання клімату (флуктуації) і спостерігаються упродовж зіставних періодів часу.

Клімат України, як і глобальний клімат, змінюється, проте потепління на нашій території відбувається навіть швидше, ніж в інших регіонах Північної півкулі [1, 2].

Метою виконаного дослідження є оцінка впливу змін клімату на формування продуктивності проса в центральному районі України.

2. ОПИС ЛІТЕРАТУРИ

Україна в цілому, південні області зокрема,

стають дедалі більш вразливими до зміни клімату – посухи, екстремально високі температури, малоефективні опади, скорочення зрошуваних площ зумовлюють нестабільність урожайності сільськогосподарських культур. Зважаючи на інерційність сільського господарства та залежність його ефективності від погодних умов, уже нині виникає необхідність вивчення змін агрокліматичних умов ведення сільського господарства та прийняття своєчасних і адекватних рішень щодо проблем, зумовлених змінами клімату [3].

Основні площі орних земель України знаходяться в зонах нестійкого і недостатнього зволоження, зміни клімату для рослинництва, особливо вирощування озимих культур та ранніх ярих культур, цілком можливо, будуть скоріше позитивні, чим негативні.

В цих умовах важливим чинником підвищення ефективності сільського господарства України в умовах зміни клімату є науково обґрунтоване розміщення посівних площ сільськогосподарських культур із врахуванням кліматичних змін, адаптація рослинництва до цих змін, що дозволить найбільш ефективно використовувати природні ресурси в нових кліматичних умовах, добитись стійкого зростання величини і якості врожаю [2, 4, 5].

Ступінь відповідності кліматичних умов біологічним особливостям сільськогосподарських культур і агротехніки їх вирощування визначає продуктивність цих культур. Найбільш висока врожайність досягається за умов максимально більш повного використання рослиною кліматичних ресурсів.

Для дослідження впливу змін клімату використовуються кліматичні моделі різних складно-

стей, які і дозволяють оцінити його регіональні аспекти [6].

Дослідженнями впливу змін клімату на продуктивність проса займається широке коло дослідників [7-9].

Для Західної Африки була застосована калібрована модель обробітку урожаю проса SARRA-H на основі технології і підтвердженні багаторічних польових спостережень в Сенегалі, Малі, Буркіна-Фасо та Нігерії. Модель була застосована на 35 станціях по всій Західній Африці і в дуже різних агрокліматичних умовах. Було взято до уваги 35 можливих кліматичних сценаріїв, які поєднують аномалії атмосферних опадів від -20% до 20% з температурними аномаліями від +0 до +6 °C [7].

Іншими дослідниками для Західної Африки була використана модель AquaCrop, заснована на процесі розроблення FAO (Продовольча та сільськогосподарська організація, Рим, Італія) для кількісного визначення ризику зміни клімату для проса в межах басейну Нігер. Аналіз культур проводився в рамках сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 в різних агроекологічних зонах шляхом порівняння середніх багаторічних характеристик за період з 1976 по 2005 рр., який був прийнятий за базовий та за сценарний період з 2021 по 2050 рр. [8].

Для Індії просторовий розподіл та тенденцію вологозабезпечення проса, що росте в районах Харифа і Рабі вивчали з використанням моделі ESM-1M CMIP-5 за сценарієм RCP4.5. Аналіз тенденції виконувався шляхом порівняння різних періодів: базового періоду (1981-2010) та двох сценарних періодів (2021-2050 та 2051-2080) [9].

В рамках проекту Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5) Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme) використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (Representative Concentration Pathways – RCP).

Сценарії використовуються в дослідженнях клімату для забезпечення правдоподібних описів того, як майбутнє може розвиватися відносно цілого ряду змінних, включаючи соціально-економічні зміни, технологічні зміни, енергетику і землекористування, а також викиди парникових газів і забруднювачів повітря.

RCP - це сценарії, які описують альтернативні траєкторії викидів вуглекислого газу і підсумкову концентрацію атмосфери з 2000 по 2100 роки.

Для уявлення цього діапазону від низького до високого рекомендується чотири RCP, які

містять один сценарій зменшення викидів, який передбачає низький рівень впливу (RCP2.6); два сценарії стабілізації (RCP4.5 і RCP6.0) і сценарій з дуже високими рівнями викидів парникових газів (RCP8.5). В основному працюють тільки два: RCP 4.5 і RCP 8.5. RCP 4.5 - це свого роду сценарій середньої дороги, що передбачає, що викиди почнуть скорочуватися до середини десятиліття цього століття, і, отже, потепління триватиме, але буде сповільнюватися від його нинішнього рівня. З іншого боку, RCP 8.5 - сценарій з високим потеплінням, який передбачає, що ми продовжимо свій нинішній шлях високих викидів [10, 11].

3. ОПИС ОБ'ЄКТІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

В даній роботі аналіз тенденції зміни клімату виконувався шляхом порівняння середніх багаторічних характеристик метеорологічних та агрометеорологічних показників за два періоди: перший з 1991 по 2010 рік (базовий період), другий період – з 2021 по 2050 рр. за сценарієм RCP4,5, який передбачає стабілізацію викидів парникових газів в атмосферу та середніх багаторічних характеристик кліматичних та агрокліматичних показників.

В якості вихідної інформації використовувалися середньообласні дані спостережень на мережі гідрометеорологічних та агрометеорологічних станцій Української Гідрометслужби [1], дані гідрометеорологічних параметрів, які реалізовані в регіональній кліматичній моделі RASMO2, яка поєднує в собі фізичні схеми, розроблені Європейським центром середньострокових прогнозів погоди (ECMWF) [12], і динамічну основу від моделі HIRLAM [11, 13].

В якості теоретичної основи використана базова модель оцінки агрокліматичних ресурсів формування продуктивності сільськогосподарських культур [14].

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В ході роботи нами була проведена порівняльна характеристика агрокліматичних умов вегетаційного періоду проса. При оптимальній забезпеченості рослин вологою, теплом і мінеральним ґрунтовим живленням максимальний приріст фітомаси посівів проса визначається приходом ΦAP за період і коефіцієнтом її використання.

Під впливом зміни агрокліматичних умов вирощування проса відбудеться зміна показників фотосинтетичної продуктивності культури до яких відноситься ΦAP .

Розглянемо хід декадної ΦAP та динаміку приростів потенційної урожайності ($ПУ$) проса за вегетаційний період за базовий період 1991-2010 рр. та за сценарний період 2021-2050 рр.

Як видно з даних рис. 1 буде спостерігатися поступовий ріст ΦAP за базовий та сценарний період до 7-8 декади вегетації. Максимальне значення ΦAP за базовий період складає 249,8 кал/см²добу, а за сценарний - 249,7 кал/см²добу.

Максимальне значення приросту $ПУ$ (рис. 1) за сценарним періодом складає 213,3 г/м²дек., що менше на 3,8 г/м²дек, порівняно з базовим.

Рівень $ПУ$ лімітується фактором тепла та вологи. Ці два фактора визначають рівень наступної агроєкологічної категорії урожайності – метеорологічно-можливий урожай ($ММУ$).

Розглянемо динаміку показників температур-

ного режиму протягом вегетації проса (табл. 1).

За умовами сценарію, порівняно з базовим періодом, ріст та розвиток проса буде проходити при підвищеній температурі. Максимальне значення нижньої межі температурного оптимуму для фотосинтезу за сценарним періодом складатиме 16,2 °С, що на 0,2 °С вище в порівнянні з базовим. Максимальне значення верхньої межі температурного оптимуму за сценарним періодом складатиме 21,0 °С, що на 0,4 °С вище в порівнянні з базовим. За умовами сценарію в період від посіву до викидання волоті ріст та розвиток проса буде відбуватись при підвищеному на 2,2 °С температурному режимі (табл. 1).

Приріст $ММУ$ за сценарний період складає 141,1 г/м²дек, що в порівнянні з базовим періодом, менше на 17,9 г/м²дек. табл. 1).

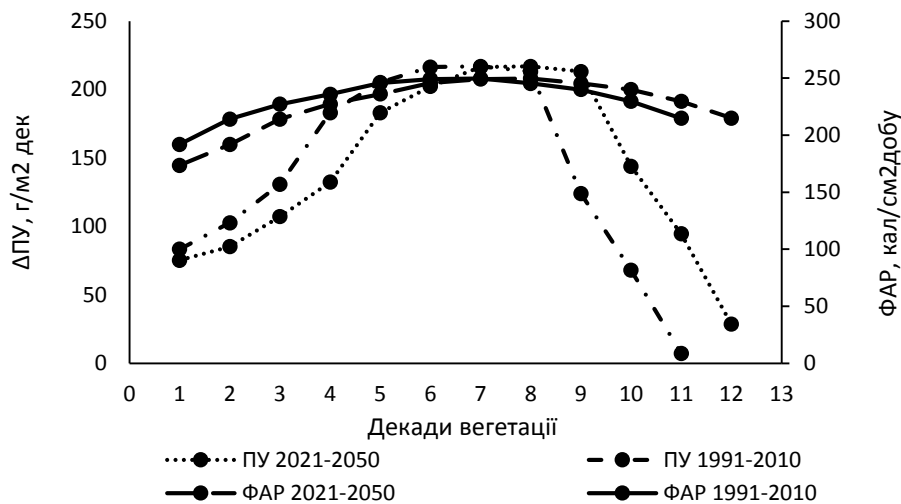
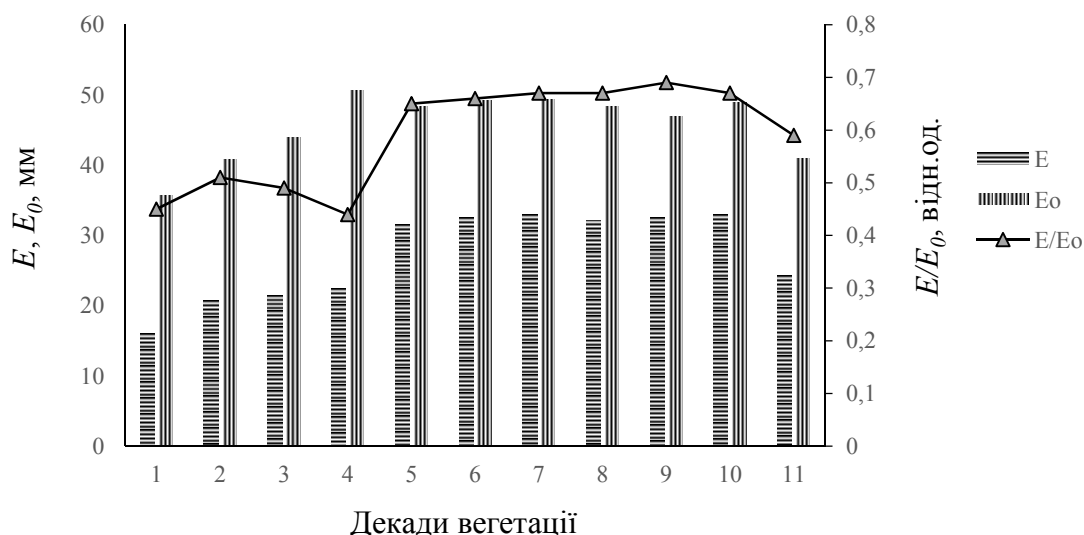


Рис. 1 – Динаміка ΦAP та декадних приростів $ПУ$ проса за період 1991-2010 рр. та 2021-2050 рр. в центральному районі України.

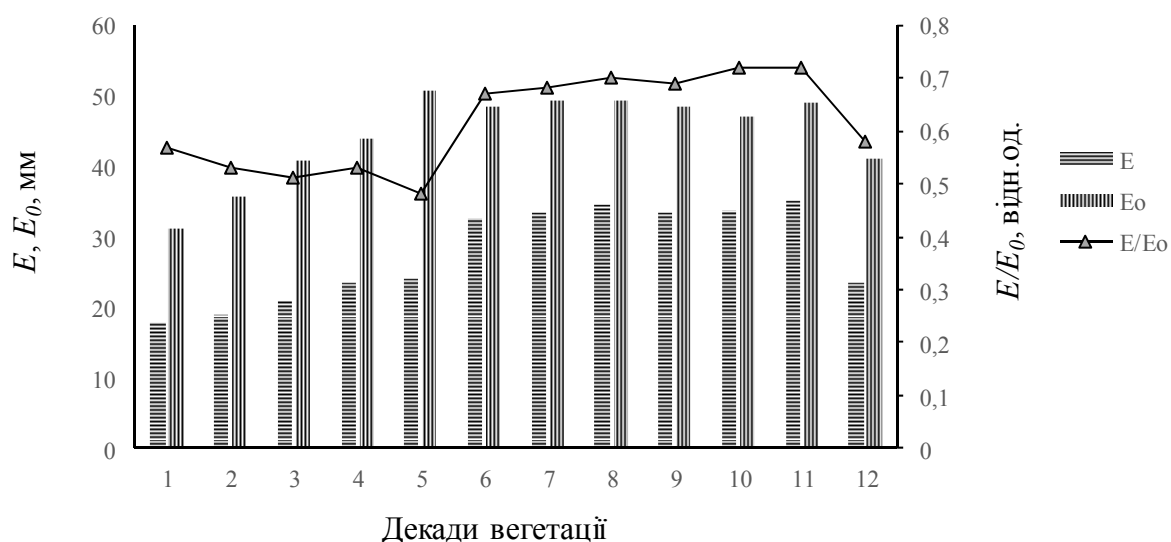
Таблиця 1 – Порівняння агрокліматичних показників умов формування агроєкологічних категорій урожайності проса за середньобаторічними даними (1991-2010) рр. та за сценарієм зміни клімату RCP4,5 в центральному районі України.

Період	ΦAP за декаду, кал/см ² добу	Оптимальні температури повітря для фотосинтезу, °С		Середня температура повітря за декаду, °С	Сумарне випаровування, мм	Випаровуваність, мм	Відносне вологозабезпечення, відн.од.	Прирости агроєкологічних категорій урожайності, г/м ² дек		
		нижня межа	верхня межа					$ПУ$	$ММУ$	$ДМУ$
1991-2010	249,7	16,0	20,6	20,9	33,0	50,6	0,69	216,9	159,0	95,4
2021-2050	249,8	16,2	21,0	23,1	34,2	50,7	0,67	213,1	141,1	84,7
Різниця	+0,1	+0,2	+0,4	+2,2	+1,2	+0,1	-0,2	-3,8	-17,9	-10,7



E – випаровування; E_0 – випаровуваність; E/E_0 – відносна вологозабезпеченість посівів.

Рис. 2 - Декадний хід характеристик водного режиму посівів проса за базовий період 1991-2010 рр. в центральному районі України.



E – випаровування; E_0 – випаровуваність; E/E_0 – відносна вологозабезпеченість посівів.

Рис. 3 - Декадний хід характеристик водного режиму посівів проса за сценарний період 2021-2050 рр. в центральному районі України.

Водний режим посівів дещо зміниться (рис. 2, рис. 3).

Сумарне випаровування (E) збільшиться, порівняно з базовим періодом, на 1,2 мм.

Випаровуваність (E_0), порівняно з базовим періодом, збільшиться на 0,1 мм.

Відношення сумарного випаровування до випаровуваності (E/E_0) характеризує вологозабезпеченість посівів.

Вологозабезпеченість посівів E/E_0 знизиться,

в порівнянні з базовим періодом (0,69 відн.од) до 0,67 відн.од.

Максимальне значення величин приростів ДМУ за сценарним періодом складає 84,7 г/м²дек, що на 10,7 г/м²дек менше, порівняно з базовим.

Порівняємо наші результати з результатами дослідження інших авторів.

Для Західної Африки виявлено, що потенційний вплив змін клімату на врожайність

проса за сценарними результатами відрізняється від базового періоду. Підвищення температури на 2 °С, як і в нашому випадку, негативно впливає на врожайність проса, що призведе до зменшення продуктивності до 10% [7].

За оцінками інших дослідників, в рамках сценаріїв RCP4.5 та RCP8.5 результати, одержані шляхом моделювання показали, що підвищення температури суттєво зменшує врожайність в країнах Західної Африки на південь від Сахари до 2050 року (зниження від 2% до 20%) [8].

Для території Індії за сценарієм RCP4.5 для різних періодів: базового періоду (1981-2010) та сценарних періодів (2021-2050 та 2051-2080), виявлено, що підвищення температури негативно впливає на продуктивність проса [9].

Приведені вище дані, одержані в результаті спостережень за впливом змін клімату на продуктивність проса, співвідносяться з оцінками, одержаних в умовах центрального району України. В усіх випадках виявлено зниження врожайності через підвищення температури та недостатнє вологозабезпечення протягом майбутніх періодів.

5. ВИСНОВКИ

Виконано оцінку щодакдної динаміки показників приростів агроєкологічних категорій врожайності проса під впливом світлового, теплового та водного режимів в умовах зміни клімату для центрального району України. Дослідження проводились за сценарієм RCP4,5 шляхом порівняння даних за розрахункові періоди: 1991-2010 рр. та 2021-2050 рр. Можна відзначити, що за період 2021-2050 рр. в порівнянні з фактичним 1991-2010 рр. слід очікувати відсутніх змін у температурному режимі впродовж вегетаційного періоду. За даними сценарію прогнозується суттєве збільшення сезонних літніх температур повітря і в зв'язку з цим буде спостерігатися зниження врожайності проса. На основі результатів аналізу розрахунків показників світлового режиму та вологозабезпечення за період з 2021 по 2050 рр. різких змін не слід очікувати в порівнянні з базовим 1991-2010 рр.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Агрокліматичний довідник по території України / за ред. Т. І. Адаменко, М. І. Кульбіді, А. Л. Прокопенко. Кам'янець-Подільський, 2011. 107 с.
2. Адаменко Т. І. Агрокліматичне зонування території України з врахуванням зміни клімату. Київ: ВЕГО «МАМА-86», 2014. 4 с.
3. Івані Жужанна. Підвищення стійкості до зміни клімату сільськогосподарського сектору Півдня України: звіт. Сентендре, Угорщина. Жовтень, 2015. С. 76.
4. Степаненко С. М., Польовий А. М., Дем'янюк О. С., Дронова О. О. Зміни режиму опадів в Україні. *Агроєкологічний журнал*. 2014. № 2. С. 10-16.
5. Польовий А. М. Оцінка впливу змін клімату на зміни агрокліматичних ресурсів Луганського регіону, умови росту та продуктивність сільськогосподарських культур і природної рослинності. Рекомендації щодо адаптації до цих змін: звіт. Одеса, 2012. 7 с.
6. Detlef, P. van Vuuren. (2014). *Representative Concentration Pathways*. Planbureau voor de Leefomgeving.
7. Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M. et al. (2013). Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Environment Research Letters*, 8(1). DOI:10.1088/1748-9326/8/1/014040
8. Uvirkaa Akumaga, Aondover Tarhule, Claudio Piani, Bouba Traore, Ado A. Yusuf. (2018). Utilizing Process-Based Modeling to Assess the Impact of Climate Change on Crop Yields and Adaptation Options in the Niger River Basin, West Africa. *Agronomy*, 8(2). DOI:10.3390/agronomy8020011
9. Sandeep, V.M., Bapuji, B., Bharathi, G., Pramod, P., Chowdary, P.S., Patel, N.R., Vijaya Kumar, P. (2017). Projecting future changes in water requirement of grain sorghum in India. *Journal of Agrometeorology*, 19(3), 217-225.
10. Gao, Y., Fu, J.S., Drake, J.B., Lamarque, J.F., Liu, Y. (2013). The impact of emission and climate change on ozone in the United States under representative concentration pathways (RCPs). *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 607-621.
11. Jacob, D., Van den Hurk, B.J.J.M., Andre, U., Elgered, G., Fortelius, C., Graham, L.P. et al. (2001). A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. *Meteor. Atm.*, 77, 61-73.
12. Полевой А. Н. Теория и расчет продуктивности сельскохозяйственных культур. Ленинград: Гидрометеиздат, 1983. 175 с.
13. Тарко А. М. Антропогенные изменения глобальных биосферных процессов. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 231 с.
14. Польовий А. М. Моделювання гідрометеорологічного режиму та продуктивності агроєкосистем. Київ: КНТ, 2007. 344 с.

REFERENCES

1. Adamenko, T.I., Kulbida, M.I., Prokopenko, A.L. (Eds). (2011). *Ahroklimatychnyi dovidnyk po terytorii Ukrainy* [Agroclimatic reference book for territories of Ukraine]. Kamianets-Podilsk. (in Ukr.)
2. Adamenko, T.I. (2014). *Ahroklimatychne zonuvannia terytorii Ukrainy z vrakhuvanniam zminy klimatu* [Agroclimatic zoning of Ukraine taking into account climate change]. Kyiv : VEGO «MAMA-86». (in Ukr.)
3. Ivani Zhuzhanna. (October 2015). *Pidvyshchennia stiikosti do zminy klimatu silskohospodarskoho sektoru Pivdnia Ukrainy* [Increased resistance to climate change agricultural sector of the South Ukraine]. Sentendre, Hungary. (in Ukr.)
4. Stepanenko, S.M., Pol'ovyi, A.M., Demianiuk, O.S., Dronova, O.O. (2014). [Changes in the precipitation regime in Ukraine]. *Ahroekoloh. ž.* [Agroecolog. J.], 02, 10-16. (in Ukr.)
5. Pol'ovyi, A.M. (2012). *Otsinka vplyvu zmin klimatu na zminy ahroklimatychnykh resursiv Luhanskoho rehionu, umovy rostu ta produktyvnist silskohospodarskykh kultur i pryrodnoi roslynnosti. Rekomendatsii shchodo adaptatsii do tsykh zmin* [Assessing the impact of climate change on changes in agro-climatic resources of Lugansk region, the conditions of growth and productivity of crops and natural vegetation. Recommendation to adapt to these changes]. Odesa. (in Ukr.)
6. Detlef, P. Van Vuuren. (2014). *Representative Concentration Pathways*. Planbureau voor de Leefomgeving.
7. Sultan, B., Roudier, P., Quirion, P., Alhassane, A., Muller, B., Dingkuhn, M. et al. (2013). Assessing climate change impacts on sorghum and millet yields in the Sudanian and Sahelian savannas of West Africa. *Enviroment Research Leters*, 8(1). DOI:10.1088/1748-9326/8/1/014040
8. Uvirkaa Akumaga, Aondover Tarhule, Claudio Piani, Bouba Traore, Ado A. Yusuf. (2018). Utilizing Process-Based Modeling to Assess the Impact of Climate Change on Crop Yields and Adaptation Options in the Niger River Basin, West Africa. *Agronomy*, 8(2). DOI:10.3390/agronomy8020011
9. Sandeep, V.M., Bapuji, B., Bharathi, G., Pramod, P., Chowdary, P.S., Patel, N.R., Vijaya Kumar, P. (2017). Projecting future changes in water requirement of grain sorghum in India. *Journal of Agrometeorology*, 19(3), 217-225.
10. Gao1, Y., Fu, J.S., Drake, J.B., Lamarque, J.F., Liu, Y. (2013). The impact of emission and climate change on ozone in the United States under representative concentration pathways (RCPs). *Atmos. Chem. Phys.*, 13, 607-621.
11. Jacob, D., Van den Hurk, B.J.J.M., Andre, U., Elgered, G., Fortelius, C., Graham, L.P. et al. (2001). A comprehensive model inter-comparison study investigating the water budget during the BALTEX-PIDCAP period. *Meteor. Atm.*, 77, 61-73.
12. Polevoy, A.N. (1983). *Teoriya i raschet produktivnosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* [Theory and calculation of the productivity of agricultural cultures]. Leningrad : Gidrometeoizdat. (in Russ.)
13. Tarko, A.M. (2005). *Antropogennnye izmeneniya global'nykh biosferynykh protsessov* [Anthropogenic changes of global biosphere processes]. Moscow : FIZMATLIT. (in Russ.)
14. Pol'ovyi, A.M. (2007). *Modeliuvannia hidrometeorolohichnoho rezhymu ta produktyvnosti ahroekosystem* [Modeling of hydrometeorological regimes and agro-ecosystems' productivity]. Kyiv : KNT. (in Ukr.)

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ ПРОСА В ЦЕНТРАЛЬНОМ РАЙОНЕ УКРАИНЫ

Н. В. Данилова, канд. геогр. наук

Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, nataliadanilova0212@gmail.com

Выполнено исследование влияния изменений климата на формирование продуктивности проса за различные промежутки времени путем сравнения данных по сценарию RCP4,5 и средних многолетних характеристик климатических и агроклиматических показателей. Оценено влияние агроклиматических условий на динамику приростов разных уровней агро-экологической урожайности. Представлена оценка влияния агроклиматических условий на формирование урожая проса в условиях изменения климата. Установлены различия в оптимальных значениях интенсивности ФАР, температуры воздуха и характеристик увлажнения центрального района Украины.

Ключевые слова: просо, изменение климата, урожайность, температура воздуха, приросты, осадки, влагообеспеченность.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE PRODUCTIVITY OF MILLET IN THE CENTRAL PART OF UKRAINE

N. V. Danilova, Cand. Sci. (Geogr.)

Odessa State Environmental University

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, nataliadanilova0212@gmail.com

Climate change is a change of climatic conditions in the global atmosphere and on the Earth in general (or within its individual zones or territories) caused directly or indirectly due by the human activity on the planet, which are overlaid on the natural climatic variations (fluctuations) and observed during comparable periods of time.

Both the climate of Ukraine and the global climate are changing, but warming within our territory progresses even faster than in other regions of the Northern Hemisphere.

Ukraine in general and southern regions in particular are becoming increasingly vulnerable to climate change – droughts, extremely high temperatures, inefficient precipitation, reduced irrigated area cause of precipitation amount and regime, severer and more long-lasting droughts, reduced water availability.

The majority of arable land in Ukraine are located in zones of unstable and insufficient humidity, it is quite possible that for plant growing, especially for growing winter crops and early spring crops, climate change will rather have a positive effect than negative one.

Among the main types of cereals millet is the most common one. It is valuable for its groats, which is known by its high eating quality.

Millet as a fast-growing crop having a certain agrotechnical importance: it is used as a backup crop for re-sowing dead winter crops and is suitable for stubble and post-harvest sowing, it also can be used as a cover culture for perennial grass.

Millet is one of the most drought-resistant and heat-resistant crops. It is able to withstand heat injuries which is very important in arid areas and during dry years, when other grain crops have reduced yield. Millet suffers less from pests and diseases than other crops.

The task was to evaluate the agro-climatic conditions of millet crops formation in the central part of Ukraine under conditions of climate change. The study of the impact of climate change on the formation of millet productivity for different time intervals was performed by comparing the data of the RCP scenario and the average long-term climatic and agro-climatic parameters. The influence of agroclimatic conditions on the dynamics of increase of agroecological yield of different levels is also assessed.

Key words: millet, climate change, yield, air temperature, gains, precipitation, moisture supply.

Подання до редакції : 09. 03. 2018

Надходження остаточної версії : 05. 06. 2018

Публікація статті : 29. 06. 2018

УДК 556.16:556.06

**ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗРОШУВАННЯ ЗА РАХУНОК РІЧКИ–ДОНОРА (ДНІСТРА)
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЧНОГО СТОКУ РІЧКИ БАРАБОЙ****Н. С. Лобода**, д-р геогр. наук,
Я. С. Яров*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, slavikyarov82@gmail.com*

У статті виконана оцінка характеристик річного стоку невивченої з гідрологічної точки зору річки Барабой (Одеська область) у природних та порушених водогосподарською діяльністю умовах на базі моделі «клімат-стік».

Основними чинниками антропогенного впливу на гідрологічний режим річки Барабой є велика кількість штучних водойм та інтенсивне зрошування сільськогосподарських масивів водами річки Дністер. Надані оцінки змін природного стоку річки Барабой в умовах наявності штучних водойм та зрошування за рахунок річки-донора (Дністра). Показано, що за природних умов формування стоку річка мала б пересихати у маловодні та дуже маловодні роки. Додаткове випаровування з поверхні штучних водойм сприяє зменшенню величин річного стоку. В результаті використання моделі «клімат-стік» установлено, що зворотні води, які надходять до русла річки із сільськогосподарських земель, зрошуваних за рахунок вод річки-донора (Дністра), здатні суттєво збільшити фактичний стік річки Барабой у гирловій області (на 10-30 % за багаторічний період в залежності від масштабів водогосподарських перетворень). Доведено, що приплив зворотних вод при різних реальних площах зрошування перекирає втрати стоку на додаткове випаровування з поверхні штучних водойм. Донорське зрошування забезпечує стабільні величини річкового стоку у маловодні та дуже маловодні роки. Недоліком донорського зрошування є виникнення ефекту підтоплення земель. Модель «клімат-стік» дозволяє виконувати оптимізацію водогосподарських перетворень, забезпечуючи найбільш ефективне використання сільськогосподарських земель в залежності від масштабів зрошування, їх розташування в межах водозбору, вибору основних сільськогосподарських культур, які потребують зрошування.

Ключові слова: модель «клімат-стік»; характеристики природного та побутового річного стоку; штучні водойми; донорське зрошування; зворотні води.

1. ВСТУП

Річки Північно-Західного Причорномор'я належать за своїми розмірами до малих та середніх річок [1]. У минулому вони відігравали значну роль у соціально-економічному житті людей [2]. Нині більшість річок зарегульована водосховищами та ставками, які утримують значну частину поверхневого стоку весняних водопіль та дощових паводків, сприяючи зменшенню їх водних ресурсів та тривалому пересиханню річок у їх гирловій частині [3]. На початку ХХІ сторіччя вплив господарської діяльності посилюється через наслідки регіональних змін клімату, які проявляються у виді зростання температур повітря на фоні майже незмінних річних сум опадів, що призвело до зневоднення Північно-Західного Причорномор'я [4]. Через відсутність або нестачу даних спостережень за стоком як у природних, так і порушених водогосподарською діяльністю умовах виникла проблема розрахунків характеристик природного та побутового стоку

невивчених у гідрологічному відношенні річок.

Предметом даного дослідження є річка Барабой, яка знаходиться в Одеській області, об'єктом – характеристики річного стоку р.Барабой у природних та порушених господарською діяльністю умовах.

Метою роботи є визначення характеристик природного та побутового річного стоку р.Барабой на основі сучасних математичних моделей стоку в умовах антропогенного впливу [5].

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

За відсутності даних спостережень використовуються просторово-часові узагальнення характеристик стоку у вигляді карт ізоліній, районів, тощо. Карти ізоліній середніх багаторічних величин річного стоку річок України розробили Л. Г. Онуфрієнко та І. І. Волошин [6] за даними до 1978 року. Запропонована карта спирається на матеріали 615 пунктів із площею водозборів від 100 км² до 50000 км². Не враховувались во-

дозбори площею менше 100 км² рівнинних районів лісостепової зони, а також Донецького Кряжу, Приазовської та Подільської височин, де стік значно відрізняється від зонального під впливом геологічної будови, карсту та інших місцевих чинників, серед яких значне місце можуть посідати чинники антропогенного походження. У довідковій роботі [7] наведені результати узагальнень, отримані цима авторами.

Пізніше карта ізоліній норм річного стоку була дещо уточнена А. І. Шерешевським та П. Ф. Вишневським з використанням даних 80-х років минулого сторіччя [8]. На обох картах, так само, як і на картах СНіП 2.01.14-83, територія Північно-Західного Причорномор'я показана як недостатньо вивчена з гідрологічної точки зору: ізолінії норм стоку проведені пунктирною лінією. Недоліком цих просторово-часових узагальнень є те, що вони спиралися на матеріали про побутовий, тобто порушений водогосподарською діяльністю стік, і це вплинуло на результати узагальнень. У СНіП 2.01.14-83 [9] для розрахунку коефіцієнтів варіації C_V при відсутності даних спостережень для усієї території колишнього СРСР рекомендовано формулу узагальненого вигляду в залежності від середньої багаторічної величини стоку та площі водозборів. Відношення коефіцієнтів асиметрії C_S до коефіцієнту варіації C_V рекомендовано визначати за районами.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА

Водозбір річки Барабой належить басейну Чорного моря і розташований в межах південної степової зони. Витік річки (відмітка 140 м абс) знаходиться в 5 км на північний схід від села Покровка Роздільнянського району Одеської області. Річка впадає в Чорне море на південний захід від с. Грибовка [10].

Довжина річки становить 93 км, площа водозбору складає 652 км², лісистість дорівнює 2,36 % від загальної площі водозбору, розораність досягає 73,3 %. Середня висота водозбору дорівнює 80 м. Еродованість басейну становить 39,6 %, урбанізованість – 5,31 %.

Загальна площа водної поверхні штучних водойм дорівнює 8,2 км², з них 3,3 км² припадає на ставки [7]. З водосховищ виділяються Барабойське (площа водної поверхні становить 383 га, повний об'єм 24,0 млн. м³) та Санжейське (площа водної поверхні становить 67,25 га, повний об'єм 793,1 тис. м³), для наповнення яких відбувається перекид стоку р. Дністер [11-13]. Зазначені водосховища входять до складу двох черг Нижньодністровської зрошувальної системи

(НДЗС), яка за проектом нараховує 38 тис. га зрошувальних сільськогосподарських земель [14]. Фактична площа зрошуваних земель у межах водозбору р. Барабой суттєво змінюється по роках (за даними паспорту річки (1992 рік) площа зрошування змінювалася з 16230 га до 17240 га [10]). Барабойське водосховище забезпечує зрошування 11927 га земель в межах II черги НДЗС (з яких фактично у 2010 р. зрошувалось 3455 га угідь [11]). Санжейське водосховище забезпечує зрошування 4756 га земель в межах I черги НДЗС (з яких фактично у 2011 р. зрошувалось 3525 га угідь [12]). Зрошуванню в основному підлягають зернові, кормові, овочеві, плодово-ягідні та декоративні культури.

Річка Барабой є малою. До природних чинників формування стоку відносяться кліматичні чинники та вплив підстильної поверхні, до антропогенних – перекид стоку р. Дністер для потреб зрошення, а також наповнення і збереження води у Барабойському та Санжейському водосховищах протягом року для забезпечення інших господарських потреб (рибництво, рекреація). Через значну площу зрошуваних земель відбувається надходження зворотних вод до русла річки, переважно у вигляді ґрунтового стоку протягом року та надлишкових вод зі зрошувальних мереж I черги НДЗС у поливний період (технологічні, аварійні скиди) у формі поверхневого стоку. Певний вплив також має антропогенне надходження поверхневих і підземних вод до річки внаслідок фільтраційних і аварійних втрат води з водогінно-каналізаційних мереж населених пунктів, розташованих переважно вздовж берегів річки. Ці обставини викликають ефект підтоплення (наприклад, біля с. Мирне). Для запобігання підтопленню заплава р. Барабой частково обвалована, проводиться механічна розчистка та поглиблення русла для покращення умов протікання води в ньому. Береги річки відведені під городи, сади і будівлі. По берегам випасають худобу. Лише на окремих місцях чітко виділена водоохоронна зона. В гирловій ділянці русло являє собою залізобетонний канал, випуск в море обладнаний шлюзом. Гідрологічні спостереження за стоком річки не проводяться.

4. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для визначення характеристик річного природного та побутового (перетвореного водогосподарською діяльністю) стоку р. Барабой в умовах відсутності даних спостережень була застосована модель «клімат-стік», розроблена в ОДЕКУ [15]. Імітаційна стохастична модель

«клімат-стік» розглядає процес формування водних ресурсів річок у ланцюгу «клімат → підстильна поверхня → водогосподарська діяльність → побутовий стік». На вході в модель використовуються метеорологічні дані для розрахунків характеристик стоку річок у природних (непорушених водогосподарською діяльністю) умовах. До імітаційного стохастичного моделювання побутового (трансформованого водогосподарською діяльністю) стоку залучаються розраховані за метеорологічними даними статистичні параметри природного річного стоку та відомості про масштаби водогосподарських перетворень на водозборі. Теоретичною основою розрахунків природного стоку річок є водно-тепловий баланс водозборів, а побутового – рівняння водогосподарського балансу, представлене в ймовірнісній формі [16]. Для оцінки впливу водогосподарських заходів в результаті імітаційних експериментів розроблені функції антропогенного впливу, які залежать від водності річок та масштабів водогосподарських перетворень [17]. Модель калібрована та верифікована на ретроспективних даних минулого сторіччя (до початку значущих змін клімату, тобто до 1989 р.) для різних географічних зон України та різних за розмірами водозборів. Точність визначених статистичних параметрів природного річного та побутового стоку відповідає вимогам нормативних документів України по розрахунках гідрологічних характеристик і для середніх багаторічних величин річного стоку становить $\pm 10\%$. Методика була успішно застосована для визначення статистичних параметрів річного стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок Північно-Західного Причорномор'я (Тилігул [18] та Куяльник [19]). На основі моделі розроблена методика розрахунків характеристик річного природного та побутового стоку при відсутності даних спостережень за стоком або значному його перетворенні водогосподарською діяльністю, яка увійшла до нормативних документів Молдови [20] та до проекту нормативних документів з гідрологічних розрахунків України [21].

5. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Середня багаторічна величина річного стоку, визначена за метеорологічними даними, називається нормою річного кліматичного стоку. Розглядувана характеристика відповідає нормі зонального річного стоку і розраховується за балансовим рівнянням

$$\bar{Y}_K = \bar{X} - \bar{E}_m \cdot \left[1 + \left(\frac{\bar{X}}{\bar{E}_m} \right)^{-n} \right]^{\frac{1}{n}}, \quad (1)$$

де $\bar{Y}_K, \bar{X}, \bar{E}_m$ – середні багаторічні величини (норми) річного кліматичного стоку, опадів та максимально можливого випаровування, відповідно; n – параметр, що інтегрує вплив фізико-географічних умов формування стоку та приймається рівним 3.

За картою ізоліній норм річного кліматичного стоку, наведеною в [12], встановлена норма річного кліматичного річного стоку для річки Барабой, яка становить 19 мм.

Для малих та середніх річок із нестійким підземним живленням до кліматичної норми річного стоку, знятої з карти вводяться поправочні коефіцієнти, які враховують вплив підстильної поверхні. У степовій зоні Північно-західного Причорномор'я, де велике значення при формуванні стоку мають втрати на поверхневе затримання схилового стоку і де «діюча» площа водозбору, що приймає участь у формуванні стоку, значно менша фактичної, перехідні коефіцієнти визначаються за формулами:

$$K_{ПЕР} = 1 - 0,003 \cdot (280 - H_{cep}), \quad (2)$$

$$K_{ПЕР} = 1, \quad (3)$$

де H_{cep} – середня висота водозбору, м.

Формула (2) справедлива при $H_{cep} < 280$ м, формула (3) – при $H_{cep} \geq 280$ м.

Коефіцієнт переходу від норми кліматичного стоку до природного, визначений за формулою (2) при $H_{cep} = 80$ м дорівнює 0,40. Звідки шукана середня багаторічна величина річного природного стоку становить 7,6 мм.

З метою визначення таких статистичних параметрів річного стоку як коефіцієнти варіації, асиметрії, автокореляції використовуються результати просторово-часових узагальнень статистичних параметрів річного стоку річок України [5] та отримані наступні співвідношення між основними статистичними параметрами природного річного стоку

$$C_V = \frac{1,5}{\left(\frac{\bar{Y}}{10} \right)^{0,60}}. \quad (4)$$

Для річок Північно-Західного Причорномор'я мають місце наступні закономірності

$$C_S = 1,7 \cdot C_V; r(1) \cong 0, \quad (5)$$

де C_V – коефіцієнт варіації річного стоку; C_S – коефіцієнт асиметрії; $r(1)$ – коефіцієнт автокореляції.

Згідно із проведеними розрахунками (табл. 1) установлено, що навіть у природних умовах формування стоку річка Барабой пересихає у маловодні та дуже маловодні роки з 75 % та 95 % відсотковою забезпеченістю річного стоку.

Кількісна оцінка впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на річний стік надавалася за рівняннями антропогенного впливу, які мають вигляд:

$$k'_{\bar{Y}} = e^{-\alpha_{\bar{Y}} f_B}, \quad (6)$$

$$k'_{C_V} = e^{\alpha_{C_V} f_B}, \quad (7)$$

$$k'_{C_S} = e^{\alpha_{C_S} f_B}, \quad (8)$$

де $k'_{\bar{Y}}$, k'_{C_V} , k'_{C_S} (загальне позначення k'_G) – коефіцієнти впливу додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм на статистичні параметри річного стоку \bar{Y}, C_V, C_S (загальне позначення G); f_B – сумарна площа водної поверхні штучних водойм, виражена у відсотках від загальної площі водозборів F ; $\alpha_{\bar{Y}}$, α_{C_V} , α_{C_S} – коефіцієнти інтенсивності антропогенного впливу на статистичні параметри річного стоку \bar{Y}, C_V, C_S , які залежать від норми кліматичного

стоку \bar{Y}_K .

Визначення коефіцієнтів $\alpha_{\bar{Y}}$, α_{C_V} , α_{C_S} , наведених у цих рівняннях, відбувається так:

$$\alpha_{\bar{Y}} = 0,767 \cdot \bar{Y}_K^{(-0.49)}, \quad (9)$$

$$\alpha_{C_V} = 0,247 \cdot e^{(-0.0274 \bar{Y}_K)}, \quad (10)$$

$$\alpha_{C_S} = 0,179 \cdot e^{(-0.0246 \bar{Y}_K)}. \quad (11)$$

Встановлено, що лише за рахунок впливу додаткового випаровування з поверхні штучних водойм середній багаторічний стік р.Барабой зменшується від 9,2 % при $f_B=0,5$ % до 19,7 % при $f_B=1,25$ % (табл. 2). Оскільки, Барабойське та Санжейське водосховища наповнюються водами Дністра, то втрати на випаровування має сенс розраховувати для площі водної поверхні ставків, що відповідає $f_B=0,5$ %. На водозборі р.Барабой має місце зрошування за рахунок річки-донора (Дністра), зрошувані масиви розташовані близько до русла річки, до якого відбувається розвантаження зворотних ґрунтових вод, що сприяє додатковому припливу води до річки, спричиняючи зростання її стоку. Кількісна оцінка впливу донорського зрошування на водні ресурси річки Барабой виконується за допомогою функцій антропогенного впливу, які дозволяють встановити коефіцієнти антропогенного впливу для заданих кліматичних умов ($\bar{Y}_K = 19$ мм) і показників масштабів водогосподарських перетворень:

Таблиця 1 – Статистичні параметри природного річного стоку водозбору р. Барабой

Норма кліматичного стоку, \bar{Y}_K , мм	Перехідний коефіцієнт, $K_{ПЕР}$	Статистичні параметри природного річного стоку			Величини природного річного стоку у роки різної водності із забезпеченістю P , мм						
		\bar{Y} , мм	C_V	C_S	$Y_{1\%}$	$Y_{5\%}$	$Y_{25\%}$	$Y_{50\%}$	$Y_{75\%}$	$Y_{95\%}$	$Y_{99\%}$
19	0,40	7,6	1,8	3,06	62	34	10	2,2	0	0	0

Таблиця 2 – Статистичні параметри побутового стоку р. Барабой при наявності на водозборі штучних водойм (норма природного річного стоку дорівнює 7,6 мм)

Площа водної поверхні штучних водойм f_B , %	Коефіцієнти антропогенного впливу			Статистичні параметри побутового стоку			Величини побутового річного стоку у роки різної забезпеченості					
	$K'_{\bar{Y}}$	K'_{C_V}	K'_{C_S}	$\bar{Y}_{ПОВ}$, мм	C_V	C_S	$Y_{1\%}$, мм	$Y_{5\%}$, мм	$Y_{25\%}$, мм	$Y_{50\%}$, мм	$Y_{75\%}$, мм	$Y_{95\%}$, мм
0,50	0,91	1,07	1,06	6,9	1,94	3,2	62	33	9	1,55	0	0
1,0	0,83	1,16	1,12	6,3	2,09	3,4	61	32	8	0,90	0	0
1,25	0,80	1,20	1,15	6,1	2,16	3,5	60	31	7	0,71	0	0

$$K_{\bar{Y}}'' = 1,00 + n_{\bar{Y}} f_{3p} + l_{\bar{Y}} v_0 + d_{\bar{Y}} \xi - C_{\bar{Y}} \eta_{3p}, \quad (12)$$

$$K_{C_V}'' = 1,00 - n_{C_V} f_{3p} - l_{C_V} v_0 - d_{C_V} \xi + C_{C_V} \eta_{3p}, \quad (13)$$

$$K_{C_S}'' = 1,00 + n_{C_S} f_{3p} + l_{C_S} v_0 + d_{C_S} \xi - C_{C_S} \eta_{3p}, \quad (14)$$

де K_G'' – коефіцієнти впливу зрошування за рахунок річки-донора на досліджуваній статистичний параметр G ; η_{3p} – коефіцієнт корисної дії зрошувальної системи; ξ – коефіцієнти зворотних вод, які утворюються за рахунок втрат води на інфільтрацію при зрошуванні сільськогосподарських масивів і надходять до русла річки підземним шляхом; значення коефіцієнту ξ відповідає розташуванню масивів відносно водоприймача; коефіцієнт ξ приймається рівним одиниці при зрошуванні заплавної земель та $\xi = 0,5$ – при зрошуванні інших ділянок (на вододілах ξ наближається до нуля); f_{3p} – сумарна площа зрошуваних масивів, виражена в частках від загальної площі водозборів; v_0 – безрозмірна характеристика середнього за весь вегетаційний період рівня зволоження ґрунту, при якому розвиток відповідної сільськогосподарської культури є оптимальним: $v_0 = 0,8$ – для зернових культур; $v_0 = 0,90$ – для овочевих та кормових культур; $v_0 = 1$ – для вологолюбивих культур (наприклад, рису); n_G, l_G, d_G, C_G – коефіцієнти рівнянь множинної регресії.

При розрахунках статистичних параметрів річного стоку р. Барабой було прийнято, що $v_0 = 0,90$ (переважають овочеві та кормові куль-

тури); $\xi = 0,5$ та $\xi = 1,0$; $\eta_{3p} = 0,9$. Характеристика $\xi = 1,0$ бралася для сучасних умов, коли площа зрошуваних земель зменшилася і більша її частина сконцентрувалася біля річки. Відносна площа зрошуваних земель приймалася рівною 0,14 (14 %) та 0,08 (8 %) від загальної площі водозбору.

Із результатів розрахунків (табл. 3) витікає, що за умов донорського зрошування суттєво зменшується варіація та суттєво зростає асиметрія розподілу річного стоку. Надходження додаткових вод до річки забезпечує збільшення її водності у маловодні роки.

Значення статистичних параметрів побутового стоку при одночасному урахуванні двох чинників водогосподарської діяльності обчислюються за формулами:

$$Y_{ПОВ} = Y_{ПР} (K_{\bar{Y}}' + K_{\bar{Y}}'' - 1), \quad (15)$$

$$C_{V_{ПОВ}} = C_{V_{ПР}} (K_{C_V}' + K_{C_V}'' - 1), \quad (16)$$

$$C_{S_{ПОВ}} = C_{S_{ПР}} (K_{C_S}' + K_{C_S}'' - 1), \quad (17)$$

де K_G', K_G'' – коефіцієнти антропогенного впливу, які оцінюють відповідно вплив додаткового випаровування з водної поверхні штучних водойм, зрошування за рахунок водних ресурсів річки-донора на досліджуваній статистичний параметр.

Отримані результати показують (табл. 4), що надходження зворотних вод від зрошуваних масивів перекидає втрати на випаровування з водної поверхні і забезпечує стійкий стік навіть у маловодні роки.

Таблиця 3 – Статистичні параметри побутового стоку р. Барабой при наявності зрошування за рахунок річки-донора (Дністра) для відносної площі зрошуваних земель 0,14

$f_{3p}, \%$	Параметр ξ	Коефіцієнти антропогенного впливу			Статистичні параметри побутового стоку			Величини побутового річного стоку у роки різної забезпеченості					
		$K_{\bar{Y}}''$	K_{C_V}''	K_{C_S}''	$\bar{Y}_{ПОВ},$ мм	C_V	C_S	$Y_{1\%},$ мм	$Y_{5\%},$ мм	$Y_{25\%},$ мм	$Y_{50\%},$ мм	$Y_{75\%},$ мм	$Y_{95\%},$ мм
14	1,0	1,31	0,75	2,22	10	1,35	6,8	74	31	8	6	5,5	5
14	0,5	1,23	0,83	2,14	9	1,50	6,5	73	30	7	5	4,5	4,0
8	1,0	1,20	0,86	1,18	9	1,55	3,6	68	36	10	3	1,25	1,24
8	0,5	1,11	0,94	1,11	8	1,69	3,4	65	32	9	2,9	0,93	0,71

Таблиця 4 – Статистичні параметри побутового стоку р. Барабой при наявності зрошування за рахунок річки-донора Дністра ($\xi = 0,5$) та втрат на додаткове випаровування з водної поверхні ($f_B = 0,5\%$)

ξ	$f_{3P}, \%$	Сумарні коефіцієнти антропогенного впливу			Статистичні параметри побутового стоку			Величини побутового річного стоку у роки різної забезпеченості					
		$K_{\bar{Y}}$	K_{Cv}	K_{Cs}	$\bar{Y}_{ПОВ},$ мм	C_V	C_S	$Y_{1\%},$ мм	$Y_{5\%},$ мм	$Y_{25\%},$ мм	$Y_{50\%},$ мм	$Y_{75\%},$ мм	$Y_{95\%},$ мм
0.5	14	1,14	0,90	2,2	9	1,62	6,7	78	31	7	4,2	4,1	4,0
1.0	8	1,11	0,93	1,24	8	1,67	3,8	61	41	8	3	1,5	1,47

6. ВИСНОВКИ

В результаті використання моделі «клімат-стік» встановлено, що зворотні води, які надходять із сільськогосподарських земель, зрошуваних за рахунок вод річки-донора (Дністра), здатні суттєво збільшити стік річки Барабой у гирлі (на 10-30 % за багаторічний період в залежності від масштабів водогосподарських перетворень), перевищуючи втрати стоку на випаровування з водної поверхні штучних водойм. Приплив зворотних вод забезпечує стабільний стік у маловодні роки. Однак покращення кількісних характеристик стоку може супроводжуватися погіршенням якості вод. Зрозуміло, що зворотні води з сільськогосподарських масивів можуть суттєво вплинути на якість ґрунтових та напірних вод водозбору, які є дуже важливими для населення, оскільки у нижній течії для питного водопостачання широко використовуються артезіанські води сарматського водоносного горизонту. Тому наступним етапом досліджень є встановлення якості підземних вод на водозборі р. Барабой в умовах донорського зрошування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Швебс Г. І., Ігошин М. І. Каталог річок і водойм України: навч.-довідков. посіб. Одеса: Астропринт, 2003. 390 с.
- Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана / под. ред. Г. И. Швебса. Киев: Вища школа, 1979. 144 с.
- Одеський регіон: передумови формування, структура та територіальна організація господарства: навч. посіб. / за ред. О. Г. Топчієва. Одеса: Астропринт, 2012. 336 с.
- Loboda, N., Bozhok, Yu. (2015). Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*, 02(9), 1-6.
- Лобода Н. С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния: моногр. Одесса: Экология, 2005. 208 с.
- Онуфриенко Л. Г., Волошин И. И. Определение годового стока рек Украины и Молдовы. *Труды УкрНИИ Госкомгидромета*. 1986. Вып. 217. С. 3-20.
- Справочник по водным ресурсам / под ред. Б. И. Стрельца. Киев: Урожай, 1987. 304 с.
- Шерешевский А. И., Вишневский П. Ф. Норма и изменчивость годового стока рек Украины. *Гидробиологический журнал*. 1997. Т. 3. С. 81-91.
- Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик / под. ред. А.В. Рождественского, А.Г. Лобанова. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
- Паспорт реки Барабой / Госкомводхоз Украины. Одесса, 1992. 180 с.
- Коригування правил експлуатації водосховища комплексного призначення. Водогосподарський паспорт і правила експлуатації Барабойського водосховища в Біляївському районі Одеської області / РНЦВП «Фобіус». Одеса, 2010. 76 с.
- Правила эксплуатации Санжейского водохранилища. (Корректировка 2011) / Государственный комитет Украины по водному хозяйству; Государственный проектно-изыскательский институт «Укрюжгипроводхоз». Одесса, 2011. 66 с.
- Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водний фонд України. Київ: Ніка-Центр, 2001. 392 с.
- Кулибабин А. Г. Экономический анализ современных проектов оптимизации водоподачи и водораспределения в орошении. Одесса: Консалтинг, 1997. 97 с.
- Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях): моногр. Киев: КНТ, 2005. 188 с.
- Лобода Н. С., Гопченко Е. Д. Стохастичні моделі у гідрологічних розрахунках: навч. посіб. Одеса: Екологія, 2006. 200 с.
- Лобода Н. С. Системный подход и функции отклика гидрологической системы на антропогенные воздействия при математическом моделировании бытового стока. *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*. 2004. Вип. 48. С. 416-424.
- Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: кол. моногр. / за ред. Ю. С. Тучковенка, Н. С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 276 с.
- Водний режим та гідроекологічні характеристики Куяльницького лиману: моногр. / за ред. Н. С. Лободи, Є. Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
- CPD.01.05-2012. Определение гидрологических характеристик для условий республики Молдова. / Министерство строительного и регионального развития республики Молдова. Кишинев, 2012. 180 с.
- ДБН В.2.4. Визначення розрахункових гідрологічних характеристик / Державне підприємство «Науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (ДП НДІБК). Київ, 2014. 137 с.

REFERENCES

1. Shvebs, H.I., Igoshyn, M.I. (2003). *Kataloh richok i vodoim Ukrainy* [Catalog of rivers and reservoirs of Ukraine]. Odessa : Astroprint Publ. (in Ukr.)
2. Shvebs, G.I. (Ed.). (1979). *Priroda Odesskoy oblasti. Resursy, ikh ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana* [The nature of the Odessa region. Resources, their rational use and protection]. Kiev : High School Publ. (in Russ.)
3. Topchiev, O.G. (2012). *Odeskyi rehion: peredumovy formuvannya, struktura ta terytorialna orhanizatsiia hospodarstva*. [Odessa region: preconditions for the formation, structure and territorial organization of the economy]. Odessa : Astroprint Publ. (in Ukr.)
4. Loboda, N., Bozhok, Yu. (2015). Impact of Climate Change on Water Resources of North-Western Black Sea Region. *International Journal of Research in Earth and Environmental Sciences*, 02(9), 1-6.
5. Loboda, N.S. (2005). *Raschety i obobshcheniya kharakteristik godovogo stoka rek Ukrainy v usloviyakh antropogenogo vliyaniya* [Calculations and generalizations of the characteristics of the annual runoff of the rivers of Ukraine under anthropogenic influence]. Odessa : Ecology Publ. (in Russ.)
6. Onufrienko, L.G., Voloshin, I.I. (1986). [Determination of the annual runoff of the rivers of Ukraine and Moldova]. *Trudy UkrNII Goskomgidrometa* [Proceedings of UkrSRI State Comitee of Hydrometeorological Survey], 217, 3-20. (in Russ.)
7. Strelets, B.Y. (1987). *Spravochnik po vodnym resursam* [Handbook on water resources]. Kiev : Harvest Publ. (in Russ.)
8. Shereshevskiy, A.I., Vishnevskiy, P.F. (1997). [Norm and variability of annual river runoff in Ukraine]. *Gidrobiologicheskii Zhurnal* [Hydrobiological Journal], 03, 81-91. (in Russ.)
9. Rozhdestvenskiy, A.V, Lobanov, A.G. (1984). (Eds). *Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Manual for the determination of calculated hydrological characteristics]. Leningrad : Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
10. State Committee of Ukraine for Water Management. (1992). *Pasport reki Baraboy* [The passport of the river Baraboy]. Odessa. (in Russ.)
11. Regional Scientific Center for Water Policy «Phoebus». (2010). *Koryhuvannya pravyl ekspluatatsii vodoshkovyshcha kompleksnoho pryznachennia. Vodohospodarskyi pasport i pravyla ekspluatatsii Baraboiskoho vodoshkovyshcha v Biliavskomu raioni Odesskoi oblasti* [Adjustment of the rules of operation of the reservoir of the complex destination. The water managements passport and the rules of exploitation of the Baraboy reservoir in the Bilyavsky district of the Odessa region]. Odessa. (in Ukr.)
12. State Committee of Ukraine for Water Management & State Design and Research Institute «Ukryuzhgirovodkhoz». (2011). *Pravila ekspluatatsii Sanzheiskogo vodokhranilishcha (korrektirovka 2011)* [Rules for operating the Sanzheisky Reservoir (Correction 2011)]. Odessa. (in Russ.)
13. Palamarchuk, M.M., Zakorchevna, N.B. (2001). *Vodnyi fond Ukrainy* [Water Fund of Ukraine]. Kyiv : Nika-Centr Publ. (in Russ.)
14. Kulibabin, A.G. (1997). *Ekonomicheskii analiz sovremennykh proektov optimizatsii vodopodachi i vodoraspredeleniya v oroshenii* [Economic analysis of modern projects to optimize water supply and water distribution in irrigation]. Odessa : "Konsalting" Publ. (in Russ.)
15. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. (2005). *Vodnye resursy severo-zapadnogo Prichernomor'ya (v estestvennykh i narushennykh khozyaystvennoy deyatelnosti usloviyakh)* [The water resources of the north-western Black Sea coast (in natural and economic conditions violated by economic activity)]. Kiev : KNT Publ. (in Russ.)
16. Loboda, N.S., Gopchenko, E.D. (2006). *Stokhastychni modeli u hidrolohichnykh rozrakhunkakh* [Stochastic models in hydrological calculations]. Odesa : Ecology Publ. (in Ukr.)
17. Loboda, N.S. (2004). [The system approach and the functions of the response of the hydrological system to anthropogenic influences in the mathematical modeling of domestic runoff]. *Meteorologhiya, klimatologhiya ta hidrologhiya* [Meteorology, climatology and hydrology], 48, 416-424. (in Russ.)
18. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S. (Eds). (2014). *Vodni resursy ta hidroekologichnyi stan Tyligul'skoho lymanu* [Water resources and hydroecological state of Tiligul'skiy Liman]. Odesa : TES Publ. (in Ukr.)
19. Loboda, N.S., Gopchenko, E.D. (Eds). (2016). *Vodnyi rezhym ta hidroekologichni kharakterystyky Kuyalnytskoho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitskiy Liman]. Odesa: TES Publ. (in Ukr.)
20. Ministerul Dezvoltării Regionale și Construcțiilor Regional Republicii Moldova. (2012). *CPD.01.05-2012 : Opredelenie gidrologicheskikh kharakteristik dlya usloviy respubliki Moldova* [Determination of hydrological characteristics for the conditions of the Republic of Moldova]. Chișinău, Moldova. (in Russ.)
21. State Research Institute of Building Constructions (2014). *DBN V.2.4 : Vyznachennia rozrakhunkovykh hidrolohichnykh kharakterystyk* [DBN V.2.4 : Determination of calculated hydrological characteristics]. Kyiv. (in Ukr.)

EVALUATION OF INFLUENCE OF IRRIGATION USING THE RESOURCES OF DONOR RIVER (THE DNIESTER) ON CHARACTERISTICS OF THE ANNUAL WATER RUNOFF OF THE BARABOY RIVER

N.S. Loboda, Dr Geogr. Sci.

Ya.S. Yarov

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, slavikyarov82@gmail.com

The article assesses the characteristics of the annual runoff of the Baraboy River (the Odessa Region), which remains unexplored from the hydrological point of view, under natural conditions and those affected water-related activities, on the basis of the «climate-runoff» model.

The main factors of anthropogenic impact on the hydrological regime of the Baraboy River include a large number of artificial reservoirs and intensive irrigation of agricultural areas using the water resources of the Dniester River. The paper presents estimations of changes of the natural

runoff of the Baraboy River in the presence of artificial reservoirs and irrigation using the resources of the donor river (the Dniester). It is shown that, under natural conditions of runoff formation, the river would have to dry out during dry and extremely dry years. Additional evaporation from the surface of artificial reservoirs contributes to a decrease of the annual runoff. Following the use of the «climate-runoff» model it was established that waste waters entering the riverbed from agricultural lands irrigated using the water resources of the donor river (the Dniester) can substantially increase the actual runoff of the Baraboy River at its mouth (by 10-30% for a several years' period, depending on the scale of water management alterations). It is substantiated that the flow of return water, if different real areas of irrigation are taken into account, exceeds the loss of the runoff resulting from additional evaporation from the surface of artificial reservoirs. Donor irrigation provides stable parameters of river runoff during dry and extremely dry years. The disadvantage of donor irrigation is that it causes the effect of land flooding. The «climate-runoff» model allows optimization of the water management alterations ensuring the most efficient use of agricultural land, depending on the extent of its irrigation, its location within the basin, selection of main crops that need irrigation. Therefore, the next stage of research is evaluation of the quality of groundwater within the basin of the Baraboy river under conditions of donor irrigation.

Keywords: «climate-runoff» model, characteristics of natural and household annual runoff, artificial reservoirs, donor irrigation, return waters.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОРОШЕНИЯ ЗА СЧЕТ РЕКИ – ДОНОРА (ДНЕСТРА) НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОДОВОГО СТОКА РЕКИ БАРАБОЙ

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук
Я. С. Яров

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, slavikyarov82@gmail.com*

В статье выполнена оценка характеристик годового стока неизученной с гидрологической точки зрения реки Барабой (Одесская область) в естественных и нарушенных водохозяйственной деятельностью условиях на базе модели «климат-сток».

Основными факторами антропогенного воздействия на гидрологический режим реки Барабой является большое количество искусственных водоемов и интенсивное орошение сельскохозяйственных массивов водами реки Днестр. Предоставлены оценки изменений естественного стока реки Барабой в условиях наличия искусственных водоемов и орошения за счет реки-донора (Днестра). Показано, что при естественных условиях формирования стока река должна была бы пересыхать в маловодные и очень маловодные годы. Дополнительное испарение с поверхности искусственных водоемов способствует уменьшению величин годового стока. В результате использования модели «климат-сток» установлено, что сбросные воды, поступающие в русло реки с сельскохозяйственных земель, орошаемых за счет вод реки-донора (Днестра), способны существенно увеличить фактический сток реки Барабой в устьевой области (на 10-30% за многолетний период, в зависимости от масштабов водохозяйственных преобразований). Обосновано, что поступление возвратных вод при различных реальных площадях орошения превышает потери стока на дополнительное испарение с поверхности искусственных водоемов. Донорское орошение обеспечивает стабильные величины речного стока в маловодные и очень маловодные годы. Недостатком донорского орошения является возникновение эффекта подтопления земель. Модель «климат-сток» позволяет выполнить оптимизацию водохозяйственных преобразований, обеспечивая наиболее эффективное использование сельскохозяйственных земель в зависимости от масштабов орошения, их расположения в пределах бассейна, выбора основных сельскохозяйственных культур, которые требуют орошения.

Ключевые слова: модель «климат-сток»; характеристики природного и бытового годового стока; искусственные водоемы; донорское орошение; возвратные воды.

*Подання до редакції : 17. 02. 2018
Надходження остаточної версії : 15. 05. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018*

УДК 556.16

ОПИС ШТУЧНИХ ВОДОЙМ НА ВОДОЗБОРІ РІЧКИ ВЕЛИКИЙ КУЯЛЬНИК ТА РЕГЛАМЕНТУВАННЯ ЇХ РОБОТИ У СУЧАСНОСТІ ТА МАЙБУТНЬОМУ

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук
Н. Д. Отченаш, канд. геогр. наук
О. М. Гриб, канд. геогр. наук

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, natasha30@ua.fm*

У роботі представлені результати обстежень штучних водойм, розташованих на водозборі річки Великий Куяльник, які через значні об'єми заповнення суттєво зменшують водність річки та сприяють, тим самим, обмілненню Куяльницького лиману й погіршенню його гідроекологічного стану. Складання переліку штучних водойм на водозборі р. Великий Куяльник виконано на базі даних Одеського обласного управління водних ресурсів та даних супутникових знімків, наведених в Google Earth та Google Maps. Розміри площ водної поверхні та об'ємів невивчених водойм визначені на основі узагальнення існуючих даних для інших водойм, спираючись на постулати інваріантності у морфології водойм посушливої зони. Внаслідок недостатності даних спостережень та значної їх трансформованості водогосподарською діяльністю характеристики річного стоку головної річки та її приток розраховувалися за метеорологічними даними минулих років (до 1989р.) та для сценарію А1В, чисельна модель REMO для періоду 2021-2050 рр. Показано, що коефіцієнт акумуляції води річки у штучних водоймах буде збільшуватися з 0,76 у минулому сторіччі до 1,23 в умовах кліматичного сценарію А1В. Це свідчить про формування тенденції відсутності вільного (нерегульованого) стоку річки. На базі оцінок природних водних ресурсів річки, виконаних за моделлю «клімат-стік» для різних кліматичних умов та за результатами математичного моделювання гідрологічного стану лиману, розраховані допустимі (лімітуючі) об'єми заповнення штучних водойм на водозборі р. Великий Куяльник, які визначалися як 10% та 25% від природного (непорушеного водогосподарською діяльністю) стоку річки.

Ключові слова: штучні водойми, природний стік, зміни клімату, коефіцієнт акумуляції, допустимі (лімітуючі) об'єми зарегулювання стоку

1. ВСТУП

Річка Великий Куяльник відноситься до річок Північно-Західного Причорномор'я і займає ключове місце в поповненні Куяльницького лиману прісною водою [1]. На сьогодні можна констатувати той факт, що головна «водна артерія» Куяльницького лиману - річка Великий Куяльник, не здатна поповнити його необхідним об'ємом прісної води для забезпечення задовільного існування водойми. Куяльницький лиман є унікальним бальнеологічним об'єктом, відомим навіть за межами України своїми лікувальними властивостями. Однак зниження рівня води в лимані і, як наслідок, зростання його мінералізації до критичного рівня, негативно впливає на процес подальшого формування лікувальної грязі, ропи. Так, при мінералізації рівній 200 г/дм³ припиняється розвиток бальнеологічної біоти лиману, насамперед, рачка «артемії саліни». Цьому явищу є пояснення.

По-перше, обміління лиману відбувається через дію численних ставків, які затримують по-

верхневий стік і відіграють роль штучних випаровувачів. Сезонного регулювання стоку практично немає: шлюзи у останні роки не працюють, а побудовані несанкціонованим шляхом глухі дамби передбачають скидання стоку через отвори у вигляді бетонних труб, розташованих так високо, щоб скид води до нижнього б'єфу відбувався лише при водопіллях та паводках рідкої повторюваності. У роки середньої та низької водності накопичений об'єм води залишається в ставках і витрачається на випаровування.

По-друге, негативний вплив чинять зміни регіонального клімату [2], які посилюють наслідки дії водогосподарської діяльності.

Метою роботи є складання переліку штучних водойм в басейні р. Великий Куяльник та регламентування режиму їх експлуатації для збільшення об'ємів надходження прісних річкових вод до Куяльницького лиману.

Для виконання поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання: зробити повний опис штучних водойм на досліджуваній терито-

рії; розрахувати оптимальне наповнення штучних водойм у сучасних кліматичних умовах та майбутньому в результаті змін клімату на базі даних сценаріїв.

Робота виконувалась в рамках НДР за темою «Науково-дослідні роботи з гідрологічного, гідрохімічного, гідробіологічного та медико-біологічного обстеження стану Куяльницького лиману та морської води з Одеської затоки: частина (лот) 1 – гідрологічне обстеження» на замовлення Департаменту екології та природних ресурсів Одеської облдержадміністрації № 28/10-16 від 18.10.2016 р.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Повне обстеження ставків та водосховищ у басейні річки було виконано в 1961–1962 рр. експедицією Одеського гідрометеорологічного інституту під керівництвом О. І. Молдованова. Кількість штучних водойм на той час складала 145 шт., з яких близько 40 % було із зруйнованими дамбами або знаходилося у пересохлому стані. Практично для всіх ставків та водосховищ були визначені основні морфологічні характеристики та розміри замулення. За результатами досліджень 1961–1962 рр., сумарний об'єм ставків і водосховищ складав 13,9 млн. м³. Детальні дослідження штучних водойм в басейні р. В. Куяльник тривалий час не виконувалися, а ті, що здійснювалися, мали або рекогносцирувальний характер, або охоплювали лише окремі частини басейну, як, наприклад, дослідження проведені Одеським державним університетом ім. І.І. Мечнікова у 1977–1980 рр. (на р. Кошкова/Кошківка) та Українським науководослідним гідрометеорологічним інститутом – в 1982–1987 рр. І лише в 2010-2011 роках науковцями Одеського державного екологічного університету було обстежено стан гідрографічної мережі річки В. Куяльник. Під час цих робіт проведено аналіз картографічних матеріалів, складено перші схеми розташування штучних водойм. Експедиційні дослідження встановили існування близько 135 штучних водойм, їх загальний об'єм сягав 15,6 млн. м³, а площа водної поверхні – 6,26 км² (у випадках максимального наповнення цих водойм) [3].

За офіційними даними Інституту «УкрПівденДІПроводГосп», станом на 1992 р. [4], кількість діючих ставків та водосховищ склала 36 шт., з сумарним об'ємом – 6,42 млн. м³.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Річка Великий Куяльник бере початок на пів-

денно-східних схилах Подільської височини, в південно-східній частині міста Подільська, тече переважно на південний схід, у пониззі – на південь, впадає в Куяльницький лиман нижче села Северинівка [4].

Довжина річки становить 150 км, площа басейну 1860 км². Долина завширшки 3,5 км, у середній та нижній течії глибока, з крутими схилами, порізаними ярами та балками. Заплава завширшки до 1 км. Річище звивисте, завширшки до 5 м, іноді пересихає, в холодні зими перемерзає. Ухил річки становить 0,69 м/км. Живлення річки є переважно сніговим. Відомі джерела виходу підземних вод, нажалі, замулені. У р. Великий Куяльник впадають річки Суха Журівка, Силівка, Кошківка (Кошкова), а також близько 40 менших річок сумарною протяжністю 280 км [5].

Досліджувана річка характеризується невідповідно високими характеристиками об'ємів заповнення ставків. Більшість із них залишається пересохлими протягом декількох сезонів та навіть років. У роки із сніжними зимами, наявності промерзання ґрунту та опадами навесні, як правило, формується добре виражене весняне водопілля. У верхів'ях річки та приток ставки наповнюються водою, але через відсутність діючих затворів у дамбах поверхневий стік затримується у водоймах, вода витрачається на інфільтрацію у ґрунти та на випаровування з водної поверхні і поверхні суші.

Для оцінки ролі штучних водойм у формуванні припливу прісних вод до лиману були використані матеріали Одеського обласного управління водних ресурсів до 2012 року включно та дані супутникових знімків, наведені в GoogleMaps (<https://www.google.com.ua/maps/>) і GoogleEarth. Для наочності всі штучні водойми були нанесені на карту басейну, для побудови якої використаний ресурс SRTM Data Selection Options та програма Surfer.

4. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Відправною точкою для створення переліку штучних водойм стали дані Одеського обласного управління водних ресурсів (Облводресурси) станом на 2012 рік. Згідно з ними, в басейні річки Великий Куяльник знаходилися 59 штучних водойм.

За розподілом по гідрографічній мережі (рис. 1) встановлено, що на головній річці (Великий Куяльник) розміщено 7 ставків, на р. Кошківка (Кошкова) – 20 (з них 19 – на р. Кошківка, 1 – в балці Райкова), в балці Силівка

(Яр Дубовий) – 3 штучних об’єкти (права притока б. Таргар – 2 ставки), на р. Суха Журівка – 5 ставків, один з яких розташований на її лівій притоці; в балках Плоска та Розалівська – 7 та 4 ставків відповідно. Ще 13 ставків знаходяться на балках без назв.

Найбільша щільність штучних водойм виявлена у верхів’ї водозбору р. Великий Куяльник, на ділянці головної річки між впадінням водотоків б. Силівка та р. Суха Журівка. Значне навантаження на стік річки у виді ставків спостерігається і на водозборі р. Кошківка (Кошкова).

Лише для шести штучних водойм із загальною площею 167,36 га та об’ємом 5,29 млн. м³ були складені паспорти: Новоолександрівський ставок, Северинівське водосховище, Силівське водосховище, Григорівські ставки №1 та №2, Ширяївський ставок №1.

Для уточнення інформації про штучні водойми, яка була надана Одеським обласним управлінням водних ресурсів станом на 2012 рік, виконано аналіз векторних карт місцевості та рельєфу поверхні з масштабом 1:20000 і горизонталями через 20 м, а також сучасних супутникових знімків досліджуваної території [6] (рис. 2).

Результатом проведеної роботи стало виявлення додаткових 62 штучних водних об’єктів.

Так, на головній річці (Великий Куяльник) розміщено 13 ставків, на р. Кошківка (Кошкова) з притоками – 6, в б. Силівка (Яр Дубовий) – 9, на р. Суха Журівка – 9 ставків; в балці Розалівська – 4 ставки. На балках без назв розташовано ще 21 (рис. 3)

Водойми, які виявлені за супутниковими знімками, розміщуються переважно у верхній частині басейну річки Великий Куяльник та на ділянці між впадінням у річку б. Силівка (Яр Дубовий) та р. Суха Журівка.

Для встановлення площ водної поверхні та об’ємів тих водойм, які були виявлені за супутниковими знімками, використовувались дані Облводресурсів. Розміри площ водної поверхні та об’ємів таких додатково виявлених водойм визначалися на основі узагальнення даних по вже дослідженим водоймам, спираючись на постулати інваріантності у морфології водойм посушливої зони [7]. Розглядаючи ставки та водосховища Причорноморської низовини як генетично однорідну групу водойм, А. І. Молдованов довів можливість визначення морфометричних характеристик не для однієї, а для групи водойм, розташованих у межах водозбору. Пізніше постулати інваріантності були використані

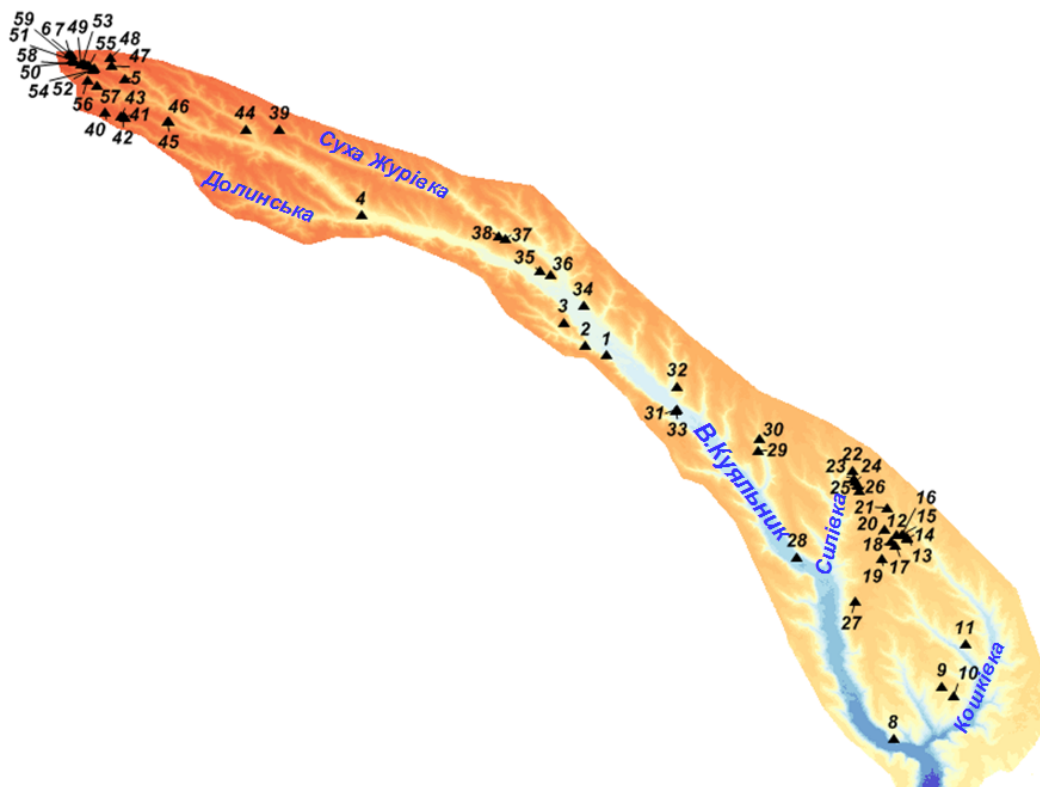


Рис. 1 – Карта розташування штучних водних об’єктів в басейні р. Великий Куяльник за даними Одеського обласного управління водних ресурсів (станом на 2012 рік) [1]



Рис. 2 – Фрагмент супутникового знімку р. Великий Куяльник (показані штучні водойми у руслі водотоків)

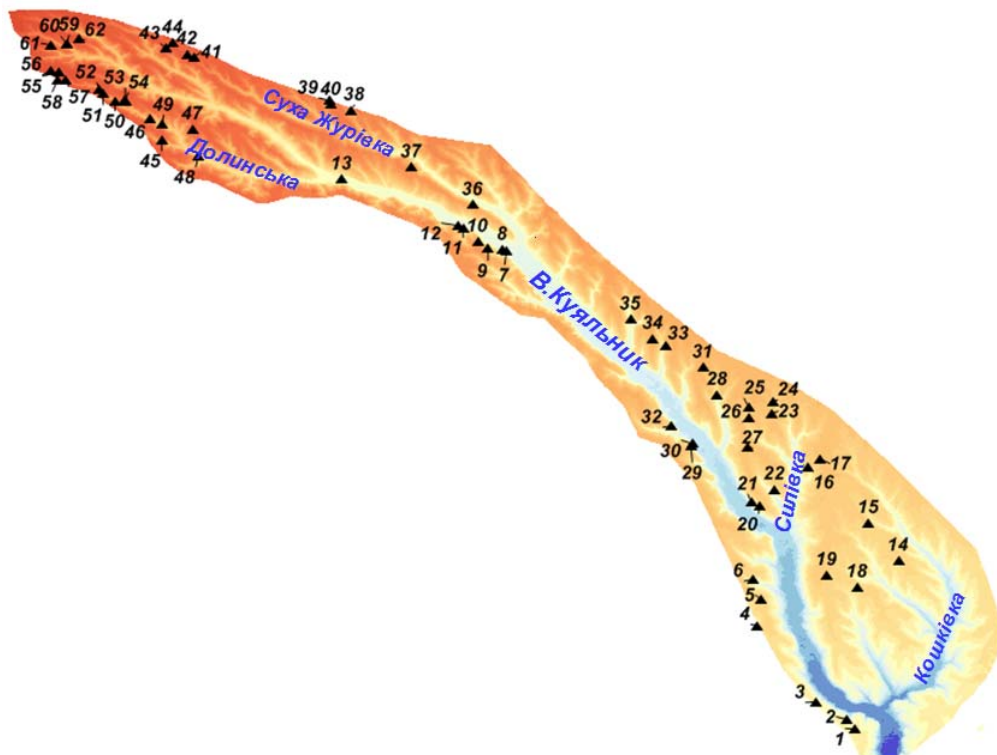


Рис. 3 – Карта розташування штучних водних об'єктів в басейні р. Великий Куяльник, які не увійшли до списку Одеського обласного управління водних ресурсів (станом на 2016 рік)

Н. С. Лободою та Є. Д. Гопченком для визначення характеристик штучних водойм півдня України та Молдови [8].

З метою установлення розмірів додатково виявлених штучних водних об'єктів на водозборі р. Великий Куяльник було виділено чотири зони: р. Кошківка, б. Силівка, верхня частина басейну р. Великий Куяльник та р. В. Куяльник (на ділянці між впадінням б. Силівка та р. Суха Журівка) (рис. 4). Для кожної зони за даними Облводресурсів визначалися осереднені значення об'ємів та площ водної поверхні :

$$W_{сер i} = W_{сум} / k, \quad (1)$$

$$F_{сер i} = F_{сум} / k, \quad (2)$$

де $W_{сум}, F_{сум}$ – суми об'ємів та площ на окремих ділянках за даними Облводресурсів (станом на 2012 р);

k – кількість штучних водойм на досліджуваній ділянці.

Установлені осереднені значення використані для розрахунків сумарних об'ємів та площ водного дзеркала додатково виявлених водойм за супутниковими знімками. Якщо відомі $W_{сер, i}, F_{сер i}$, а також кількість додатково виявлених штучних водних об'єктів, то для кожної виділеної зони можна встановити сумарні площі їх водного дзеркала $F_{неврахов}$ та об'єми $W_{неврахов}$ (табл. 1, 2).

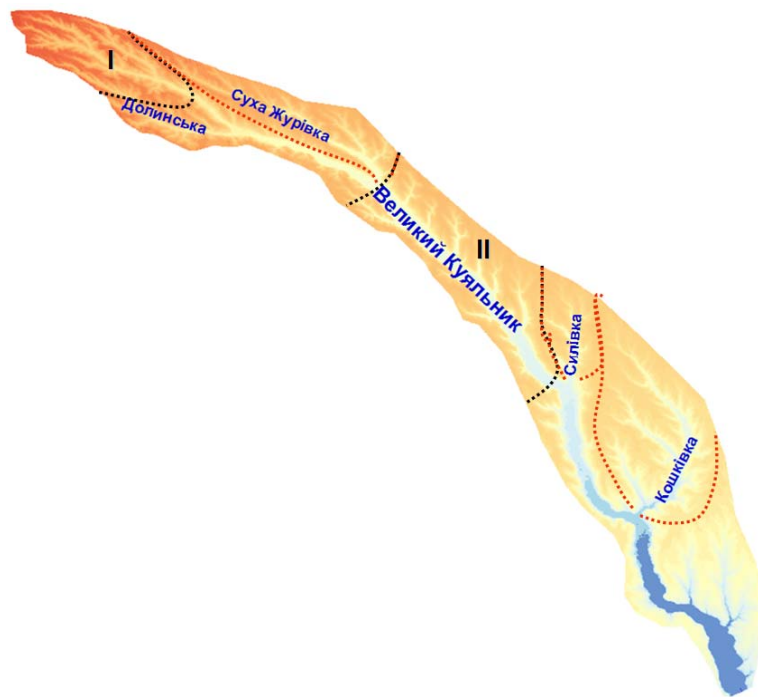


Рис. 4 – Виділені зони із різною щільністю штучних водних об'єктів на водозборі Куяльницького лиману. **I** – верхня частина басейну Куяльницького лиману; **II** – р. Великий Куяльник (р. Силівка – р. Суха Журівка) - - - - - водозбори річок Суха Журівка, Кошківка, балки Силівка.

Таблиця 1 - Встановлення об'ємів додатково виявлених штучних водойм за супутниковими знімками

Зони з різною щільністю штучних водних об'єктів	Суми об'ємів штучних водних об'єктів за даними Облводресурсів, $W_{сум}$, млн. м ³	Осереднені значення об'ємів (за даними Облводресурсів) $W_{сер i}$, млн. м ³	Суми об'ємів неврахованих штучних водних об'єктів $W_{неврахов}$, млн. м ³	Загальний об'єм штучних водних об'єктів $W_{сум} + W_{неврахов}$, млн. м ³
верхів'я р. Великий Куяльник	0,615	0,036	0,651	1,266
р. Кошківка	3,704	0,337	1,350	5,054
р. Суха Журівка	0,697	0,174	1,568	2,265
р. В. Куяльник (ділянка б. Силівка – р. Суха Журівка)	1,015	0,254	3,302	4,317

Таблиця 2 – Встановлення площ додатково виявлених штучних водойм за супутниковими знімками

Зони з різною щільністю штучних водних об'єктів	Суми площ штучних водних об'єктів за даними Облводресурсів, $F_{сум}$, км ²	Осереднені значення площ (за даними Облводресурсів) $F_{сер}$, км ²	Суми площ неврахованих штучних водних об'єктів $F_{неврахов.}$, км ²	Загальна площа штучних водних об'єктів $F_{сум} + F_{неврахов.}$, км ²
верхів'я р. Великий Куяльник	0,588	0,026	0,460	1,048
р. Кошківка	0,816	0,043	0,172	0,988
р. Суха Журівка	0,770	0,154	1,386	2,156
р. В.Куяльник (ділянка б.Силівка–р.Суха Журівка)	0,270	0,045	0,585	0,855

Таблиця 3 – Рекомендований об'єм наповнення штучних водойм у кліматичних умовах минулого сторіччя (до початку впливу змін клімату) [1]

Річка	$\bar{W}_{пр}$, млн.м ³	Повний об'єм штучних водойм за даними спостережень, млн. м ³	Коефіцієнт акумуляції	Об'єм штучних водойм при їх 40%-му заповненні, млн. м ³	Рекомендований об'єм штучних водойм, млн. м ³	
					при 90 % відновленні стоку	при 75 % відновленні стоку
р.В.Куяльник	20,4	15,6	0.76	6,24	2,04	5,1
р. Кошківка	3,50	5,05*	1.44	2,022	0,35	0,875
б. Силівка	1,53	3,07*	2.00	1,226	0,153	0,383
р.Суха Журівка	3,29	2,27	0.69	0,906	0,329	0,823
Верхів'я р. В.Куяльник	7,85	1,27	0.16	0,506	0,785	1,963
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	3,41	4,32*	1.27	1,727	0,341	0,853
*Виділені об'єми заповнення штучних водойм, які перевищують середній багаторічний стік річки						

Для поліпшення гідрологічного та гідроекологічного стану Куяльницького лиману було розглянуте питання оптимізації водогосподарської діяльності на водозборі р. Великий Куяльник шляхом установаження допустимих об'ємів заповнення штучних водойм і проведення заходів щодо розчистки русла від них. Відомо, що статистично значущі зміни водних ресурсів відбуваються, коли їх зміни перевищують 10 %.

Таким чином можна прийняти, що допустимий (лімітуючий) об'єм штучних водойм має становити 10 % від об'ємів природного стоку річки у заданих кліматичних умовах. Для цього необхідно провести заходи по 90% відновленню стоку води у руслі. Результати імітаційного чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману, виконані Ю. С. Тучковенком та Д. В. Кушніром з використанням даних про природний та побутовий стік р. Великий Куяльник, визначений за моделлю «клімат-стік» [5, 9], показали, що для отримання ефекту від оптимізації регулювання стоку водоймами достатньо відновити лише 75% річного стоку, тобто допус-

тимий об'єм штучних водойм можна прийняти рівним 25 % від об'єму природного стоку [10, 11]. Окрім повного об'єму штучних водойм додатково розглядався варіант 40% заповнення штучних водойм. Такий об'єм відповідає середньому багаторічному значенню наповнення [1]. При 90% відновленні стоку існуючі повні об'єми штучних водойм значно перевищують рекомендовані: для р. Кошківка – в 14 разів; для б. Силівка – в 20 разів; для р. Суха Журівка – в 6,7 разів; для р. В.Куяльник (на ділянці між впадінням б. Силівка – р. Суха Журівка) – в 12 разів (табл.3). При 75% відновленні природного стоку достатній об'єм води для заповнення існуючих штучних водойм буде спостерігатися лише у верхів'ї річки із природним стоком рівним 7,85 млн.м³, де рекомендований об'єм водосховищ становитиме 1,963 млн.м³, а фактичні повний і середньобагаторічний об'єми заповнення дорівнюють 1,27 та 0,506 млн.м³, відповідно.

Дослідження впливу змін клімату на стік річки Великий Куяльник у ХХІ сторіччі показали, що за всіма сценаріями прослідковується чітка тенденція до зменшення припливу прісних вод,

що буде посилювати негативний вплив штучних водойм на водний режим р. Великий Куяльник [12].

Згідно із даними сценарію А1В (чисельна модель REMO для періоду 2021-2050 рр.) як такого, що найбільш точно описує зміну метеорологічних характеристик у майбутньому [13, 14], за моделлю “клімат-стік” були визначені можливі об’єми припливу прісних вод від р. В.Куяльник до лиману. Установлено, що на 2021-2050 рр. стік річки та її приток суттєво зменшаться, отже стануть меншими і допустимі (лімітуючі) об’єми їх заповнення. Ця обставина буде потребувати ще більшого скорочення числа існуючих водойм (табл.4).

Одним з параметрів ефективності техноекосистем є коефіцієнт акумуляції [7], який відображає ступінь впливу штучних водойм на стан екосистеми річки. Він розраховується як відношення об’єму штучних водойм до об’єму води, який протікає через створ річки. До 1989р., коли вплив змін клімату не був суттєвим, коефіцієнт акумуляції змінювався від 0,16 (для верхів’їв річки Великий Куяльник) до 2,00 на балці Силівка. Згідно із прогнозом на 2021-2050 рр. коефіцієнт акумуляції буде варіювати від 0,26 до 5,52. Якщо у минулому після зарегулювання залишався “вільний” стік (коефіцієнт акумуляції для усієї річки дорівнював 0,76), то до 2050 року його вже не буде, при цьому коефіцієнт акумуляції становитиме 1,23.

У водному кодексі України з метою збереження гідрологічного, гідробіологічного і санітарного стану річок заборонено будівництво у їхніх басейнах водосховищ і ставків із повним об’ємом, який перевищує об’єм стоку річки у

розрахунковий маловодний рік, який спостерігається один раз у двадцять років, що відповідає забезпеченості 95%. Для річки Великий Куяльник такий стік дорівнює нулю. Отже, будівництво ставків на річці Великий Куяльник не повинно було відбуватись.

5. ВИСНОВКИ

В результаті складання переліку штучних водойм на водозборі р. Великий Куяльник виконано на базі даних Одеського обласного управління водних ресурсів та даних супутникових знімків, наведених в Google Earth та Google Maps установлено, що загальна кількість штучних водойм станом на 2016 р. становить 121 із повним об’ємом наповнення 15,98 млн. м³. Дослідження об’ємів природного стоку по притоках та різних ділянках річки Великий Куяльник показали, що у минулому сторіччі на притоках Кошкова та Силівка середній багаторічний річний стік був менший за об’єми заповнення штучних водойм. За прогнозами на 2021-2050 рр., згідно із кліматичним сценарієм А1В чисельної моделі REMO, виявлено, що внаслідок потепління клімату стоку річки Великий Куяльник та її приток не буде вистачати для заповнення побудованих штучних водойм. Виключення становить лише верхня течія р.Великий Куяльник. Для оптимізації роботи штучних водойм у рамках пропозицій до шляхів відновлення стоку річки Великий Куяльник запропоновано провести “розчистку” русла головної річки та її приток.

Таблиця 4 – Рекомендовані об’єми штучних водойм в кліматичних умовах XXI сторіччя за сценарієм А1В для періоду 2021-2050 рр.

Річка	$\bar{W}_{пр}$ (2021-2050 рр.), млн.м ³	Повний об’єм штучних водойм, млн.м ³	Коефіцієнт акумуляції	Рекомендований об’єм штучних водойм на 2021-2050 рр., млн. м ³	
				при 90 % відновленні стоку	при 75 % відновленні стоку
р.В.Куяльник	12,7	15,6*	1.23	1,270	3,175
р. Кошкова	1,82	5,05*	2.77	0,182	0,455
р. Силівка	0,87	3,07*	5.52	0,087	0,218
р.Суха Журівка	2,13	2,27*	1.06	0,213	0,533
Верхів’я р. В.Куяльник	4,90	1,27	0.26	0,490	1,225
р. В.Куяльник (Силівка–Суха Журівка)	2,13	4,32*	2.03	0,213	

**Виділені об’єми заповнення штучних водойм, які перевищують середній багаторічний стік річки*

Рекомендовані допустимі (лімітуючі) об'єми, які можуть виділятися на заповнення штучних водойм в залежності від середньої водності річки, щоб залишався вільний стік. Вони призначалися як 10% та 25% від природного стоку річки, визначеного за моделлю “клімат-стік”.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Водний режим та гідроекологічні характеристики басейну Куяльницького лиману: монографія / за ред. Н. С. Лободи, Є. Д. Гопченка. Одеса: ТЕС, 2016. 332 с.
2. Кліматичні зміни та їх вплив на сфери економіки України / за ред. С. М. Степаненка, А. М. Польового. Одеса: Вид. “ТЕС”, 2015. 520 с.
3. Стан гідрографічної мережі річки Великий Куяльник в умовах водогосподарських перетворень на її водозбірному басейні: звіт про НДР. ДР 0110U008222 / наук. керів. Є. Д. Гопченко; Одес. держ. еколог. ун-т. Одеса, 2011. 165 с.
4. Паспорт реки Большой Куяльник / Гос. комит. водн. хоз. Украины. Одесса, 1992. 130 с.
5. Науково-дослідні роботи з обстеження русла річки Великий Куяльник. Звіт про НДР (заключний). ДР 0116U007904 / наук. керів. Н. С. Лобода; Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2016. 307 с.
6. Супутникові знімки та карти поверхні Землі. URL: <https://www.google.com.ua/maps> (дата звернення 10.04.2018).
7. Молдованов А. И. Постулаты инвариантности в морфологии водоемов и их практическое применение. *Метеорология, климатология и гидрология*. 1965. Вып. I. С. 164-190.
8. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Влияние прудов и водохранилищ на характеристики годового стока рек зоны недостаточного увлажнения. *Метеорология климатология и гидрология*. 1984. Вып. 4. С. 83-88.
9. Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін. Звіт про НДР (заключний). ДР 0115U000631 / наук. керів. Н. С. Лобода; Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2016. 352 с.
10. Тучковенко Ю. С., Лобода Н. С., Кушнір Д. В. Результати чисельного моделювання внутрішньорічної мінливості гідрологічних характеристик Куяльницького лиману за різних обсягів стоку річки Великий Куяльник. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2017. №20. С. 105-119.
11. Тучковенко Ю. С., Лобода Н. С., Гриб О. М. Комплексне управління водними ресурсами басейну Куяльницького лиману та його гідроекологічним станом в умовах господарської діяльності і кліматичних змін. *Соціум і науки про Землю: тези доповідей Міжнародної наук.-практ. конф.*, 21-23 вересня. Запоріжжя, 2017. С. 124-125.
12. Лобода Н. С., Божок Ю. В. Вплив змін клімату на водні ресурси водозбору Куяльницького лиману у сценарних кліматичних умовах. *Український гідрометеорологічний*

журнал. 2015. №16. С. 189-195.

13. Отченаш Н. Д. Обґрунтування вибору регіональної кліматичної моделі для аналізу кліматичних змін та водних ресурсів в межах водозбору Куяльницького лиману. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2015. Вип. 19. С. 120-125.
14. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилігульського лиману: монографія / за ред. Ю. С. Тучковенка, Н. С. Лободи. Одеса: ТЕС, 2014. 276 с.

REFERENCES

1. Loboda, N.S., Gopchenko, E.D. (Eds). (2016). *Vodnyy rezhym ta hidroekolohichni kharakterystyky Kuyal'nyts'koho lymanu* [Water regime and hydroecological characteristics of Kuyalnitskyi Liman]. OSENU. Odessa: TES. (in Ukr.)
2. Stepanenko, S.M., Pol'ovyy, A.M. (Eds). (2015). *Klimatychni zminy ta yikh vplyv na sfery ekonomiky Ukrainy* [Climate changes and its impact on sectors of the economy of Ukraine]. Odessa. (in Ukr.)
3. Gopchenko, E.D. (Scient. chief). (2011). *Stan hidrohrafichnoi merezhi richky Velykyi Kuialnyk v umovakh vodohospodarskykh peretvoren na ii vodozbirnomu baseini: Zvit pro NDR (zakliuchnyi)*. DR 0110U008222 [State of the hydrographic network of the Great Kuyalnik River in the conditions of water management changes on its catchment basin: Research report (final). SR 00110U008222]. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr.)
4. State Committee for Water Management of Ukraine. (1992). *Pasport reki Bolshoy Kuyalnik* [Passport of the Great Kuyalnik River]. Odessa. (in Russ.)
5. Loboda, N.S. (Scient. chief). (2016). *Naukovo-doslidni roboty z obstezhennia rusla richky Velykyi Kuialnyk: Zvit pro NDR (zakliuchnyi)*. DR 0115U000631 [Scientific works on the survey of the Big Kuyalnik waterbed: Research report (final). SR 0115U000631]. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr.)
6. *Sputnykovyi znimky ta karty poverkhni vody* [Satellite images and maps of the Earth's surface]. Available at: <https://www.google.com.ua/maps> (accessed: 10.04.2018). (in Ukr.)
7. Moldovanov, A.I. (1965). [The postulates of invariance in the morphology of reservoirs and their practical application]. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya* [Meteorology, climatology and hydrology], I, 164-190. (in Russ.)
8. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. (1965). [Influence of ponds and reservoirs on characteristics of annual flow of rivers in the zone of insufficient humidification]. *Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya* [Meteorology, climatology and hydrology], 4, 83-88. (in Russ.)
9. Loboda, N.S. (Scient. chief). (2016). *Kompleksne upravlinnia vodnyimi resursamy baseinu Kuialnytskoho lymanu ta yoho hidroekolohichnym stanom v umovakh hospodarskoi diialnosti i klimatychnykh zmin: Zvit pro NDR (zakliuchnyi)*. DR 0115U000631 [Integrated management of water resources and hydroecological state of Kuyalnitsky liman under water economic activity and climate change: Research report (final). SR 0115U000631]. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr.)

10. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S., Kushnir, D.V. (2017). [Results of numerical modeling of intra-year variability of the hydrological characteristics of the Kuyalnitsky liman for different volumes of the river flow of the Big Kuyalnik]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal* [Ukrainian hydro-meteorological journal], 20, 105-119. (in Ukr.)
11. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S., Hryb, O.M. (2017). [Integrated water resources management of the Kuyalnitsky Liman basin and its hydroecological state in terms of economic activity and climate change]. *Abstracts of the International Scientific and Practical Conference*, 21-23 september. Zaporizhzhia, pp. 124-125. (in Ukr.)
12. Loboda, N.S., Bozhok, Yu.V. (2015). [Impact of climate change on water resources of the catchment of the Kuyalnitsky Liman in scenic climatic conditions]. *Ukrains'kij gidrometeorologičnij žurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 16, 189-195. (in Ukr.)
13. Otchenash, N.D. (2015). [Justification of the choice of a regional climatic model for analyzing climate change and water resources within the catchment area of the Kuyalnitsky Liman]. *Visnik Odes'kogo deržavnogo ekologičnogo universitetu* [Bulletin of Odessa state environmental university], 19, 120-125. (in Ukr.)
14. Tuchkovenko, Yu. S., Loboda, N. S. (Eds). (2014). *Vodni resursy ta hidroekologičnyi stan Tylighul'skoho lymanu* [Water resources and hydroecological condition of Tylighul'sky Liman]. Odessa. (in Ukr.)

DESCRIPTION OF ARTIFICIAL RESERVOIRS WITHIN THE CATCHMENT AREA OF THE GREAT KUYALNIK RIVER AND REGULATION OF THEIR OPERATION AT THE PRESENT TIME AND IN FUTURE

N. S. Loboda, Doctor of Geographical Sciences

N. D. Otchenash, PhD in Geography

O. M. Hryb, PhD in Geography

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, natasha30@ua.fm*

The paper presents the results of surveys of artificial reservoirs of the Great Kuyalnik River and its tributaries which, due to their considerable number and filling volumes, significantly reduce the runoff of the river and thus cause shallowing of the Kuyalnik Liman and deterioration of its hydroecological state. Preparation of a list of artificial reservoirs within the catchment area of the Great Kuyalnik River took place using the data of the Odessa Regional Water Resources Administration and satellite images taken from Google Earth and Google Maps applications. Water surface areas and volume of unexplored water bodies were determined via generalization of existing data for other reservoirs using the invariance postulates considering the morphology of the arid zone. It was established that, as of 2016, the total number of artificial reservoirs is 121 with a total filling volume constituting 15.98 million m³. Using the climate-runoff model the characteristics of the natural runoff (not disturbed by economic activity) were estimated for periods before warming and for 2021-2050 (scenario A1B). To assess a degree of influence of artificial reservoirs on the state of the ecosystem the accumulation coefficient is calculated. It is shown that the coefficient of water accumulation in artificial reservoirs increased from 0.76 in past century to 1.23 after warming (scenario A1B). This circumstance indicates a tendency towards lack of free (unregulated) runoff in the river and formation of its deficit. The loss of runoff because of filling of artificial reservoirs exceeds the runoff of certain tributaries and ultimately the river's runoff itself. This leads to reduction and complete cessation of fresh water entering into the Kuyalnik Liman which gradually dries up. In order to regulate the impact of artificial reservoirs on the river's runoff it is necessary to determine permissible (limiting) volumes of their filling. These volumes were defined as 10 and 25 percent of the natural annual runoff. The natural (not disturbed by economic activity) annual runoff of the river was calculated on the basis of the climate-runoff model using meteorological data. Under conditions of warming the natural runoff of the river and the associated permissible (limiting) volumes would decrease which would require reduction of an even greater number of ponds.

Keywords: artificial reservoirs, natural runoff, climate change, accumulation coefficient, permissible (limiting) volumes of runoff regulation.

ОПИСАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ НА ВОДОЗБОРЕ РЕКИ БОЛЬШОЙ КУЯЛЬНИК И РЕГЛАМЕНТИРОВАНИЕ ИХ РАБОТЫ В СОВРЕМЕННОСТИ И БУДУЩЕМ

Н. С. Лобода, проф., д-р геогр. наук

Н. Д. Отченаш, канд. геогр. наук

О. М. Гриб, канд. геогр. наук

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, natasha30@ua.fm*

В работе представлены результаты обследований искусственных водоемов, расположенных в бассейне реки Большой Куяльник, которые из-за значительного их количества и объемов заполнения существенно уменьшают сток реки и способствуют, таким образом, обмелению Куяльницкого лимана и ухудшению его гидроэкологического состояния. Создание перечня искусственных водоемов на водосборе р. Великий Куяльник выполнено на базе данных Одесского областного управления водными ресурсами и данными спутниковых схемок, приведенных в Google Earth и Google Maps. Размеры площадей водной поверхности и объемов неизученных водоемов определены на основе обобщения существующих данных по другим водоемам с использованием постулатов инвариантности в морфологии водоемов засушливой зоны. Вследствие недостаточности данных наблюдений и значительной их трансформации водохозяйственной деятельностью характеристики стока главной реки и ее притоков определялись по метеорологическим данным прошедших лет (до 1989г.) и для климатического сценария А1В, численная модель REMO для периода 2021-2050 гг. Показано, что коэффициент аккумуляции воды в искусственных водоемах будет увеличиваться от 0,76 в прошедшем столетии до 1,23 в условиях климатического сценария А1В. Это свидетельствует о формировании тенденции отсутствия свободного (незарегулированного) стока в реке. На базе оценок естественных водных ресурсов реки, выполненных с помощью модели "климат-сток" для разных климатических условий и по результатам математического моделирования гидрологического состояния лимана, рассчитаны допустимые (лимитирующие) объемы заполнения искусственных водоемов на водосборе р. Большой Куяльник, которые определялись как 10% и 25% от естественного (ненарушенного хозяйственной деятельностью) стока реки.

Ключевые слова: искусственные водоемы, естественный сток, изменения климата, коэффициент аккумуляции, допустимые (лимитирующие) объемы регулирования стока.

*Подання до редакції : 26. 02. 2018
Надходження остаточної версії : 07. 06. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018*

УДК 556.535:556.06

ВПЛИВ ТРИВАЛОГО ДОНОРСЬКОГО ЗРОШУВАННЯ НА ЯКІСТЬ ПІДЗЕМНИХ ВОД У ПІВДЕННО-СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ (НА ПРИКЛАДІ Р. БАРАБОЙ, ОДЕСЬКА ОБЛАСТЬ)

Я. С. Яров

Н. С. Лобода, д-р геогр. наук

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, slavikyarov82@gmail.com

У роботі представлені результати натурних досліджень хімічного складу та якості підземних вод (грунтових та артезіанських) в басейні річки Барабой, з 1967 року відбувається зрошування сільськогосподарських масивів за рахунок вод річки Дністер. Ці води подаються в мережу водосховищ і каналів Нижньодністровської зрошувальної системи. Фільтраційні втрати вод зі зрошувальних масивів і водогінно-каналізаційних мереж населених пунктів поповнюють запаси підземних (грунтових) вод, збільшуючи потрапляння в них розчинених речовин з товщ осадових гірських порід, що призводить до зростання концентрацій окремих інгредієнтів хімічного складу поверхневих і підземних вод в басейні р. Барабой. Показано, що ґрунтові води збагачені сполуками азоту, містять також високі концентрації хлоридів, сульфатів, кальцію та магнію. Мінералізація, токсичність та ступінь забруднення підземних вод зростають по довжині р. Барабой. Ґрунтові води, які потрапляють в русло р. Барабой, за своїм хімічним складом не задовольняють рибогосподарським вимогам, погіршуючи якість вод у водоймах, де ведеться рибництво. Артезіанські води, які використовуються для господарсько-питного водопостачання, визнані «посередньо, обмежено придатними, небажаної якості» по вмісту магнію. Окрім того, після 50 річної експлуатації у артезіанських водах знайдені сполуки азоту і фосфору, які у 60-ті роки минулого сторіччя не виявлялися. Зроблений висновок про негативний вплив тривалого донорського зрошування на якість підземних вод і необхідність додаткової обробки води артезіанських водоносних горизонтів сарматського ярусу, які використовуються для централізованого водопостачання.

Ключові слова: донорське зрошування, фільтрація, підземні води, показники якості води, ступінь забруднення.

1. ВСТУП

Одеська область знаходиться в агрокліматичній зоні Південного степу. Успішний розвиток сільського господарства в умовах посушливого клімату потребує зрошувального землеробства. Малі та середні річки області, розташовані у межиріччях Дунай-Дністер, Дністер-Південний Буг є маловодними і не здатними забезпечити водою потреби сільського господарства [1]. На початку ХХІ сторіччя ситуація погіршилася через регіональні зміни клімату, які призвели до зневоднення території Північно-Західного Причорномор'я. Нестача прісної води для цілей зрошування ще з 70-х років минулого сторіччя компенсується водами річок-донорів (Дунаю, Дністра). Для перекиду води великих річок на значні відстані була побудована велика кількість зрошувальних систем: Дунай-Дністровська; Белгород-Дністровська; Нижньодністровська; Троїцько-Граденицька та інші. Зрошування та пов'язане із ним різке зростання надходження води на водозбори малих та середніх річок викликає зміни ґрунтоутворюючих процесів, вод-

но-сольового режиму ґрунтів, природного режиму ґрунтових вод та їх хімічного складу [2]. Підняття рівня ґрунтових вод є загальною тенденцією для всіх зрошуваних масивів України [3]. Останнє є особливо важливим для сільських населених пунктів Одеської області, які традиційно розміщувалися у пониженнях рельєфу, близько до поверхні залягання ґрунтових вод. У товщі лесоподібних осадових гірських порід степової зони є великі запаси легкорозчинних солей, сульфатів і хлоридів натрію, магнію та кальцію. При обводненні ці солі можуть переходити у рухомий розчинений стан і надходити у водоносні горизонти. Зрошування також сприяє виносу значної частини азотистих з'єднань за межі діючого шару ґрунту. В умовах зрошування відбувається надходження дренажних вод із зрошуваних водою річки-донора масивів до ґрунтових і частково до артезіанських вод, що може суттєво вплинути на їх якість.

Метою роботи є виявлення наслідків впливу донорського зрошування на якість підземних вод річок Північно-Західного Причорномор'я

(на прикладі однієї з таких річок).

Об'єктом дослідження є водозбір річки Барабой, який знаходиться в умовах донорського зрошування водами р. Дністер.

Предметом дослідження є зміни якості підземних вод на водозборі р. Барабой в результаті багаторічного зрошування. Ця річка є складовою Нижньодністровської зрошувальної системи (НДЗС) на площі 38 тис га зрошуваних земель.

Задачі роботи полягають в аналізі та узагальненні результатів польових досліджень якості підземних вод (проведених працівниками ОДЕКУ) та оцінок установлення тенденцій змін якості підземних вод у минулому та у сучасності.

2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Річка Барабой є малою річкою із площею водозбору 652 км², недостатньо вивченою у гідрологічному відношенні. За моделлю «клімат стік», розробленою в ОДЕКУ, були визначені характеристики природного (непорушеного господарською діяльністю) річного стоку [4]. В результаті розрахунків установлено, що норма річного природного стоку складає 7,6 мм. Ця цифра відповідає даним обласного управління технічною експлуатацією малих річок [3], згідно з якими значення річної норми природного стоку дорівнює 7,56 мм. За розрахунками побутового річного стоку виявлено, що внаслідок надходження зворотних вод із масивів, які зрошуються водами річки-донора (Дністра), середній багаторічний стік річки може збільшуватися на 20-50 % в залежності від відносної площі зрошування, яка суттєво змінювалася у різні роки. Для оцінки наслідків донорського зрошування задавалися різні значення відносних площ зрошування, які відповідали фактичним і змінювалися від 8 % до 23 % від загальної площі водозбору. Отже, хоч донорське зрошування позитивно впливає на кількісні характеристики стоку річки, воно впливає на хімічний склад та якість поверхневих та підземних вод.

Гідрохімічний режим р. Барабой слабо висвітлений у науковій літературі. У роботі [5] міститься опис басейну р. Барабой (станом на 1956 р.) та характеристики її режиму, визначені за річками-аналогами. Узагальнені гідрохімічні показники р. Барабой наведені в її паспорті за 1992 рік [6], який вже застарів і потребує оновлення. Окремі гідрохімічні і гідробіологічні показники Барабойського водосховища наведені у монографії Пилипенка Ю. В. [7].

Вода річки Дністер, яка використовується для

наповнення Санжейського та Барабойського водосховищ, побудованих в руслі річки, згідно літературних даних [2], відноситься до категорії низько мінералізованих, слабо лужних, і по відношенню одно- та двохвалентних катіонів визнана придатною для зрошування чорноземів. За даними роботи [8] на початку XXI сторіччя у період з березня по жовтень мінералізація р. Дністер змінювалася в межах 430-648 мг/дм³. У 2000 році виявлено збільшення мінералізації на 200-240 мг/дм³ у порівнянні із даними у 1952-1954 роках. Переважаючим катіоном є кальцій з концентрацією 46-70 мг/дм³. Переважаючим аніоном є гідрокарбонат, вміст якого в воді змінюється в інтервалі 195,2 – 275 мг/дм³. Дністровська вода вважається такою, яка не потребує поліпшення хімічного складу. Згідно із матеріалами роботи Шевченка Т. О. [9] мінералізація Барабойського водосховища, яке наповнюється водами Дністра, становить 501 мг/дм³, клас сульфатний, група Mg, тип II, а Санжейського водосховища – 1629 мг/дм³, клас сульфатний, група Na, тип II, відповідно. Якість води Санжейського водосховища не відповідає вимогам до іригаційних вод, згідно з якими мінералізація не повинна перевищувати 1000 мг/дм³.

Згідно із гідрохімічним картуванням річка Барабой належить до Дністровсько-Бузького гідрохімічного поля степової зони. Перші від поверхні водоносні горизонти знаходяться в четвертинних еолово-делювіальних відкладеннях (суглинки, леси, супіски) з мінералізацією 2068 мг/дм³ і є сульфатно-кальцієво-натрієвими. Підземні води сарматських відкладень (вапняки, піски) мають мінералізацію 1067 мг/дм³ і відносяться до хлоридно-сульфатно-гідрокарбонатних змішаного катіонного складу [10].

За даними паспорта річки Барабой [6], верхні водоносні горизонти (верховодка) з глибиною залягання менше 10 м розташовані у алювіально-делювіальних четвертинних відкладеннях. Водомісними породами є лесоподібні суглинки та супіски. Нижче, на глибинах від 10 до 50 м, розташовуються ґрунтові води понтичних, неогенових і меотичних відкладень, які залягають в товщах пісків, вапняків, алевролітів. Живлення зазначених горизонтів відбувається за рахунок інфільтрації атмосферних опадів, фільтрації з поверхневих водних об'єктів, перетоку з інших горизонтів. Розвантажуються такі водоносні горизонти в долину річки. Їх вода використовується для наповнення криниць для забезпечення господарсько-побутових потреб населення.

Для централізованого водопостачання використовуються артезіанські (напірні) води сар-

матських водоносних горизонтів, глибина залягання яких більше 50 м. Водовмісними породами є вапняки, піски. Область живлення таких водоносних горизонтів знаходиться у місцях виходу порід на денну поверхню. Водоносні горизонти в алювіально-делювіальних четвертинних відкладеннях вважаються незахищеними від забруднення, в понтичних, неогенових і мотичних відкладеннях – умовно захищеними і незахищеними. Напірні води в сарматських водоносних горизонтах приймаються захищеними від забруднення. Мінералізація підземних вод може коливатись у значних межах, досягаючи на значних глибинах 11 г/дм³. Сполуки нітритного і нітратного азоту виявлені в більшості водоносних горизонтів, окрім сарматського. Обсяги використання підземних вод в басейні р. Барабой для промислового і комунально-побутового водопостачання щорічно знижуються [6, 11]: в 1985 р. обсяг водозабору складав 1,431 млн. м³, в 1991 – 1,405 млн. м³, в 2012 р. – 0,73 млн. м³.

Оцінка якості вод р. Барабой в створі с. Барабой [15] на основі даних регулярного гідрохімічного моніторингу стану р. Барабой в створі с. Барабой, який виконувався спеціалістами Одеської гідрогеолого-меліоративної експедиції Одеського обласного управління водних ресурсів (ОГГМЕ ООУВР) за 2000-2010 рр., показала, що за рибогосподарськими показниками по методу комбінаторного індексу забруднення (КІЗ) за розглянутий період якість вод відповідала найгіршому IV класу якості («дуже брудна»), вода найбільше забруднена азотом нітритним і СПАР. Оцінка за методом індексу забруднення води (ІЗВ) показала, що за 2000–2010 рр. спостерігалось погіршення якості вод р. Барабой від III класу якості («помірно забруднена») до VI класу («дуже брудна»), що свідчить про порушення екологічних параметрів вод річки і характеризує її стан як «екологічний регрес». Дослідження зв'язків між окремими гідрохімічними показниками за допомогою кореляційного аналізу [15] дозволило виділити 19 статистично значущих залежностей (переважно - між головними іонами), які дають можливість використовувати їх в наукових розрахунках. Особливістю гідрохімічного режиму р. Барабой в сучасний період є значний вплив інтенсивної господарської діяльності, яка докорінно змінила природний режим водотоку. У [16] було встановлено, що в період з 2000 по 2010 рр. за даними моніторингу ОГГМЕ ООУВР вода р. Барабой належить до хлоридного класу, групи кальцію-магнію, III типу. За показником мінералізації, який зростав від 1707 мг/дм³ (2003 р.) до 3139 мг/дм³ (2010 р.)

води р. Барабой є «солонуватими». Екологічна оцінка якості вод р. Барабой [17] показала, що в 2000-2010 рр. за середніми значеннями гідрохімічних показників якість води річки відносились до перехідного стану в межах II – III класів якості (за станом «дуже добрі – задовільні», за чистотою «досить чисті – слабо забруднені»). Виявлено, що за максимальними значеннями показників з 2000 р. стан річки погіршився на 11 % і відповідав III класу якості (за станом «задовільні – посередні», за чистотою «слабо – помірно забруднені»), що наочно свідчить про тенденцію до погіршення екологічного стану р. Барабой в періоди, коли з природних і антропогенних причин відбувається забруднення води. В 2011–2015 рр. гідроекологічний стан р. Барабой зберіг тенденцію до погіршення [18].

Гідрохімічний режим і гідроекологічний стан р. Барабой та розташованих в межах її басейну штучних водойм досліджувався протягом 2009-2018 рр. спеціалістами кафедри гідроекології та водних досліджень ОДЕКУ в межах виконання низки НДР [11-13]. В [14] наводяться результати сезонних гідрохімічних зйомок у 2009–2010 рр., які були проведені в басейні р. Барабой на створеній мережі з 20 станцій та виконаний аналіз отриманих гідрохімічних показників.

Аналіз якості води у створених в басейні р. Барабой водосховищах за даними як ОГГМЕ ООУВР, так і ОДЕКУ за період з 2000 по 2017 рр. дозволив установити, що у Барабойському водосховищі якісний стан води кращий, ніж у Санжейському. Це зумовлено тим, що розташоване в нижній частині р. Барабой Санжейське водосховище приймає до себе усі забруднюючі речовини, які надходять з водозбору, а також є акумулятором дренажних технологічних скидів з I черги НДЗС [19]. Барабойське водосховище [20] має досить великі розміри (довжина 5,2 км, середня глибина 6,26 м, площа дзеркала 382 га, об'єм води 24 млн. м³) і наповнюється безпосередньо з р. Дністер. Якість води в ньому залежить від інтенсивності штучного водообміну. Санжейське водосховище [21] має незначні розміри (довжина 3,8 км, середня глибина 1,18 м, площа дзеркала 67 га, об'єм води 0,763 млн. м³), що обмежує можливості його самоочищення [22].

Оцінка якості вод у зазначених досліджуваних водосховищах, установлена за методом КІЗ [23] згідно з рибогосподарськими нормами ГДК, дозволила установити наступне. За даними ОГГМЕ ООУВР (за 2001–2013 рр.) рівень питомого забруднення ПКІЗ у Барабойському водосховищі склав 2,61 бали (III-а клас якості вод – «бруд-

на»); у Санжейському водосховищі ПКІЗ – 4,93 бали (IV-а клас якості вод – «дуже брудна»). За даними ОДЕКУ (період 2009-2017 рр.) в цілому для Барабойського водосховища рівень питомого забруднення ПКІЗ становив 3,52 бали (III-б клас якості вод – «брудна»); у Санжейському водосховищі ПКІЗ – 5,56 балів (IV-б клас якості вод – «дуже брудна»). Речовинами ЛОЗ, які найбільше забруднювали воду, виявились азот нітритний у Барабойському водосховищі, азот нітритний і азот амонійний – у Санжейському. Якість води у Санжейському водосховищі гірша за якість води у Барабойському водосховищі в 1,9 разів за даними ОГГМЕ ООУВР і в 1,6 разів – за даними ОДЕКУ. Однією з причин погіршення якості вод у Санжейському водосховищі є розвантаження високомінералізованих підземних вод, значна частина яких формується в результаті донорського зрошування.

3. ОПИС ОБ'ЄКТА

НДЗС розпочала свою роботу у другій половині ХХ ст. (з 1967 р. – I черга, з 1984 р. – II черга [19]) для зрошування сільськогосподарських земель Овідіопольського та Біляївського районів Одеської області. Зрошуються, головним чином, зернові, овочеві, кормові культури. Дністровська вода подається на поля головною насосною станцією (ГНС), розташованою у селі Маяки. В системі працює низка насосних станцій для підкачування води (НСП) [2]. Зрошувальна система складається з бетонних і залізобетонних каналів внутрішньогосподарських закритих трубопроводів і лоткових каналів. На міжгосподарських каналах реалізується міжб'єфне каскадне регулювання витрат та рівнів води за допомогою автоматичних регулюючих засобів гідравлічної та електричної дії. На річці створені два водосховища, які наповнюються водами Дністра: Барабойське та Санжейське [24]. Водозабір з Дністра відбувається існуючою ГНС (головною насосною станцією) вода подається у Барабойське водосховище. З Барабойського водосховища вода накачується насосною станцією у канал МК-2 і далі у розподільну мережу II черги НДЗС. Передбачена автоматизація розподілу води з регулюванням б'єфів магістрального каналу та акумуляцією аварійно-скидних вод для повторного використання. Також передбачено скидання вод з системи в Санжейське водосховище, з якого (за умови регулярних промивок) також здійснюється забір води на зрошування [2, 19]. Режим водогосподарського використання Барабойського та Санжейського водосховищ

викладені у відповідних нормативних виданнях [25, 26].

Моніторинг якості води в басейні р. Барабой здійснюють: ОГГМЕ ООУВР (ГНС р. Дністер-с. Маяки; Барабойське і Санжейське водосховища; р. Барабой – с. Барабой), Біляївською та Овідіопольською районними санітарно-епідеміологічними станціями. Дані спостережень друкуються у відомчих щорічних звітах.

4. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження гідрохімічних показників підземних (грунтових) вод в басейні р. Барабой здійснювалось співробітниками ОДЕКУ у 2010 – 2018 рр. у місцях розвантаження ґрунтових вод на берегах водойм та водотоків (джерела). Для аналізу їх якості було обрано 4 станції: джерела біля селищ Миколаївка (1), Петродолинське (2), Новоградівка (3), правий берег Санжейського водосховища (4), (рис. 1, табл. 1). Роботи проводились за загальноприйнятими методиками польових і лабораторних досліджень [27, 28]. Отримані результати по станціям наведені в табл. 2.

Оцінка якості ґрунтових вод виконувалась по методу комбінаторного індексу забруднення [23] за рибогосподарськими нормами ГДК (тому, що ґрунтові води приймають участь у наповненні водойм, де ведеться рибництво, яке відноситься до провідних користувачів водних ресурсів р. Барабой протягом усього року, на відміну від сезонності використання вод для зрошування). Метод КІЗ дозволяє класифікувати якість води за гідрохімічними показниками, виділити пріоритетні забруднювальні речовини на основі класифікацій: за ознаками повторюваності випадків забруднення; за кратністю перевищення нормативів ГДК; за характером забрудненості води окремими хімічними речовинами. По кожній речовині обчислюються узагальнені оцінні бали (S_i), сума яких відповідає показнику КІЗ (комбінаторний індекс забрудненості). Показники, для яких бал $S_i \geq 11$, відносять до лімітуючих ознак забруднення (ЛОЗ), які є найбільшими забруднювальними речовинами, погіршують якість води до категорії «неприпустимо брудна». За питомим комбінаторним індексом забруднення (ПКІЗ) встановлюється клас якості води.

Також в даній роботі здійснювалась оцінка придатності напірних (артезіанських) вод для господарсько-питного використання на прикладі артезіанської свердловини № 2097, розташованої в межах с. Барабой, на базі літературних та натурних даних, за нормативними методиками, наведеними в [29, 30].

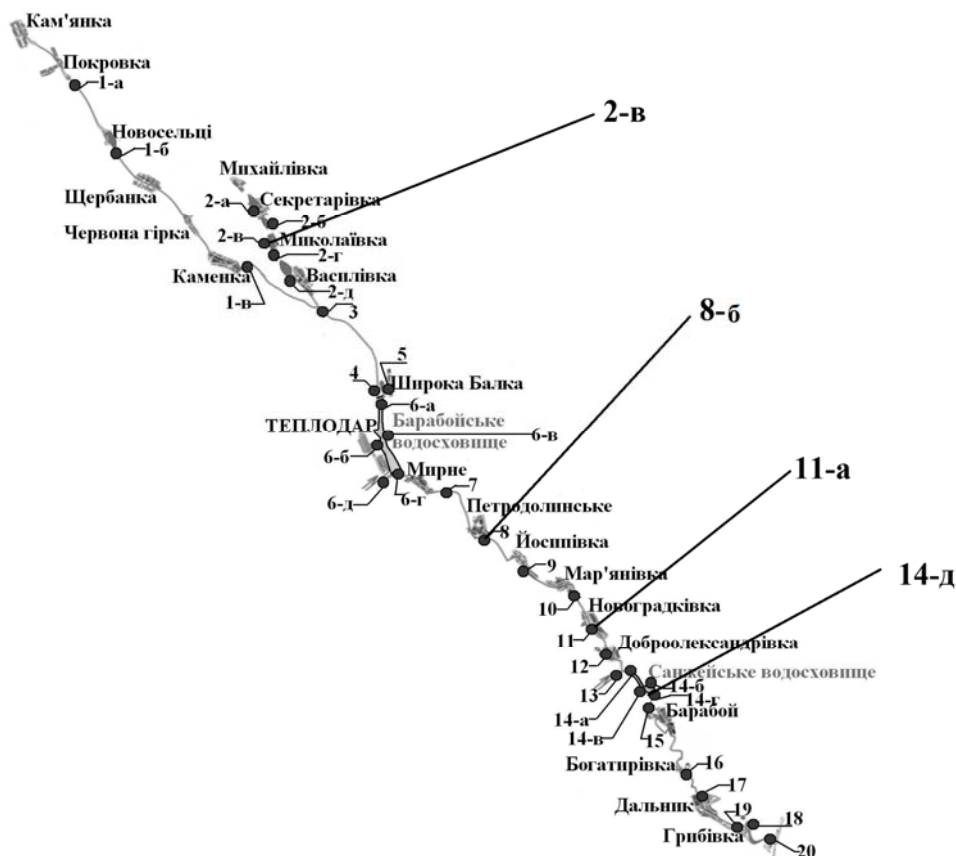


Рис. 1 – Розташування станцій відборів проб у місцях виходу ґрунтових вод в басейні р. Барабой

Таблиця 1 – Характеристики станцій спостережень за якістю ґрунтових вод в басейні р. Барабой

№ станції	Найменування	Місце розташування	Координати GPS (система WGS 84)	
			Широта	Довгота
2-в	Балка Ставкова, селище Миколаївка, джерело ґрунтових вод в ставок №3	Правий берег ставка навпроти селища Миколаївка	46°38'49,4"	30°17'2,9"
8-б	Гирло балки без назви, правого притоку річки Барабой в межах селища Петродолинське	0,7 км на захід від центру селища Петродолинське	46°25'81"	30°23'55"
11-а	Джерело ґрунтових вод біля селища Новоградівка	0,38 км на південний захід від центру селища Новоградівка, джерело ґрунтових вод, правий берег річки Барабой	46°21'42"	30°28'54"
14-д	Джерело ґрунтових вод на березі Санжейського водосховища	Правий берег водосховища, 0,18 км на південний захід від переїзду	46°18'53"	30°29'95"

5. ОПИС І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

В результаті аналізу отриманих гідрохімічних даних (табл. 2) по станціям було встановлено, що ґрунтові води, які розвантажуються вздовж р. Барабой, мають неоднорідні гідрохімічні показники. Матеріали досліджень подані у вигляді

дробу: в чисельнику – середньоарифметичне значення показника, в знаменнику – мінімальне і максимальне значення. Ґрунтові води протягом року мають велику прозорість (більше 42 см), без кольору, за показником рН - нейтральної чи слабо лужної реакції. Висока змінність значень окисно-відновного потенціалу eН і органолепти-

Таблиця 2 – Гідрохімічні показники ґрунтових вод в басейні р. Барабой (2010 – 2018 рр., дані ОДЕКУ)

Показник	Ґрунтові води в ставок біля с. Миколаївка	Ґрунтові води в с. Петродолинське	Ґрунтові води в с. Новоградівка	Ґрунтові води в Санжейське водосховище
Т. °С	<u>9,60</u> 8,10-12,9	<u>2,88</u> 0-5,42	<u>8,52</u> 3,12-10,6	<u>6,83</u> 4,30-14,1
Прозорість, см	>42	>42	>42	>42
Колір, шкала	без кольору	без кольору	без кольору	без кольору
Кольоровість, °	<u>26</u> 0-100	<u>27</u> 10-44	<u>21</u> 0-40	<u>41</u> 22-60
pH	<u>7,65</u> 6,83-8,20	<u>7,97</u> 7,45-8,64	<u>7,52</u> 7,30-7,76	<u>7,64</u> 7,44-8,08
eН, мВ	<u>-16,8</u> -79,0...+48,0	<u>-20,8</u> -152...+130	<u>-0,60</u> -136...+131	<u>26,6</u> -64...+145
Запах, бали	0-3	0-5	0-5	0-2
Смак, бали	1-3	1-5	1-4	1-5
Пінистість	-	-	-	-
Загнивання	-	-	-	-
Стабільність, %	>80	>80	>80	>80
Сухий залишок, г/дм ³	<u>7,12</u> 5,70-13,3	<u>4,60</u> 1,70-6,30	<u>5,30</u> 2,50-6,00	<u>9,50</u> 5,15-10,9
Прожарений залишок, г/дм ³	<u>5,49</u> 4,16-9,49	<u>3,90</u> 1,40-5,50	<u>4,50</u> 2,20-5,10	<u>7,60</u> 4,40-9,40
Валовий вміст органіки у воді, %	<u>21,9</u> 14,4-34,2	<u>15,6</u> 12,3-22,0	<u>14,2</u> 10,6-19,8	<u>19,4</u> 11,4-35,5
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	<u>39,4</u> 15,6-98,6	<u>41,4</u> 18,7-58,5	<u>34,0</u> 19,9-51,5	<u>53,3</u> 28,4-86,8
Ca ²⁺ , мг/дм ³	<u>262</u> 160-387	<u>351</u> 63,1-904	<u>394</u> 83,2-431	<u>517</u> 131-927
Mg ²⁺ , мг/дм ³	<u>326</u> 92,4-964	<u>267</u> 127-423	<u>208</u> 38,8-374	<u>309</u> 98,5-630
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	<u>421</u> 163-679	<u>165</u> 21-308	<u>566</u> 469-662	<u>750</u> 691-808
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	<u>281</u> 235-366	<u>362</u> 168-735	<u>312</u> 122-531	<u>396</u> 168-882
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	<u>642</u> 33,0-2185	<u>417</u> 17,2-1350	<u>444</u> 21,8-1398	<u>763</u> 168-2231
Cl ⁻ , мг/дм ³	<u>441</u> 320-709	<u>727</u> 603-895	<u>848</u> 488-1010	<u>1667</u> 1097-2260
NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	<u>0,50</u> 0,0-2,80	<u>0,097</u> 0,0-0,31	<u>0,074</u> 0,0-0,16	<u>1,91</u> 0,022-12,9
NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	<u>10,1</u> 2,80-35,3	<u>6,20</u> 0,08-30,1	<u>18,4</u> 0,38-82,3	<u>18,9</u> 0,42-82,3
NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	<u>21,8</u> 0,10-68,7	<u>16,5</u> 0,0-64,0	<u>18,7</u> 0,0-62,2	<u>25,7</u> 0,0-94,1
PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³	<u>0,05</u> 0,0-0,11	<u>0,063</u> 0,0-0,19	<u>0,063</u> 0,0-0,275	<u>0,164</u> 0,0-0,96
БСК ₅ мгО/дм ³	<u>5,90</u> 1,00-28,3	<u>3,30</u> 0,0-9,20	<u>4,40</u> 1,10-7,60	<u>4,00</u> 0,0-9,38
Сапрофітні бактерії, тис кл/см ³	<u>3,13</u> 0,797-10,4	<u>1,06</u> 0,41-1,52	<u>0,93</u> 0,315-1,70	<u>0,66</u> 0,265-1,20
Хронічна токсичність, %	<u>12,6</u> 3,6-44,8	<u>46,3</u> 1,00-112	<u>57,1</u> 8,00-284	<u>102</u> 20,1-302
Гостра токсичність, I	<u>0,67</u> 0,0-1,96	<u>0,42</u> 0,05-0,68	<u>0,34</u> 0,0-0,88	<u>0,59</u> 0,0-0,83

чних показників (запах, смак) вказує на різний механізм перебігу фізико-хімічних процесів формування складу і властивостей таких вод протягом року. Вмісту речовин СПАР (передусім, сапоніну) за показником «пінистість» в усіх джерелах виходу ґрунтових вод не виявлено. Рівень вмісту органічних речовин, які схильні до легкого розкладу з утворенням сірководню, згідно показників «загнивання» та «стабільність» визнаний допустимим.

Мінералізація ґрунтових вод по всіх станціях дослідження була дуже високою (сухий залишок за середніми значеннями складав від $4,6 \text{ г/дм}^3$ до $9,5 \text{ г/дм}^3$). Різниця між сухим і прожареним залишком дає уявлення про валовий вміст у ґрунтових водах розчинених органічних речовин, переважно сполук гумусового типу.

В ґрунтових водах по окремих станціях вміст органіки змінювався за середніми значеннями від 14,2 % до 21,9 %. Концентрації головних іонів у ґрунтових водах вздовж р. Барабой демонструють злагожену тенденцію зростання. Виражене збільшення по середнім значенням характерне для хлорид-іону (з 441 мг/дм^3 до 1667 мг/дм^3), решта показників зростає, в проміжних станціях – біля с. Петродолинське і Новоградівка окремі концентрації мають тенденцію до «просідання» внаслідок посилення живлення водоносних горизонтів ґрунтових вод більш прісними водами р. Дністер, що подаються на зрошувальні масиви.

Вміст в ґрунтових водах р. Барабой біогенних речовин, а саме сполук азоту і фосфору, досить різко змінюється. По мінімальним показникам для більшості станцій фіксується аналітичний нуль, по максимальним значенням виявлені високі концентрації, що особливо виражене для азоту амонійного. В цілому, мінімальним є вміст фосфатів (від $0,05 \text{ мг/дм}^3$ до $0,164 \text{ мг/дм}^3$ по середнім значенням). Більше всього в ґрунтових водах азоту амонійного (від $16,5 \text{ мг/дм}^3$ до $25,7 \text{ мг/дм}^3$). Переважання азоту амонійного над іншими сполуками азоту свідчить про погіршення санітарного стану ґрунтових вод в басейні річки Барабой через їх забруднення. В усіх випадках, а особливо для нітратного азоту і фосфатів, вираженою є тенденція до зростання їх концентрацій вздовж течії р. Барабой. Забрудненість ґрунтових вод в басейні р. Барабой органічними речовинами за показником БСК₅ досить висока і по середнім значенням показника зменшується по довжині річки з $5,9 \text{ мгО/дм}^3$ в джерелі біля с. Миколаївка до 4 мгО/дм^3 в джерелі на березі Санжейського водосховища.

Важливим аспектом вивчення ґрунтових вод в басейні р. Барабой є дослідження їх бактеріальної забрудненості і токсичності. В [2] містяться подібні дослідження щодо поверхневих вод, які є джерелом зрошування в Одеській області, там же зазначено, що дослідження такого спрямування є досить актуальними і перспективними. Аналіз отриманих нами даних показав, що вміст сапрофітних бактерій, які є показниками забрудненості вод, по середнім значенням вздовж течії знижувався від $3,13 \text{ тис кл/см}^3$ в джерелі біля с. Миколаївка до $0,66 \text{ тис кл/см}^3$ в джерелі біля Санжейського водосховища. Високий вміст сапрофітних бактерій в ґрунтових водах р. Барабой і їх велика сезонна динаміка є індикатором свіжого антропогенного забруднення і пояснюється високим рівнем забрудненості цих вод біогенними сполуками і органічними речовинами, в мінералізації яких беруть участь сапрофітні мікроорганізми, відігравуючи роль «екосистемних санітарів».

Проведені дослідження на фітотоксичність ґрунтових вод дали змогу отримати, що хронічна токсичність для кожного джерела в окремі сезони по екстремальним значенням змінюється від рівня «нетоксична» (всі станції) до рівня «вельми токсична» (джерела біля с. Петродолинське, с. Новоградівка, Санжейського водосховища). За середніми значеннями показника хронічної токсичності можна зробити висновок про зростання ступеня токсичності ґрунтових вод вздовж течії р. Барабой з рівня «нетоксична» (12,6 % в джерелі біля с. Миколаївка) до рівня «вельми токсична» (102 % в джерелі біля Санжейського водосховища). Таким чином, при тривалому контакті з живою істотою ґрунтові води в басейні р. Барабой є в більшості випадків токсичними і становлять певну небезпеку при їх використанні. Гостра токсичність, яка характеризує вплив води на живу істоту при нетривалому контакті, в усіх станціях вивчення ґрунтових вод по середнім значенням показників свідчить про «середній ступінь» забрудненості таких вод (показник гострої токсичності I змінювався від 0,3 до 0,67). Сезонна динаміка показника I висока: по мінімальним значенням в окремі сезони в більшості станцій гостра токсичність ґрунтових вод може бути «відсутня» і не виявляється (показник $I < 0,1$), по максимальним значенням в усіх станціях виявлений «сильний ступінь» забруднення (показник $I > 0,71$).

Оцінка результатів забрудненості ґрунтових надавалася на базі використання рибогосподарської ГДК, оскільки р. Барабой та її водойми

широко використовуються для потреб рибицтва. Результати оцінки якості ґрунтових вод в басейні р. Барабой за методом КІЗ в період з 2010 по 2018 рр. наведені в табл. 3-4.

Аналіз отриманих даних показав, що для всіх станцій з 11 гідрохімічних показників для 10 відзначаються випадки перевищень ГДК різної кратності, тому всюди показник комплексності забруднення K становив 91 %.

Рівень забруднення всіх джерел ґрунтових вод відповідав IV класу якості вод («дуже брудна»), в найгіршому стані знаходиться джерело

біля Санжейського водосховища (показник ПКІЗ склав 8,1 бали), в кращому стані знаходиться джерело біля с. Петродолинське (ПКІЗ склав 6,18 балів). На усіх станціях найнижчий рівень забруднення устанавлений по фосфатам.

Речовинами ЛОЗ, які найбільше забруднюють ґрунтові води, в усіх випадках були азот нітритний і амонійний, за якими фіксується «характерна забрудненість високого і дуже високого рівня», а якість води оцінюється як «неприпустимо брудна».

Таблиця 3 – Статистично узагальнена оцінка якості ґрунтових вод в басейні р. Барабой (рибогосподарські норми ГДК) по методу КІЗ за даними ОДЕКУ у 2010-2018 рр.

Ґрунтові води, які розвантажуються в ставок біля с. Миколаївка											
$n = 11, n' = 10, K = 90,9\%, KІЗ = \sum S_i = 78$ балів, $ПКІЗ = \sum S_i/n = 7,1$ балів; клас якості - IV в) – «дуже брудна»											
Показник	БСК ₅	[$\sum M$]	[NO ₂ ⁻]	[NO ₃ ⁻]	[NH ₄]	[P _{min}]	[Ca ²⁺]	[Mg ²⁺]	[Na ⁺ +K ⁺]	[SO ₄ ²⁻]	[Cl ⁻]
ГДК (мг/дм ³)	2,25	1000	0,02	9,1	0,39	1	180	40	170	100	300
N _i	8	8	7	7	7	6	6	6	2	4	4
N _{ГДК}	5	8	6	2	6	0	3	6	1	2	4
H _i =100*N _{ГДК} /N _i ,%	62,5	100	85,7	28,6	85,7	0	50	100	50	50	100
Оцінний бал	4	4	4	2	4	1	3	4	3	3	4
K _i =C _i /C _{ГДК}	2,6	7,13	234	1,1	55,8	0,05	1,46	8,14	2,47	6,4	1,47
Оцінний бал	2	2	4	1	4	1	1	2	2	2	1
Узаг. бал S _i	8	8	16	2	16	1	3	8	6	6	4
Ґрунтові води в с. Петродолинське											
$n = 11, n' = 10, K = 90,9\%, KІЗ = \sum S_i = 68$ балів, $ПКІЗ = \sum S_i/n = 6,18$ балів; клас якості - IV б) – «дуже брудна»											
Показник	БСК ₅	[$\sum M$]	[NO ₂ ⁻]	[NO ₃ ⁻]	[NH ₄]	[P _{min}]	[Ca ²⁺]	[Mg ²⁺]	[Na ⁺ +K ⁺]	[SO ₄ ²⁻]	[Cl ⁻]
N _i	7	7	7	7	7	7	7	7	2	4	4
N _{ГДК}	4	7	6	1	6	0	4	7	1	2	4
H _i =100*N _{ГДК} /N _i ,%	57,1	100	85,7	14,3	87,5	0	57,1	100	50	50	100
Оцінний бал	4	4	4	2	4	1	4	4	3	3	4
K _i =C _i /C _{ГДК}	1,45	4,61	48,7	0,68	42,3	0,06	1,95	6,68	0,96	4,2	2,42
Оцінний бал	1	2	3	1	3	1	1	2	1	2	2
Узаг. бал S _i	4	8	12	2	12	1	4	8	3	6	8
Ґрунтові води в с. Новоградівка											
$n = 11, n' = 10, K = 90,9\%, KІЗ = \sum S_i = 77$ балів, $ПКІЗ = \sum S_i/n = 7$ балів; клас якості вод - IV в) – «дуже брудна»											
Показник	БСК ₅	[$\sum M$]	[NO ₂ ⁻]	[NO ₃ ⁻]	[NH ₄]	[P _{min}]	[Ca ²⁺]	[Mg ²⁺]	[Na ⁺ +K ⁺]	[SO ₄ ²⁻]	[Cl ⁻]
N _i	7	7	7	7	7	7	7	7	2	4	4
N _{ГДК}	6	7	6	3	6	0	6	6	2	2	4
H _i =100*N _{ГДК} /N _i ,%	85,7	100	85,7	42,8	85,7	0	85,7	85,7	100	50	100
Оцінний бал	4	4	4	3	4	1	4	4	4	3	4
K _i =C _i /C _{ГДК}	1,97	5,29	37	2,02	47,9	0,06	1,6	5,2	3,3	4,4	2,8
Оцінний бал	1	2	3	2	3	1	1	2	2	2	2
Узаг. бал S _i	4	8	12	6	12	1	4	8	8	6	8
Ґрунтові води, які розвантажуються в Санжейське водосховище											
$n = 11, n' = 10, K = 90,9\%, KІЗ = \sum S_i = 89$ балів, $ПКІЗ = \sum S_i/n = 8,1$ балів; клас якості - IV г) – «дуже брудна»											
Показник	БСК ₅	[$\sum M$]	[NO ₂ ⁻]	[NO ₃ ⁻]	[NH ₄]	[P _{min}]	[Ca ²⁺]	[Mg ²⁺]	[Na ⁺ +K ⁺]	[SO ₄ ²⁻]	[Cl ⁻]
N _i	8	8	7	7	7	7	7	7	2	4	4
N _{ГДК}	6	8	7	2	5	0	6	7	2	3	4
H _i =100*N _{ГДК} /N _i ,%	75	100	100	28,5	71,4	0	85,7	100	100	75	100
Оцінний бал	4	4	4	2	4	1	4	4	4	4	4
K _i =C _i /C _{ГДК}	1,72	9,5	954	2,1	65,8	0,16	2,87	7,73	4,4	7,6	5,6
Оцінний бал	1	2	4	2	4	1	2	2	2	2	2
Узаг. бал S _i	4	8	16	4	16	1	8	8	9	8	8

Таблиця 4 – Зведені результати оцінки якості ґрунтових вод в басейні р. Барабой (рибогосподарські норми ГДК) по методу КІЗ за даними ОДЕКУ у 2010-2018 рр.

n	n'	K, %	КІЗ	ПКІЗ	Клас якості	ЛОЗ
Ґрунтові води, які розвантажуються в ставок біля с. Миколаївка						
11	10	90,9	78	7,1	IV в - дуже брудна	Азот нітритний та амонійний
Ґрунтові води в с. Петродолинське						
11	10	90,9	68	6,18	IV б - дуже брудна	Азот нітритний та амонійний
Ґрунтові води в с. Новоградівка						
11	10	90,9	77	7,0	IV в - дуже брудна	Азот нітритний та амонійний
Ґрунтові воді, які розвантажуються в Санжейське водосховище						
11	10	90,9	89	8,1	IV г - дуже брудна	Азот нітритний та амонійний

Середньозважена кратність перевищення ГДК по азоту нітритному коливалась від 37 ГДК (джерело біля с. Новоградівка) до 954 ГДК (джерело біля Санжейського водосховища); по азоту амонійному кратність перевищень ГДК змінювалась від 42,3 ГДК (джерело біля с. Петродолинське) до 65,8 ГДК (джерело біля Санжейського водосховища). Досить високим був рівень забруднення, визначений по головним іонам і мінералізації.

Вплив донорського зрошування за рахунок р. Дністер на гідрохімічні показники джерел ґрунтових вод в межах басейну р. Барабой та поверхневих водних об'єктів добре можна простежити за табл. 5. Так, за багаторічними даними води річки Дністер (с. Маяки) відносяться до гідрокарбонатного класу, групи кальцію, II типу і мають

мінералізацію 0,464 г/дм³. Води Барабойського водосховища, яке напряму наповнюється з р. Дністер (ГНС с. Маяки) мають дещо більшу мінералізацію (0,554 г/дм³), але вже відносяться до сульфатного класу, групи магнію, II типу. Води Санжейського водосховища і нижньої частини р. Барабой відносяться до сульфатного класу, групи натрію, II типу і мають в 4 рази більшу мінералізацію (2,17 г/дм³ і 2,42 г/дм³) порівняно з водами р. Дністер.

Зростання мінералізації вод Барабойського і Санжейського водосховищ і р. Барабой в нижній течії пояснюються поступовим накопиченням в руслі р. Барабой високо мінералізованих ґрунтових вод «місцевого притоку».

Таблиця 5 – Середні концентрації головних іонів у ґрунтових водах (2010-2018 рр., дані ОДЕКУ) та в інших водних об'єктах (2000-2017 рр., дані ОГМЕ ООУВР), класифікація за критеріями іонного складу та мінералізація вод (г/дм³)

Водний об'єкт	Концентрації головних іонів, мг-екв/дм ³						Класифікація за критеріями іонного складу			Мінералізація, г/дм ³
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	Клас	Група	Тип	
Ґрунтові води, с. Миколаївка	10,0	12,0	8,00	4,60	12,4	13,4	S	Mg	III	5,49
Ґрунтові води, с. Петродолинське	15,0	13,0	7,17	5,93	20,5	8,68	Cl	Ca	III	3,90
Ґрунтові води, с. Новоградівка	15,0	13,0	10,0	5,11	23,9	9,24	Cl	Ca	III	4,50
Ґрунтові води, Санжейське водосховище	25,8	25,4	18,0	6,49	47,0	15,9	Cl	Ca	III	7,60
р. Дністер - с. Маяки	3,06	2,04	1,00	3,20	1,11	2,17	C	Ca	II	0,464
Барабойське водосховище	2,75	3,22	2,00	2,41	1,67	4,00	S	Mg	II	0,554
Санжейське водосховище	9,28	10,0	14,0	3,83	10,6	18,9	S	Na	II	2,17
р. Барабой - с. Барабой	10,6	11,2	16,5	4,30	12,3	21,0	S	Na	II	2,42

Таблиця 6 – Середні показники кратності перевищень ГДК (риб-госп) по сполукам азоту і фосфору в ґрунтових водах в басейні р. Барабой (2010-2018 рр., дані ОДЕКУ)

Показник	[NO ₂ ⁻]	[NO ₃ ⁻]	[NH ₄]	[P _{min}]
ГДК (мг/дм ³)	0,02	9,1	0,39	1
Ґрунтові води, с. Миколаївка	234	1,10	55,8	0,05
Ґрунтові води, с. Петродолинське	48,7	0,68	42,3	0,06
Ґрунтові води, с. Новоградівка	37,0	2,02	47,9	0,06
Ґрунтові води, Санжейське водосховище	954	2,10	65,8	0,16

Аналіз іонного складу ґрунтових джерел в басейні р. Барабой показує, що в зонах розташування зрошувальних масивів НДЗС (джерела біля с. Петродолинське, с. Новоградівка, Санжейського водосховища) ґрунтові води відносяться до хлоридного класу, групи кальцію, III типу і збільшують свою мінералізацію з 3,9 до 4,5 г/дм³ порівняно з територіями поза межами впливу зрошувальних масивів (джерело біля с. Миколаївка за іонним складом відноситься до сульфатного класу, групи магнію, III типу, має мінералізацію 5,49 г/дм³).

Оцінка рівня біогенного забруднення джерел ґрунтових вод в басейні р. Барабой (табл. 6) у вигляді середньо багаторічних коефіцієнтів кратності перевищень рибогосподарських норм ГДК показала, що вздовж течії р. Барабой зазначені коефіцієнти в усіх випадках мають тенденцію до збільшення. За вмістом фосфатів перевищень ГДК не виявляється. За сполуками азоту тенденція до збільшення рівня забрудненості вздовж течії р. Барабой порушується в джерелах біля с. Петродолинське і с. Новоградівка, які зазнають впливу підпору вод з Барабойського водосховища і масивів I черги НДЗС.

Вплив антропогенного забруднення, насамперед зворотних вод з сільськогосподарських масивів, на якість артезіанських вод розглядався на прикладі свердловини № 2097, розташованої на околиці с. Барабой на лівому березі однойменної річки.

За даними паспорту [31], зазначена свердловина була пробурена в червні 1965 р. на глибину 94 м у верхньо-сарматський водоносний горизонт. Протягом багатьох десятиліть вода свердловини постійно використовується громадою села Барабой для задоволення господарсько-питних потреб. Візуально стан об'єкта є задовільним, санітарна зона огорожена і в цілому зберігається. Моніторинг режиму і якості артезіанських вод в верхньо-сарматському горизонті

проводиться ще на 2 свердловинах (с. Василівка, с. Доброолександрівка) з 1986 р.

За даними спостережень [6], вода досліджуваного горизонту є хлоридно-гідрокарбонатно-натрієвою, мінералізація змінюється у межах 0,4 - 1,3 г/дм³, виявлені сліди нітратів, нітритів, загальна твердість становить 3,8 мг-екв/дм³, рН дорівнює 7,7. Горизонт вважається захищеним від забруднення.

Порівняння даних про характеристики хімічного складу артезіанської води, наведених у паспорті річки Барабой, паспорті свердловини та отриманих нами (табл. 7) показало їх добру узгодженість за більшістю показників.

Вода є нейтральною за показником рН, прозорою, без сторонніх смаків і запаху. Однак, у ній було виявлено зменшення вмісту сульфатів, з'явилися сполуки азоту і фосфати, які раніше не спостерігались, що може бути обумовлене антропогенним впливом.

Аналіз відповідності артезіанської води досліджуваної свердловини господарсько-питним вимогам ДСанПіН 2.2.4.-171-10 [29] показав, що за санітарно-хімічними показниками вода відповідає умовам нормативного документу, але за епідеміологічними (колі форми) вимогами – не відповідає (табл. 8). З погляду фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води (табл. 9) у артезіанській воді свердловини в с. Барабой є відхилення по натрію і калію і по мінералізації. Вживання такої води без обробки загрожує споживачам гіпертензією, а також сечокам'яною хворобою та порушення стану водно-солевого обміну людини [32].

Для установлення придатності досліджуваної води для централізованого питного водопостачання було проаналізовано відповідність гідрохімічних показників артезіанської води у свердловині с. Барабой вимогам [30] (табл. 10). Виявлено, що майже по всім показникам переважає I клас якості води (тобто, «відмінна, бажана

Таблиця 7 – Гідрохімічні показники свердловини № 2097

Показники	Паспорт свердловини (09.07.1965)	Паспорт р. Барабой (1991 р.)	Дані ОДЕКУ (28.02.2016)
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	3,0	3,8	3,83
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	160	-	109
Ca ²⁺ , мг/дм ³	44	-	17
Mg ²⁺ , мг/дм ³	10	-	36,7
Сухий залишок, мг/дм ³	580	400-1300	571
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	111	-	12,5
Cl ⁻ , мг/дм ³	120	-	124
NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	-	сліди	0,065
NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	-	сліди	2,79
NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	-	-	0,663
PO ₄ ³⁻ , мгP/дм ³	-	-	0,202

Таблиця 8 – Відповідність артезіанської води свердловини № 2097 господарсько-питним вимогам ДСанПіН 2.2.4.-171-10.

Показники	Нормативи для питної води з колодязів та каптажів джерел	Паспорт свердловини (09.07.1965)	Дані ОДЕКУ (28.02.2016)
Загальні колі форми, УО/100см ³	<1	<3	-
Запах, бали	≤3	0	0
Мутність, н.о.к.	≤3,5	0	0
Ph	6,5-8,5	7,7	7,7
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	≤7,0	3,0	3,83
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	≤500	111	12,5
Сухий залишок, мг/дм ³	≤1500	580	571
Cl ⁻ , мг/дм ³	≤350	120	124
NO ₂ ⁻ , мгN/дм ³	≤3,3	-	0,065
NO ₃ ⁻ , мгN/дм ³	≤50	-	2,79
NH ₄ ⁺ , мгN/дм ³	≤2,6	-	0,663

Таблиця 9 – Оцінка фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води свердловини № 2097 у с. Барабой

Показники	Нормативи	09.07.1965	28.02.2016
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	1,5-7,0	3,0	3,83
Na ⁺ +K ⁺ , мг/дм ³	4-40	160	109
Ca ²⁺ , мг/дм ³	25-75	44	17
Mg ²⁺ , мг/дм ³	10-50	10	36,7
Сухий залишок, мг/дм ³	200-500	580	571

якість»). Але за показником мінералізації був установлений 2 клас якості води («добра, прийнятної якості»), а по магнію якість води у сучасності (2016 р.) дійшла до 4 класу – («посередня, обмежено придатна, небажаної якості»).

6. ВИСНОВКИ

Дослідження якості підземних вод в басейні р. Барабой Одеської області, у межах якого на протязі багатьох десятиліть проводиться донорське зрошування сільськогосподарських масивів водами р. Дністер, показало існування значних

змін. Через фільтрацію додаткових вод, які надійшли до басейну через зрошувальну мережу, піднявся рівень ґрунтових вод і сформувалися джерела їх виходу на берегах річки та водойм. Установлене зростання вмісту хлору та токсичності ґрунтових вод по довжині водозбору.

На всіх станціях виявлене забруднення по сполукам азоту, головним іонам, яке виражається у великих значеннях кратності перевищень рибогосподарських норм ГДК. Це вказує на шкідливість впливу ґрунтових вод, які розвантажуються у водойми, на якість води і ризик нане-

Таблиця 10 - Оцінка відповідності вод свердловини № 2097 у с. Барабой вимогам ДСТУ 4808:2007 (класи якості води)

Показники	09.07.1965	28.02.2016
Запах, бали	1	1
Забарвленість, °	1	1
Мутність, н.о.к.	1	1
Мінералізація, мг/дм ³	2	2
Загальна твердість, мг-екв/дм ³	1	1
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	1	1
Cl ⁻ , мг/дм ³	1	1
Mg ²⁺ , мг/дм ³	2	4

сення збитків існуючим рибним господарствам.

Отримані результати оцінки якості ґрунтових вод на досліджуваних станціях дають підстави розглядати ці джерела як важливий фактор впливу на гідрохімічний режим і якість вод річки Барабой та її водойм, який необхідно врахувати при розробці заходів по оптимізації сучасного гідроекологічного стану річки Барабой в цілому. Якщо висока мінералізація та значний вміст у воді головних іонів можуть бути пояснені природними чинниками, то висока біогенна забрудненість ґрунтових вод є наслідком надходження до водоносних горизонтів промислових, побутових і зворотних вод з сільськогосподарських масивів. Забруднення носить не тимчасовий, а постійний характер.

Порівняльний аналіз даних по свердловині № 2097, які відносяться до 1965 та 2016 років, дозволив зробити висновки про погіршення якості її води через появу у хімічному складі води нітритів, нітратів, амонію та фосфатів, які у минулому не спостерігались. За санітарно-хімічними показниками вода відповідає умовам нормативного документу, але за епідеміологічними (колі форми) – не відповідає. З погляду фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води у артезіанській воді свердловини в с. Барабой є відхилення по натрію, калію, мінералізації. Оцінка придатності досліджуваної води для централізованого питного водопостачання згідно [30] показала, що по магнію якість води відноситься до 4 класу – («посередня, обмежено придатна, небажаної якості»). Вживання вод з підвищеним вмістом магнію загрожує можливому розвитку таких хвороб як: синдром дихальних паралічів і серцевої блокади та шлунково-кишкового тракту. Тому не рекомендовано застосовувати досліджувану свердловину в якості джерела централізованого питного водопостачання для громади с. Барабой без вживання комплексу технологічних заходів щодо поліпшення

складу води. Поліпшення складу води і використання свердловини як джерела централізованого питного водопостачання може бути забезпечене доочищенням води шляхом модернізації свердловини (встановлення відповідного обладнання для знезараження та обробки води) або альтернативою може бути застосування водоспоживачами локальних систем для доочистки води. Для оброблення води потрібне її знезараження із застосуванням одного з таких реагентів: хлор, гіпохлорит, діоксин хлору, хлорамін, а також можливе знезараження ультрафіолетовим опроміненням у комбінації з O₃, H₂O₂, оброблення озоном і фільтрування з коагулюванням. У перспективі має бути передбаченою очистка фільтруванням через біологічно активоване вугілля або через повільні фільтри, а також очищення і знезараження іншими реагентами і способами, дозволеними СЕС МОЗ України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гопченко Е. Д., Лобода Н. С. Водные ресурсы северо-западного Причерноморья (в естественных и нарушенных хозяйственной деятельностью условиях). Киев: КНТ, 2005. 188 с.
2. Орошение на Одещине. Почвенно-экологические аспекты / И. Н. Гоголев, Р. А. Байер, А. Г. Кулибабин и др.; ред.: И. Н. Гоголев, В. Г. Друзьяк. Одесса: Ред. изд. отдел, 1992. 436 с.
3. Природа Одесской области. Ресурсы, их рациональное использование и охрана / под ред. Г. И. Швевса. Киев: Вища школа, 1979. 144 с.
4. Яров Я. С., Лобода Н. С. Шляхи вирішення задач оцінки гідроекологічного стану малих водотоків північно-західного Причорномор'я (на прикладі р. Барабой). *Тези доповідей Першого Всеукраїнського гідрометеорологічного з'їзду*, 22-23.03.2017. Одеса: ТЕС, 2016. С. 185-187.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер и расчеты основных характеристик их режима. Вып. 1. Западная Украина и Молдавия / под ред. М. С. Каганера. Ленинград: Гидрометеоздат, 1978. 498 с.
6. Паспорт реки Барабой / Гос. комит. водн. хоз. Украины. Одесса, 1992. 180 с.
7. Пилипенко Ю. В. Екологія малих водосховищ степу України: монографія. Херсон: Олди-плюс, 2007. 303 с.
8. Лозовицький П. С. Водні та хімічні меліорації ґрунтів: навчальний посібник. Київ: Видавничо-поліграфічний центр. Київського ун-ту, 2010. 276 с.

9. Шевченко Т. О., Приходько В. Ю. Оцінка придатності для зрошення води зі штучних водосховищ півдня Одеської області. *Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів : зб. матеріалів X Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків, 2015. С. 94-96.
10. Гидрохимическое картирование с применением вероятностно-статистических методов / под ред. В. И. Пеляшенко. Киев : Вища школа. Головное издательство, 1979. 100 с.
11. Актуальні проблеми гідрометеорології та охорони навколишнього середовища. Звіт про НДР (заключний). ДР № 0010U008225 / наук. керів. Ю. С. Тучковенко; Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2012. 295 с.
12. Математичне моделювання гідроекологічного стану водних об'єктів України. Звіт про НДР (заключний). ДР № 0104U004024 / наук. керів. Н. С. Лобода; Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2011. 184 с.
13. Гідроекологічний стан річок та водойм України в умовах антропогенного впливу. Звіт про НДР (заключний). ДР № 0113U007992 / наук. керів. Н. С. Лобода; Од. держ. екол. ун-т. Одеса, 2017. 340 с.
14. Яров Я. С. Гідрохімічний режим та екологічний стан річки Барабой. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2010. № 7. С. 200-210.
15. Захарова М. В., Яров Я. С. Залежності між гідрохімічними показниками води у річці Барабой з використанням кореляційного аналізу. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2012. Вип 13. С. 165-170.
16. Даус М. Є., Яров Я. С. Особливості гідрохімічного режиму річки Барабой. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 143-152.
17. Яров Я. С. Екологічна оцінка якості води річки Барабой за відповідними категоріями. *Український гідрометеорологічний журнал*. 2012. № 10. С. 195-206.
18. Осадчий В. С., Блажко А. П. Екологічне оцінювання стану поверхневих вод в басейні р. Барабой. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. Вип. 64. С. 171-177.
19. Кулибабин А. Г. Экономический анализ современных проектов оптимизации водоподачи и водораспределения в орошении. Одесса : Консалтинг, 1997. 97 с.
20. Порохова І. В., Яров Я. С. Якість вод Барабойського водосховища за даними спеціальних спостережень. *Матеріали XVI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса : ТЕС, 2017. С. 80-81.
21. Холостенко В. П., Яров Я. С. Якість вод Санжейського водосховища за даними спеціальних спостережень. *Матеріали XVI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса : ТЕС, 2017. С. 81-82.
22. Таранюк О. С., Яров Я. С. Оцінка впливу Санжейського водосховища на якість вод річки Барабой. *Матеріали XVI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ*. Одеса : ТЕС, 2017. С. 82-84.
23. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ : Ніка центр, 2001. 264 с.
24. Паламарчук М. М., Закорчевна Н. Б. Водний фонд України. Київ : Ніка-Центр, 2001. 392 с.
25. Коригування правил експлуатації водосховища комплексного призначення. Водогосподарський паспорт і правила експлуатації Барабойського водосховища в Біляївському районі Одеської області / РНЦВП «Фобіус». Одеса, 2010. 76 с.
26. Правила експлуатації Санжейського водохранилища. (Корректировка 2011) / Государственный комитет Украины по водному хозяйству; Государственный проектно-изыскательский институт «Укрюжгипроводхоз». Одесса, 2011. 66 с.
27. Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод / за ред. В. Д. Романенка. Київ, 2006. 435 с.
28. Набиванець Б. Й., Осадчий В. І., Осадча Н. М., Набиванець Ю. Б. Аналітична хімія поверхневих вод. Київ : Наукова думка, 2007. 457 с.
29. ДсанПІН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною. Київ : Міністерство юстиції України, 2010. 36 с.
30. ДСТУ 4808:2007. Джерела централізованого водопостачання. «Гігієнічні та екологічні вимоги щодо якості води і правила вибирання». Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 2007. 36 с.
31. Паспорт артезианської скважини №2097 / ГПП «Причерноморгеология». Одеса, 1965. 8 с.
32. Романенко В. Д. Основы гидроэкологии : учебник для студентов высших учебных заведений. Киев : Генеза, 2004. 664 с.

REFERENCES

1. Gopchenko, E.D., Loboda, N.S. (2005). *Vodnye resursy severo-zapadnogo Prichernomor'ya (v estestvennykh i narushennykh khozyaystvennoy deyatel'nosti'u usloviyakh* [The water resources of the north-western Black Sea coast (in natural and economic conditions violated by economic activity)]. Kiev : KNT Publ. (in Russ.)
2. Gogolev, I.N., Druzyak, V.G. (Eds). (1992). *Oroshenie na Odesshchine. Pochvenno-ekologicheskie aspekty* [Irrigation in the Odessa region. Soil-ecological aspects]. Odessa : Editor. and Publ. Department (in Russ.)
3. Shvebs, G.I. (Ed.). (1979). *Priroda Odesskoy oblasti. Resursy, ikh ratsional'noe ispol'zovanie i okhrana* [The nature of the Odessa region. Resources, their rational use and protection]. Kiev : High School Publ. (in Russ.)
4. Yarov Ya.S., Loboda N.S. (2016). [Ways of solving the problems of estimation of the hydroecological state of small watercourses of the northwestern Black Sea region (for example, Baraboy river)]. *Tezy dopovidei Pershoho Vseukrainskoho hidrometeorologichnogo zizdu* [Theses of reports of the First All-Ukrainian Hydrometeorological Congress], 22-23.03.2017. Odessa : TES Publ., pp. 185-187. (in Ukr.)
5. Kaganer, M.S. (Ed.). (1978). *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Opisanie rek i ozer i raschety osnovnykh kharakteristik ikh rezhima. Vyp. 1. Zapadnaya Ukraina i Moldaviya* [Resources of surface waters of the USSR. Description of rivers and lakes and calculations of the main characteristics of their regime. Issue 1. Western Ukraine and Moldova]. Leningrad : Gidrometeoizdat Publ. (in Russ.)
6. State Committee for Water Management of Ukraine (1992). *Pasport reki Baraboy* [The passport of the river Baraboy]. Odessa. (in Russ.)
7. Pilipenko, Yu.V. (2007). *Ekolohiia malykh vodoskhovyshch stepu Ukrainy* [Ecology of small reservoirs of Ukraine's steppe]. Kherson : Oldi Plus Publ. (in Ukr.)
8. Lozovytskyi, P.S. (2010). *Vodni ta khimichni melioratsii gruntiv* [Water and chemical soil reclamation]. Kyiv : Kyiv University Publ. (in Ukr.)
9. Shevchenko, T.O., Prikhodko, V.Yu. (2015). [Assessment of suitability for irrigation of water from artificial reservoirs of the south of the Odessa region]. *Zb. Materialiv X Mizhnarodnoi nauково-praktychnoi konferentsii "Ekolohopravovi ta ekonomichni aspekty ekolohichnoi bezpeky rehioniv"* [Materials of the 10th International Scientific and Practical Conference "Ecological and Legal and Economic Aspects of Environmental Safety of the Regions"]. Kharkiv, pp. 94-96. (in Ukr.)
10. Pelyashenko, V.I. (Ed.). (1979). *Gidrokhimicheskoe kartirovanie s primeneniem veroyatnostno-statisticheskikh metodov* [Hydrochemical Mapping Using Probabilistic-Statistical Methods]. Kiev : High School Publ. (in Russ.)
11. Tuchkovenko, Yu.S. (Scient. chief). (2012). Aktualni problem hidrometeorologii ta okhorony navkolyshniho sredovyscha [Actual problems of hydrometeorology and environment protection]. *Research Report (final). SR №0010U008225*. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr.)
12. Loboda, N.S. (Scient. chief). (2011). *Matematychnе modelivannia hidroekolohichnogo stanu vodnykh ob'ektiv Ukrainy : Zvit pro NDR. DR №0104U004024* [Mathemati-

- cal modeling of the hydroecological state of water objects of Ukraine : Research Report (final). SR 0104U004024]. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr.)
13. Loboda, N.S. (Scient. chief). (2017). *Hydroekologichnyi stan richok ta vodoim Ukrainy v umovakh antropohennoho vplyvu : Zvit pro NDR. DR №0113U007992* [Hydroecological state of rivers and reservoirs of Ukraine in the conditions of anthropogenic influence : Research report (final). SR 0113U007992]. Odessa State Environmental University. Odessa. (in Ukr.)
 14. Yarov, Ya.S. (2010). [Hydrochemical regime and ecological state of the Baraboy river]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 07, 200-210. (in Ukr.)
 15. Zakharova, M.V., Yarov, Y.S. (2012). [The relationship between the hydrochemical parameters of water in the Baraboy River using the correlation analysis]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu* [Bulletin of Odessa state environmental university], 13. 165-170. (in Ukr.)
 16. Daus, M.Ye., Yarov, Ya.S. (2012). [Features of the hydrochemical regime of the Baraboy River]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 10, 143-152. (in Ukr.)
 17. Yarov, Ya.S. (2012). [Environmental assessment of the water quality of the Baraboy River according to the relevant categories]. *Ukrains'kij gidrometeorologichnij zhurnal* [Ukrainian hydrometeorological journal], 10, 195-206. (in Ukr.)
 18. Osadchyi, V.S., Blazhko, A.P. (2016). [Ecological assessment of surface waters in the basin of the Baraboy river]. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of the Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture], 64, 171-177. (in Ukr.)
 19. Kulibabin, A.G. (1997). *Ekonomicheskii analiz sovremennykh proektov optimizatsii vodopodachi i vodoraspredeleniya v oroshenii* [Economic analysis of modern projects to optimize water supply and water distribution in irrigation]. Odessa : Consulting Publ. (in Russ.)
 20. Porokhova, I.V., Yarov, Ya.S. (2017). [The quality of the waters of the Baraboys Reservoir according to the data of special observations]. *Materialy XVI naukovoï konferentsii molodykh vchenykh ODEKU* [Materials of the 16th scientific conference of young scientists ODEKU]. Odessa : TES Publ., pp. 80-81. (in Ukr.)
 21. Kholostenko, V.P., Yarov, Ya.S. (2017). [The quality of the waters of the Sanzhskys Reservoir according to the data of special observations]. *Materialy XVI naukovoï konferentsii molodykh vchenykh ODEKU* [Materials of the 16th scientific conference of young scientists ODEKU]. Odessa : TES Publ., pp. 81-82. (in Ukr.)
 22. Taranyuk, O.S., Yarov, Y.S. (2017). [An assessment of the influence of the Sanzhskys Reservoir on the quality of the waters of the Baraboy River]. *Materialy XVI naukovoï konferentsii molodykh vchenykh ODEKU* [Materials of the 16th scientific conference of young scientists ODEKU]. Odessa : TES Publ., pp. 82-84. (in Ukr.)
 23. Snizhko, S.I. (2001). *Otsinka ta prohozuvannia yakosti pryrodnykh vod* [Estimation and prediction of natural water quality]. Kyiv : Nika Center Publ. (in Ukr.)
 24. Palamarchuk, M.M., Zakorchevna, N.B. (2001). *Vodnyi fond Ukrainy* [Water Fund of Ukraine]. Kyiv : Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
 25. Regional Scientific Center for Water Policy «Phoebus». (2010). *Korehuvannia pravyl ekspluatatsii vodoshhovnyshcha kompleksnoho pryznachennia. Vodohospodarskyi passport i pravyla ekspluatatsii Baraboiskoho vodoshhovnyshcha v Biliaivskomu raioni Odeskoi oblasti* [Adjustment of the rules of operation of the reservoir of the complex destination. The water managements passport and the rules of exploitation of the Baraboys reservoir in the Bilyaivsky district of the Odessa region]. Odessa. (in Ukr.)
 26. State Committee of Ukraine for Water Management & State Design and Research Institute «Ukryuhzgirovodkhoz». (2011). *Pravila ekspluatatsii Sanzhetskoho vodokhranilishcha. Korrekt. 2011* [Rules for operating the Sanzhsky Reservoir. Correct. 2011]. Odessa. (in Russ.)
 27. Romanenko, V.D. (2006). *Metody hidroekologichnykh doslidzhen poverkhnevnykh vod* [Methods of hydroecological studies of surface water]. Kyiv. (in Ukr.)
 28. Nabivanets, B.Y., Osadchii, V.I., Osadcha, N.M., Nabivanets, Y.B. (2007). *Analitichna khimiia poverkhnevnykh vod* [Analytical chemistry of surface water]. Kyiv : Naukova dumka. (in Ukr.)
 29. Ministry of Justice of Ukraine. (2010). *DsanPIN 2.2.4-171-10 : Hihienichni vymohy do vody pytnoi, pryznachenoï dlia spozhyvannia liudynoiu* [State sanitary rules and regulations 2.2.4-171-10 : Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption]. Kyiv. (in Ukr.)
 30. State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2007). *DSTU 4808:2007 : Dzherela tsentralizovanoho vodopostachannia. Hihienichni ta ekologichni vymohy shchodo yakosti vody i pravyla vybyrannia* [State standards of Ukraine 4808:2007 : Sources of centralized water supply. Hygienic and environmental requirements for water quality and selection rules]. Kyiv. (in Ukr.)
 31. SGS «Prichernomgeologiya». (1965). *Pasport artezianskoï skvazhiny №2097* [The passport of an artesian well no. 2097]. Odessa. (in Russ.)
 32. Romanenko, V.D. (2004). *Osnovy gidroekologii : uchebnyk dlya studentov vysshikh uchebnykh zavedeniy* [Fundamentals of Hydroecology : Textbook for students of higher educational institutions]. Kiev : Geneza Publ. (in Russ.)

INFLUENCE OF LONG-TERM DONOR IRRIGATION ON QUALITY OF UNDERGROUND WATER IN THE SOUTH-STEPPE ZONE OF UKRAINE (CASE OF THE BARABOY RIVER, ODESSA REGION)

Ya. S. Yarov

N. S. Loboda, Dr of Geogr. Sci.

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, slavikyarov82@gmail.com*

The article presents the results of in-situ studies of the chemical composition and quality of underground (subsoil and artesian) water within the basin of the Baraboy River where irrigation of agricultural areas using the water resources of the Dniester River has been carried out since 1967. These water resources are fed into the network of reservoirs and channels of the Lower Dniester Irrigation System. Filtration losses of water from irrigation areas and water supply and sewage systems of settlements replenish the reserves of underground (subsoil) waters increasing the ingress therein of dissolved substances from the sedimentary rocks which leads to increase in the concentrations of certain ingredients included in chemical composition of surface and underground

waters within the basin of the Baraboy River. It is shown that groundwater is enriched with nitrogen compounds containing high concentrations of chlorides, sulfates, calcium and magnesium. Mineralization, toxicity and degree of contamination of underground water increase along the length of the Baraboy River. The chemical composition of the groundwater coming to the riverbed of the Baraboy River does not meet the fishing requirements and worsen the water quality of fish farming water bodies. The results of assessment of groundwater quality at the stations under study give reason to consider these sources of groundwater as an important factor affecting the hydrochemical regime and the quality of the water of the Baraboy River and its reservoirs which should be taken into account when developing the recommendations for optimization of the current hydroecological state of the Baraboy River as a whole. If high mineralization and significant content of principle ions in groundwater can be explained by natural factors, the high level of contamination by biogenic substances is resulted from entering of industrial, domestic and return waters from irrigated areas into aquifers. Such contamination is not a temporary but a permanent phenomenon. In terms of magnesium content artesian waters used for utility and drinking water supply are recognized as «mediocre, suitable with limitations and having undesirable quality». In addition, after 50 years of operation compounds of nitrogen and phosphorus were found in artesian water, and this was not a case in 1960s of the last century. A conclusion on the negative effect of long-term donor irrigation on the quality of underground water and on the need for additional treatment of water of artesian aquifers of the Sarmatian Stage used for centralized water supply was made.

Keywords: donor irrigation, filtration, underground water, water quality indicators, degree of contamination.

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ДОНОРСКОГО ОРОШЕНИЯ НА КАЧЕСТВО ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЮГО-СТЕПНОЙ ЗОНЕ УКРАИНЫ (НА ПРИМЕРЕ Р.БАРАБОЙ, ОДЕССКАЯ ОБЛАСТЬ)

Я. С. Яров

Н. С. Лобода д-р географ. наук

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, slavikyarov82@gmail.com*

В работе представлены результаты натурных исследований химического состава и качества подземных (грунтовых и артезианских) вод в бассейне реки Барабой, где с 1967 года производится орошения сельскохозяйственных массивов за счет вод реки Днестр. Эти воды подаются в сеть водохранилищ и каналов Нижнеднестровской оросительной системы. Фильтрационные потери вод из оросительных массивов и водопроводно-канализационных систем населенных пунктов пополняют запасы подземных (грунтовых) вод, увеличивая попадания в них растворенных веществ из толщ осадочных горных пород, что приводит к росту концентраций отдельных ингредиентов химического состава в поверхностных и подземных водах в бассейне реки Барабой. Показано, что грунтовые воды обогащены соединениями азота, содержат высокие концентрации хлоридов, сульфатов, кальция и магния. Минерализация, токсичность и степень загрязнения подземных вод увеличиваются по длине р.Барабой. Грунтовые воды, которые попадают в русло реки Барабой, по своему химическому составу не удовлетворяют требованиям рыбного хозяйства, ухудшая качество вод в водоемах, где ведется рыбоводство. Артезианские воды, которые используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения, признаны «посредственно, ограничено пригодными, нежелательного качества» по содержанию магния. Кроме того, после 50 летней эксплуатации в артезианских водах найдены соединения азота и фосфора, которые в 60-е годы прошлого столетия не выявлялись. Сделан вывод о негативном влиянии длительного доносорого орошения на качество подземных вод и необходимость дополнительной обработки воды артезианских водоносных горизонтов сарматского яруса, которые используются для централизованного водоснабжения.

Ключевые слова: доносорого орошение, фильтрация, подземные воды, показатели качества воды, степень загрязнения.

*Подання до редакції : 03. 04. 2018
Надходження остаточної версії : 15. 05. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018*

УДК 551.468.4

**МОДЕЛЬ ЭВТРОФИКАЦИИ МОРСКИХ И ЛИМАННЫХ ЭКОСИСТЕМ
СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ****Ю. С. Тучковенко, д-р геогр. наук
О. А. Тучковенко***Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, tuch2001@ukr.net*

Изложена математическая структура численной математической модели эвтрофикации вод. Модель построена на базе численной нестационарной гидротермодинамической модели МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) дополненной химико-биологическим блоком, который разработан в соответствии с принципами построения модели качества вод RCA-HydroQual с авторскими модификациями. Представлены результаты калибровки и верификации 1-D варианта модели для случая Тилигульского лимана северо-западной части Черного моря. Сделан вывод о том, что модель позволяет отобразить основные особенности годовой динамики гидроэкологических характеристик лимана в период вегетации фитопланктона, в частности условия, определяющие процессы первичного продуцирования, биохимического окисления органического вещества, регенерации минеральных форм биогенных элементов. Использование модели для оценки влияния углубления соединительного канала «лиман-море» на гидроэкологические характеристики Тилигульского лимана показало, что усиление водообмена с морем через канал будет способствовать уменьшению продукции фитопланктона, концентрации органического вещества в водах лимана и, в конечном итоге, приведет к улучшению его трофического статуса. В дальнейшем модель предполагается использовать для оценки эффективности различных сценариев управления гидроэкологическим режимом лиманов северо-западного Причерноморья с учетом изменения климатических условий.

Ключевые слова: : эвтрофикация вод, численное моделирование, Тилигульский лиман, Черное море.

1. ВВЕДЕНИЕ

Эвтрофикацией или эвтрофированием называют процесс увеличения продуцирования органического вещества в водоеме вследствие обогащения водной экосистемы питательными (биогенными) веществами. Этот процесс ведет к увеличению общего содержания органического вещества в водоеме. Следствием процесса эвтрофикации на экосистемном уровне являются: изменение химического режима акватории, зарастание водорослями, возникновение дефицита кислорода (гипоксии) либо полное его исчезновение в придонных слоях воды, резкое ухудшение условий обитания для высших гидробионтов, гибель гидробионтов в период заморозов, нарушение сбалансированности продукционно-деструкционных процессов, жизнедеятельности водной флоры и фауны, нестабильность динамики функционирования экосистемы, ее экологического состояния, продуктивности, условий для рыбоводства.

Различают антропогенное эвтрофирование, которое обусловлено возрастанием потоков биогенных веществ в биосфере в результате хозяйственной деятельности человека, и естественное

эвтрофирование, обусловленное многолетним накоплением в водоемах органических и биогенных веществ либо увеличением их концентрации за счет естественных причин, например, уменьшения объема вод вследствие интенсивного испарения.

Проблема эвтрофикации вод является актуальной для большинства «закрытых» лиманов северо-западного Причерноморья, которые отделены от моря перешейками (пересыпями) без постоянно действующих протоков. Эти лиманы, даже в случае искусственного соединения их с морем, имеют низкие показатели по промывке из-за ограниченного обмена с морем, что способствует накоплению в них органики и биогенных веществ. Основные пути стабилизации гидроэкологического режима лиманов северо-западного Причерноморья, водообмен которых с открытым морем ограничен, в условиях изменений климата и современной антропогенной нагрузки изложены в работе [1]. Поскольку условия и факторы формирования гидрологического и гидроэкологического режимов каждого из лиманов специфические, то планирование и реализация природоохранных мероприятий, направ-

ленных на стабилизацию и улучшение их гидроэкологического состояния, с учетом климатических изменений и антропогенного воздействия, требуют индивидуального научного обоснования, на котором должны основываться планы водного управления каждым из лиманов. Для объективной оценки эффективности этих мероприятий и прогнозирования последствий их реализации, как правило, используются численные прогностические математические модели.

В представленной работе рассматривается одна из таких моделей, в которой описывается динамика химико-биологических показателей качества вод, определяющих степень развития эвтрофикации водных экосистем, уровень их трофности.

Цель работы заключается в изложении математической структуры и результатов апробации численной математической модели эвтрофикации вод морских и лиманных экосистем северо-западного Причерноморья на примере Тилигульского лимана.

Тилигульский лиман расположен на украинской части побережья северо-западной части Черного моря (46° 39,3' - 47° 05,3' с.ш., 30° 57,3' - 31° 12,7' в.д.) (рис. 1). Лиман представляет собой затопленную морскими водами долину реки Тилигул. Площадь зеркала водной поверхности лимана 129 млн. м², объем вод – 693 млн. м³. Площадь водосборного бассейна лимана – 5420 км² [2]. Основная часть пресного стока в лиман (более 90 %) поступает от р. Тилигул (16,9 млн. м³/год). Лиман отделен от моря естественной песчаной пересыпью, в которой прорыт искусственный канал длиной 3,3 км, соединяющий лиман с морем. В XXI столетии канал функционировал не регулярно, в течение 25-40 суток весной и осенью – после расчистки первых сотен метров морской части канала от песчаных наносов и до закрытия его в результате транспорта песчаных наносов из прибрежной зоны моря.

Северная часть лимана, куда впадает р. Тилигул, мелководная с преобладающими глубинами 2-4 м, а в центральной и южной частях лимана расположены впадины с преобладающими глубинами 10-16 м, которые разделены мелководной перемычкой [2].

Гидроэкологические проблемы Тилигульского лимана детально изложены в [2, 3]. Одной из главных проблем является эвтрофикация его вод. Экосистема лимана не сбалансирована по содержанию основных биогенных элементов – азоту и фосфору. До настоящего времени лиман фактически представлял собой непроточный

водоем, в котором на протяжении многих лет происходило накопление минеральных и органических соединений фосфора. Значительные запасы соединений биогенных элементов, органического вещества аккумулированы в донных отложениях лимана. Первичное продуцирование органического вещества в лимане сдерживается относительно низкими концентрациями минерального азота. Поэтому дополнительное его поступление в фотический слой как из внешних (со стоком с водосбора, морскими водами), так и внутренних (донных отложений, увеличении скорости минерализации органического вещества) источников может приводить к «вспышкам» биомассы фитопланктона в летний период года и, как следствие, усилению эвтрофикации, развитию дефицита кислорода в воде и возникновению заморных явлений. В разных районах лимана гибель рыб наблюдалась летом 1999, 2000, 2001, 2006, 2007, 2010, 2013 гг.

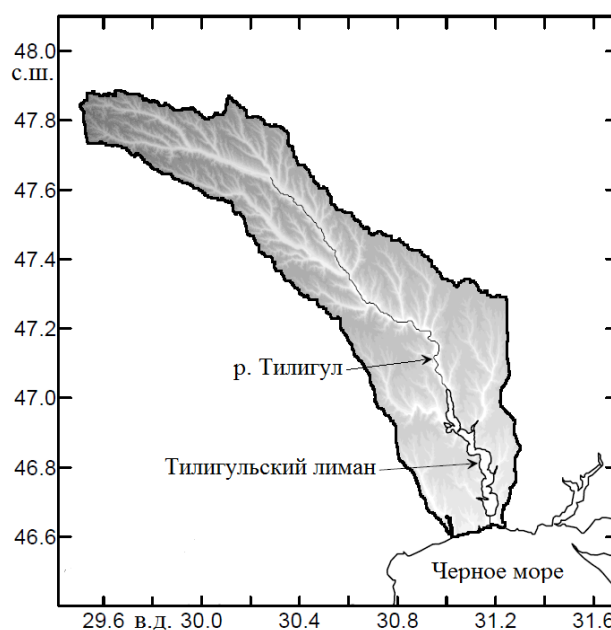


Рис. 1 – Географическое расположение Тилигульского лимана и его водосборного бассейна.

2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА МОДЕЛИ

Модель эвтрофикации построена на базе трехмерной численной нестационарной гидротермодинамической модели МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) [4], дополненной оригинальным химико-биологическим блоком. Подробное описание модели в старой версии, с упрощенной структурой химико-биологического блока, а также результаты ее использования для решения прикладных задач, приведены в работах [5-7].

В новой, представляемой в данной работе версии модели, структура ее химико-биологического блока усложнена в соответствии с принципами построения известной модели качества вод RCA-HydroQual [8]. В частности, в модель включены уравнения динамики не только лабильной, но и устойчивой к биохимическому окислению и минерализации фракций растворенного и взвешенного органического вещества, модифицированы уравнения динамики компонент химико-биологического блока.

Химико-биологический блок модели включает описание динамики в локальной точке пространства следующих гидроэкологических переменных: биомасса фитопланктона (X1), устойчивый к минерализации органический фосфор во взвешенной (детритной) и растворенной фракциях (X2, X3), лабильный органический фосфор во взвешенной и растворенной фракциях (X4, X5), растворенный минеральный фосфор (X6) – фосфаты P-PO₄, устойчивый органический азот во взвешенной и растворенной фракциях (X7, X8), лабильный органический азот во взвешенной и растворенной фракциях (X9, X10), аммонийный азот N-NH₄ (X11), нитратный (+ нитритный) азот N-NO₃ (X12), взвешенная и растворенная фракции устойчивого к биохимическому окислению органического углерода (X13, X14), взвешенная и растворенная фракции лабильного органического углерода (X15, X16), растворенный в воде кислород (X17). Диаграмма связей между компонентами химико-биологического блока показана на рис. 2.

Уравнения химико-биологического блока модели записываются следующим образом.

Биомасса фитопланктона X_1 , мгС·дм⁻³,

$$\frac{dX_1}{dt} = [G_p - k_{pr}(T) - k_{grz}(T)]X_1, \quad (1)$$

$$G_p = G_p^{max} \theta_P^{(T-20)} G_{pI}(I) G_{pNP}(N_{min}, P_{min}), \quad (2)$$

где $G_{pI}(I) = \frac{2.72 f_d}{\chi \Delta z} (\exp(R_1) - \exp(R_2))$,

$$R_1 = -\frac{I_0}{I_{opt}} \exp(-\chi(z_s + \Delta z)),$$

$$R_2 = -\frac{I_0}{I_{opt}} \exp(-\chi z_s);$$

$$\chi = \chi_0 + 0.0088 C_{chla} + 0.054 C_{chla}^{0.67},$$

$$G_{pNP}(N_{min}, X_6) = \min \left\{ \frac{N_{min}}{K_{11+12} + N_{min}}, \frac{X_6}{K_6 + X_6} \right\},$$

$$k_{pr}(T) = r_g G_p + r_b \theta_{pr}^{(T-20)}; \quad (3)$$

$$k_{grz}(T) = k_{grz}(20^\circ C) \theta_{grz}^{(T-20)}. \quad (4)$$

Здесь t – время, сут; T – температура воды, °C; G_p – удельная скорость роста, сут⁻¹;

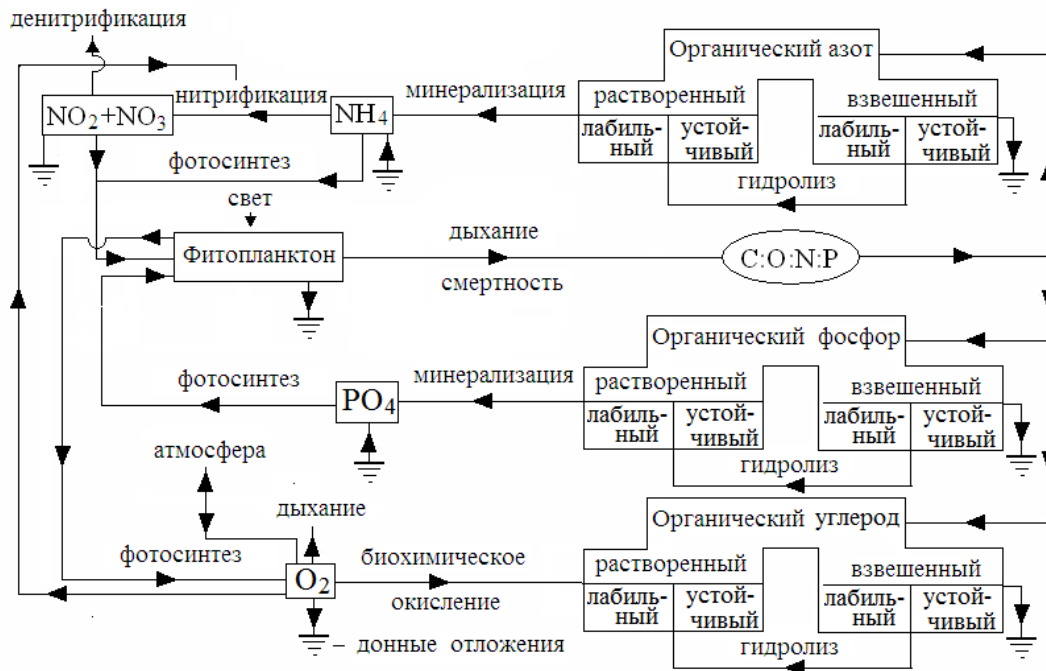


Рис. 2 – Структурная диаграмма химико-биологического блока модели эвтрофикации вод

k_{pr} – удельная скорость метаболизма (дыхания), сут⁻¹; k_{grz} – суммарная удельная скорость выедания и естественной смертности фитопланктона, сут⁻¹; G_p^{max} – максимальная удельная скорость роста фитопланктона, сут⁻¹; θ_p – коэффициент влияния температуры на скорость роста фитопланктона; G_{pI} , G_{pNP} – коэффициенты, уменьшающие максимально возможную удельную скорости роста фитопланктона при неоптимальных условиях освещения или недостатке минеральных форм биогенных веществ, соответственно, (принимают значения от 0 до 1); I_0 – средний за световой день поток ФАР, проникающий через поверхность моря, Вт·м⁻²; I_{opt} – оптимальная для фотосинтеза облученность, Вт·м⁻²; f_d – доля светового дня в сутках ($0 \leq f_d \leq 1$); I_z – облученность на глубине z , Вт·м⁻²; χ – интегральный коэффициент ослабления интенсивности ФАР с глубиной, м⁻¹; χ_0 – коэффициент экстинкции, характерный для вод в открытой части моря; $C_{chla} = \alpha_{ChlaC} X_1$ кон-

центрация хлорофилла «а» в фитопланктоне, мг(хл.«а»)·м⁻³; α_{ChlaC} – соотношение между содержанием хлорофилла «а» и органического углерода в клетках фитопланктона, мг(хл.«а»)·мгС⁻¹; K_6 – константы полунасыщения скорости процесса утилизации фитопланктоном минеральных форм азота и фосфора, мгN·дм⁻³ и мгP·дм⁻³, соответственно; r_g – доля продукции фитопланктона, расходуемая на энергетическое обеспечение фотосинтеза, сут⁻¹; r_b – удельная скорость основного метаболизма фитопланктона при температуре 20°C, сут⁻¹; θ_{pr} – коэффициент влияния температуры на скорость метаболизма; $k_{grz}(20)$ – суммарная удельная скорость выедания и смертности фитопланктона при температуре 20°C, сут⁻¹; θ_{grz} – коэффициент влияния температуры на скорость выедания и смертности фитопланктона; z_s – расстояние от поверхности воды до верхней границы расчетного слоя воды, м; Δz – толщина расчетного слоя воды, м; $N_{min} = X_{11} + X_{12}$ – растворенный минеральный азот.

Уравнения цикла фосфора.

Устойчивый взвешенный органический фосфор X_2 , мгP·дм⁻³,

$$\frac{dX_2}{dt} = \alpha_{pc} f_{p2} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 - k_{2,4} \theta_{2,4}^{T-20} X_2 \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (5)$$

Лабильный взвешенный органический фосфор X_3 , мгP·дм⁻³,

$$\frac{dX_3}{dt} = \alpha_{pc} f_{p3} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 - k_{3,5} \theta_{3,5}^{T-20} X_3 \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (6)$$

Устойчивый растворенный органический фосфор X_4 , мгP·дм⁻³,

$$\frac{dX_4}{dt} = \alpha_{pc} f_{p4} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 + (k_{2,4} \theta_{2,4}^{T-20} X_2 - k_{4,6} \theta_{4,6}^{T-20} X_4) \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (7)$$

Лабильный растворенный органический фосфор X_5 , мгP·дм⁻³,

$$\frac{dX_5}{dt} = \alpha_{pc} f_{p5} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 + (k_{3,5} \theta_{3,5}^{T-20} X_3 - k_{5,6} \theta_{5,6}^{T-20} X_5) \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (8)$$

Растворенный минеральный фосфор X_6 , мгP·дм⁻³,

$$\frac{dX_6}{dt} = \alpha_{pc} f_{p6} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 + (k_{4,6} \theta_{4,6}^{T-20} X_4 + k_{5,6} \theta_{5,6}^{T-20} X_5) \frac{X_1}{K_1 + X_1} - \alpha_{pc} G_p X_1. \quad (9)$$

В уравнениях цикла фосфора: α_{pc} – соотношение между фосфором и углеродом в органическом веществе, $\text{мгP} \cdot \text{мгC}^{-1}$; $f_{p2}, f_{p3}, f_{p4}, f_{p5}, f_{p6}$ – доли, соответственно, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 в метаболических выделениях, остатках отмерших и выеденных водорослей, причем $\sum_{i=2}^6 f_{pi} = 1$; $k_{2,4}, k_{3,5}$ – удельные скорости гидролиза X_2 и X_3 , соответственно, при

температуре воды 20°C , сут^{-1} ; $k_{4,6}, k_{5,6}$ – удельные скорости минерализации X_4 и X_5 , соответственно, при температуре воды 20°C , сут^{-1} ; $\theta_{2,4}, \theta_{3,5}, \theta_{4,6}, \theta_{5,6}$ – температурные коэффициенты для соответствующих процессов; K_1 – константа полунасыщения, определяющая лимитирующее влияние наличной биомассы фитопланктона на регенерацию минеральных соединений фосфора и азота, $\text{мгC} \cdot \text{дм}^{-3}$.

Уравнения цикла азота.

Устойчивый взвешенный органический азот X_7 , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_7}{dt} = \alpha_{nc} f_{n1} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 - k_{7,9} \theta_{7,9}^{T-20} X_7 \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (10)$$

Лабильный взвешенный органический азот X_8 , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_8}{dt} = \alpha_{nc} f_{n8} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 - k_{8,10} \theta_{8,10}^{T-20} X_8 \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (11)$$

Устойчивый растворенный органический азот X_9 , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_9}{dt} = \alpha_{nc} f_{rdon} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 + (k_{7,9} \theta_{7,9}^{T-20} X_7 - k_{9,11} \theta_{9,11}^{T-20} X_9) \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (12)$$

Лабильный растворенный органический азот X_{10} , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_{10}}{dt} = \alpha_{nc} f_{n10} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 + (k_{8,10} \theta_{8,10}^{T-20} X_8 - k_{10,11} \theta_{10,11}^{T-20} X_{10}) \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (13)$$

Аммонийный азот X_{11} , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_{11}}{dt} = \alpha_{nc} f_{n11} (k_{pr}(T) + k_{grz}(T)) X_1 + (k_{9,11} \theta_{9,11}^{T-20} X_9 + k_{10,11} \theta_{10,11}^{T-20} X_{10}) \frac{X_1}{K_1 + X_1} - \alpha_{nc} \beta_{pn} G_p X_1 - k_{11,12} \theta_{11,12}^{T-20} X_{11} \frac{X_{17}}{K_{nit} + X_{17}}, \quad (14)$$

$$\beta_{pn} = X_{11} \frac{X_{12}}{(K_{phn} + X_{11})(K_{phn} + X_{12})} + X_{11} \frac{K_{phn}}{(X_{11} + X_{12})(K_{phn} + X_{12})}.$$

Нитратный азот X_{12} , $\text{мгN} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_{12}}{dt} = k_{11,12} \theta_{11,12}^{T-20} X_{11} \frac{X_{17}}{K_{nit} + X_{17}} - \alpha_{nc} (1 - \beta_{pn}) G_p X_1 - k_{12,0} \theta_{12,0}^{T-20} X_{12} \frac{K_{den}}{K_{den} + X_{17}}. \quad (15)$$

В уравнениях цикла азота: α_{nc} – соотношение между азотом и углеродом в органическом веществе фитопланктона, $\text{мгN} \cdot \text{мгC}^{-1}$; $f_{n7}, f_{n8}, f_{n9}, f_{n10}, f_{n11}$ – доли $X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}$ в метаболических выделениях, остатках отмерших и выеденных водорослей, причем $\sum_{i=7}^{11} f_{ni} = 1$; $k_{7,9}, k_{8,10}$ – удельные скорости гидролиза X_7 и X_8 при температуре воды 20°C , сут^{-1} ; $k_{9,11}, k_{10,11}$ – удельные скорости минерализации X_9 и X_{10} при температуре воды 20°C , сут^{-1} ; $\theta_{7,9}, \theta_{8,10}, \theta_{9,11}, \theta_{10,11}, \theta_{11,12}$ – температурные ко-

эффициенты соответствующих процессов; K_{nit} – константа полунасыщения, учитывающая лимитирующее влияние содержания растворенного в воде кислорода на процесс нитрификации, $\text{мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$; β_{pn} – доля минерального азота, потребляемая фитопланктоном в форме N-NH_4 ; $k_{12,0}$ – удельная скорость процесса денитрификации при температуре 20°C , сут^{-1} ; $\theta_{12,0}$ – температурный коэффициент процесса денитрификации; K_{den} – константа, учитывающая влияние содержания растворенного в воде кислорода на развитие процесса денитрификации, $\text{мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$.

Уравнения цикла углерода.

Устойчивый взвешенный органический углерод X_{13} , $\text{мгC} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_{13}}{dt} = f_{c13}k_{grz}(T)X_1 - k_{13,15}\theta_{13,15}^{T-20}X_{13} \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (16)$$

Лабильный взвешенный органический углерод X_{14} , $\text{мгC} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_{14}}{dt} = f_{c14}k_{grz}(T)X_1 - k_{14,16}\theta_{14,16}^{T-20}X_{14} \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (17)$$

Устойчивый растворенный органический углерод X_{15} , $\text{мгC} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\frac{dX_{15}}{dt} = f_{c15}k_{grz}(T)X_1 + \left(k_{13,15}\theta_{13,15}^{T-20}X_{13} - k_{15,0}\theta_{15,0}^{T-20}X_{15} \frac{X_{17}}{K_{do} + X_{17}} \right) \frac{X_1}{K_1 + X_1}. \quad (18)$$

Лабильный растворенный органический углерод X_{16} , $\text{мгC} \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\begin{aligned} \frac{dX_{16}}{dt} = & f_{c16}k_{grz}(T)X_1 + \left(k_{14,16}\theta_{14,16}^{T-20}X_{14} - k_{16,0}\theta_{16,0}^{T-20}X_{16} \frac{X_{16}}{K_{16} + X_{16}} \times \frac{X_{17}}{K_{do} + X_{17}} \right) \frac{X_1}{K_1 + X_1} - \\ & - \frac{5}{4} \frac{12}{14} k_{12,0}\theta_{12,0}^{T-20}X_{12} \frac{K_{den}}{K_{den} + X_{17}}. \end{aligned} \quad (19)$$

В уравнениях цикла углерода: α_{oc} – соотношение между кислородом и углеродом в органическом веществе, $\text{мгO}_2 \cdot \text{мгC}^{-1}$; $f_{c13}, f_{c14}, f_{c15}, f_{c16}$ – доли, поступающие, соответственно, в $X_{13}, X_{14}, X_{15}, X_{16}$ в результате отмирания и выедания фитопланктона; $k_{13,15}, k_{14,16}$ – удельные скорости гидролиза X_{13} и X_{14} при температуре 20°C , сут^{-1} ; $k_{15,0}, k_{16,0}$ – удельные скорости биохимического окисления X_{15} и X_{16}

при температуре воды 20°C , сут^{-1} ; K_{do} – константа полунасыщения лимитирования растворенным в воде кислородом процесса биохимического окисления органического вещества, $\text{мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$; K_{16} – константа полунасыщения интенсивности процесса биохимического окисления X_{16} , $\text{мгC} \cdot \text{дм}^{-3}$; $\theta_{13,15}, \theta_{14,16}, \theta_{15,0}, \theta_{16,0}$ – температурные коэффициенты соответствующих процессов.

Растворенный кислород X_{17} , $\text{мгO}_2 \cdot \text{дм}^{-3}$,

$$\begin{aligned} \frac{dX_{17}}{dt} = & \alpha_{oc}\beta_{Pn}G_pB_{ph} + \alpha_{nozс}(1-\beta_{Pn})G_pB_{ph} - \alpha_{oc}k_{pr}(T)X_1 - 2\alpha_{on}k_{11,12}\theta_{11,12}^{T-20}X_{11} \frac{X_{17}}{K_{nit} + X_{17}} - \\ & - \alpha_{oc} \left[k_{15,0}\theta_{15,0}^{T-20}X_{15} + k_{16,0}\theta_{16,0}^{T-20}X_{16} \frac{X_{16}}{K_{16} + X_{16}} \right] \frac{X_1}{K_1 + X_1} \frac{X_{17}}{K_{do} + X_{17}}. \end{aligned} \quad (20)$$

Здесь, α_{on} – соотношение между кислородом и азотом, $\text{мгO}_2 \cdot \text{мгN}^{-1}$, в органическом веществе; $\alpha_{nozс}$ – соотношение между кислородом и углеродом для продукции водорослей на нитратах, $\text{мгO}_2 \cdot \text{мгC}^{-1}$.

Объединение химико-биологической части модели с гидродинамической в единую гидроэкологическую модель эвтрофикации вод осуществляется на основе системы уравнений переноса неконсервативной примеси [5]:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_i}{\partial t} + B_x^{-1} \frac{\partial}{\partial x} \left(B_x u C_i - B_x D_h \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + B_y^{-1} \frac{\partial}{\partial y} \left(B_y v C_i - B_y D_h \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left((w + w_{gi}) C_i - D_v \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) = F_i(\bar{C}, x, y, z, t) + Q_i(x, y, z, t). \end{aligned} \quad (21)$$

Здесь u, v и w – компоненты вектора скорости течений \vec{v} в направлениях x, y, z , соответственно; t – время; \bar{C} – вектор-функция переменных состояния экосистемы ($i = 1, 2, 3, \dots, N$), элементами $C_i(x, y, z, t)$ которой являются концентрации моделируемых компонентов; w_{gi} – скорость гравитационного осаждения взвешенных компонентов; D_x, D_y, D_z – коэффициенты горизонтального и вертикального турбулентного обмена примесью; $Q_i(x, y, z, t)$ – приток i -го вещества из внешних источников (на границах расчетной области); $F_i(\bar{C}, x, y, z, t)$ – функции неконсервативности i -й примеси (вещества), представляющие собой правые части уравнений (1)-(19), которые описывают локальные потоки вещества между компонентами модели, обусловленные различными химико-биологическими процессами: $\partial C_i / \partial t = F_i$.

На каждом шаге по времени решается система уравнений переноса неконсервативных субстанций. Число уравнений типа (21), которые составляют эту систему, соответствует количеству переменных состояния экосистемы, которые моделируются.

В модели также рассчитываются потоки ки-

слорода на верхней и нижней границах водного столба и массообмен биогенными веществами между водой и донными отложениями.

Газообмен кислородом с атмосферой рассчитывается на основе зависимости [9]

$$Q_{O_2}^{atm} = \zeta_{e,i} n_v n_T (O_2^S - O_2), \quad (22)$$

где $Q_{O_2}^{atm}$ – поступление (инвазия) или выделение (эвазия) кислорода, $\text{мг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$, $\zeta_{e,i}$ – коэффициент инвазии (эвазии), $\text{дм}^3 \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{ч}^{-1}$; n_T – температурный коэффициент; n_v – интегральный ветровой коэффициент:

$$n_v = \begin{cases} 1.0 + 0.27W^2, & \text{при } W \leq 8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \\ -7.4 + 0.4W^2, & \text{при } W > 8 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1} \end{cases}$$

где W – скорость ветра, $\text{м} \cdot \text{с}^{-1}$; O_2^S – насыщающая (при данной температуре и солёности воды) концентрация кислорода, $\text{мгO} \cdot \text{дм}^{-3}$.

Поглощение кислорода донными отложениями рассчитывается с помощью функциональной зависимости [10]

$$Q_{O_2}^{bot} = \frac{C_{O_2}^b}{\Pi_{O_2} + C_{O_2}^b} Q_{O_2}^{Tb} e^{\zeta_o(T-T_b)}, \quad (23)$$

где $Q_{O_2}^{Tb}$ – поток поглощения кислорода донными отложениями, $гО \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$, при температуре придонных вод $T_b, ^\circ C$; $C_{O_2}^b$ – содержание кислорода в воде придонного слоя, $гО \cdot м^{-3}$; ζ_o – коэффициент, описывающий влияние температуры на поглощение кислорода донными отложениями, $^\circ C^{-1}$.

Поток нитратов в системе вода – донные отложения определяется соотношением их концентраций в воде и донных отложениях, скоростью массообмена через границу раздела и интенсивностью процесса денитрификации в донных отложениях [10]

$$Q_{NO_3}^{bot} = k_{sw} (C_{NO_3}^{bot} - C_{NO_3}^b) e^{\zeta_{dn}(T-T_{rNO_3})}, \quad (24)$$

где k_{sw} – скорость переноса массы через границу вода-донные отложения, $м \cdot сут^{-1}$; $C_{NO_3}^b$ – концентрация нитратов в поровых водах донных отложений, $гН \cdot м^{-3}$; $C_{NO_3}^{bot}$ – концентрация нитратов в водах придонного слоя, $гН \cdot м^{-3}$; ζ_{dn} – коэффициент, описывающий влияние температуры на скорость денитрификации, $^\circ C^{-1}$; T_{rNO_3} – температура, для которой определяется поток нитратов.

Потоки аммонийного азота и фосфатов в системе вода-донные отложения полагаются зависящими от температуры воды в придонном слое

$$Q_{C_i}^{bot} = Q_{C_i}^{br} e^{\zeta_{ci}(T-T_{br})}, \quad (25)$$

где $Q_{C_i}^{br}$ – донный поток субстанции C_i , $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$, при температуре T ;

$Q_{C_i}^b$ – донный поток субстанции C_i , $г \cdot м^{-2} \cdot сут^{-1}$, определенный при температуре T_{br} ;

ζ_{ci} – температурный коэффициент, $^\circ C^{-1}$.

Зависимость интенсивности массообмена с донными отложениями от температуры воды обусловлена тем, что при прогреве вод придонного слоя в весенне-летний период возрастают скорости минерализации аккумулярованного в донных отложениях органического вещества, что приводит к интенсификации потоков минеральных соединений биогенных элементов из донных отложений в толщу воды и потока по-

глощения кислорода донными отложениями.

3. ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ

Для калибровки параметров химико-биологического блока модели использовались данные гидрохимических наблюдений, выполненных на акватории Тилигульского лимана в период 2002-2015 гг. специалистами Института морской биологии (ИМБ) НАН Украины и Одесского государственного экологического университета - ОГЭКУ (в 2012, 2015 гг.). Комплекс наблюдений включал в себя: концентрации растворенных минеральных форм азота (аммонийного NH_4^+ , нитритного NO_2^- и нитратного NO_3^-) и фосфора (фосфатов PO_4^{3-}), общего азота ($N_{ВАЛ}$) и фосфора ($P_{ВАЛ}$), растворенного органического вещества (POB) – по перманганатной окисляемости, растворенного кислорода (O_2). Концентрации органического азота $N_{ОРГ}$ и фосфора $P_{ОРГ}$ вычислялись по разнице между общим содержанием ($N_{ВАЛ}, P_{ВАЛ}$) и концентрацией минеральных форм ($P_{МИН}, N_{МИН}$): $N_{ОРГ} = N_{ВАЛ} - N_{МИН}, P_{ОРГ} = P_{ВАЛ} - P_{МИН}$.

Кроме того использовались гидробиологические наблюдения за автотрофным компонентами экосистемы лимана: концентрацией хлорофилла «а» и биомассой фитопланктона [2].

К сожалению, следует отметить, что наблюдения имеют эпизодический характер и неравномерно распределены по акватории лимана. Их количество значительно различается по годам и месяцам. В отдельные месяцы и годы наблюдения вообще не проводились или были единичны. Кроме того, данные гидрохимических и гидробиологических наблюдений часто не согласованы во времени и пространстве. Основная часть наблюдений относится к поверхностному слою вод и выполнена в южной части лимана. Информация о количестве наблюдений, которые приходятся на каждый месяц, и годы, в которые они были выполнены, приведена в таблицах 1, 2.

При калибровке и верификации модели использовались стандартные статистические характеристики изменчивости гидрохимических переменных, рассчитанные по сгруппированным для каждого месяца многолетним данным мониторинга (рис. 3).

Для учета вклада внешних факторов в формирование современного гидрохимического

Таблица 1 - Информация о количестве гидрохимических наблюдений в поверхностном слое вод Тилигульского лимана, выполненных в период 2002-2015 гг. и их распределение по месяцам и годам

Месяц	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Количество наблюдений	3	9	18	14	18	13	8	4
Годы	2003, 2015	2003, 2015	2006, 2008, 2012, 2015	2002, 2004, 2005, 2010, 2015	2003, 2004, 2005, 2010, 2014	2002, 2012	2003, 2004, 2014	2003, 2005

Таблица 2 - Информация о количестве наблюдений за биомассой фитопланктона, выполненных в период 2001-2011 гг. в Тилигульском лимане, и их распределение по месяцам и годам

Месяц	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Количество наблюдений	1	-	7	6	11	14	5	6	11
Годы	2011	-	2003, 2011	2006, 2008	2001, 2002, 2005, 2006	2003, 2005, 2010, 2011	2001, 2002, 2010	2003, 2010	2001, 2006, 2010

режима лимана, использовались данные гидрологических и гидрохимических наблюдений за расходами воды, концентрацией биогенных веществ в водах р. Тилигул в период 2001-2011 гг., выполненные подразделениями Гидрометеорологической службы Украины с дискретностью 1 раз в сезон на посту «Березовка», расположенном в 15 км от верховья лимана, данные гидрохимических наблюдений ИМБ НАНУ на акватории северо-западной части Черного моря вблизи Григорьевского лимана за период 2004-2014 гг., а также данные наблюдений ОГЭКУ и ИМБ НАНУ в прибрежной зоне моря вблизи входа в соединительный канал «лиман-море», выполненные в 2014-2015 гг.

Подробный анализ указанных данных гидроэкологического мониторинга лимана приведен в публикациях [2, 3].

4. КАЛИБРОВКА ПАРАМЕТРОВ И ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Калибровка параметров химико-биологического блока модели проводилась по следующей схеме. На первом этапе, на основе информации приведенной в научной литературе, определялись наиболее вероятные (типовые) значения параметров, включенных в уравнения модели, и возможный диапазон их изменчивости в условиях близких к тем, которые наблюдаются в Тилигульском лимане.

На втором этапе выполнялась калибровка параметров химико-биологического блока с использованием 1-D (по координате z) варианта

модели, в котором отключены члены уравнений гидротермодинамического блока, описывающие горизонтальный турбулентно-диффузный обмен и адвективный перенос, а также предполагается независимость всех функций от горизонтальных координат. В такой постановке учитывается только дрейфовая составляющая скорости течений, которая используется для расчета коэффициентов вертикального турбулентного обмена и диффузии. Основная задача калибровки состояла в достижении максимально возможного соответствия между данными наблюдений и расчетами внутригодовой изменчивости моделируемых переменных. Эта цель достигалась путем коррекции в допустимых пределах первичных значений констант химико-биологического блока, заданных на основании данных литературных источников.

Предварительное использование 1-D варианта модели обусловлено тем, что при калибровке модели эвтрофикации вод он требует значительно меньших затрат компьютерного времени, чем 3-D вариант. Это позволяет провести большое количество численных экспериментов с различным сочетанием параметров модели и получить необходимый характер изменчивости моделируемых переменных. Для учета поступления биогенных веществ и органики в лиман от внешних источников, в 1-D варианте модели использовалась зависимость вида [11]

$$Q_i = \sum_k \frac{q_k}{W_0} (C - C_{ki}), \quad (26)$$

где Q_i – изменение концентрации i -го вещества в результате поступления вод из внешних источников (р. Тилигул, соединительный канал «море-лиманы»); q_k – расход k -го источника, $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$; C_{ki}, C – концентрация i -го моделируемого вещества, в водах k -го источника и водах исследуемой акватории лимана, соответственно; W_0 – суммарный объем вод зоны начального разбавления. Поскольку минерализация морских и речных вод меньше, чем лиманных, то предполагалось, что первоначальное разбавление происходит в пределах приповерхностного расчетного слоя.

Расходы воды в канале «море-река» q_s , $\text{м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$, рассчитывались гидравлическим методом [12, 13], с использованием формулы

$$q_s = \frac{\omega}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}, \quad (27)$$

где ω – площадь живого сечения канала, м^2 ; n – коэффициент шероховатости; R – гидравлический радиус, м; I – уклон водной поверхности, которые рассчитываются следующим образом:

$$R = \frac{\omega}{\chi}; \quad \chi = b_c + 2h_c \sqrt{1+m^2}; \quad I = \frac{\xi_S - \xi_L}{L_c};$$

$$h_c = \frac{\xi_S + \xi_L - 2\xi_{bot}}{2}.$$

Здесь χ – смоченный периметр, м; b_c – ширина канала по дну, м; m – коэффициент заложения откосов; h_c – глубина наполнения канала, м; ξ_S – отметка уровня моря, м БС; ξ_L – отметка уровня воды в лимане, м; ξ_{bot} – отметка дна канала, м БС; L_c – длина канала, м.

Калибровка 1-D варианта модели выполнялась в три этапа. На первом этапе калибровались параметры уравнений динамики биомассы фитопланктона (1) органического фосфора (5-8), азота (13), углерода (16-19). Сезонная динамика остальных переменных модели задавалась по данным наблюдений. На втором шаге калибровались параметры уравнений для минеральных форм фосфора (9) и азота (14-15). При этом корректировались параметры уравнений для органических форм биогенных элементов.

Моделирование внутригодовой динамики гидроэкологических переменных модели выполнялось при гидрометеорологических условиях 2010 г. и типичного (по гидрометеорологическим условиям) года для периода 1990-2010 гг., выбранного с базы данных ENSEMBLES для

регионального климатического сценария, рассчитанного по модели MPI-REMO (M10) [2, 14-15]. В первом случае, необходимые для гидродинамического и экологического моделирования метеорологические и океанографические параметры: скорость и направление ветра, температура воздуха, балл общей облачности, относительная влажность воздуха, атмосферные осадки, уровень моря, температура и соленость морской воды – задавались на основе данных наблюдений на прибрежной морской ГМС «Порт-Южный». Период функционирования канала, в соответствии с данными наблюдений, задавался с третьей декады апреля до середины августа. Расходы р. Тилигул (среднедекадные значения) задавались на основе данных наблюдений, выполненных на посту «Березовка». Во втором случае, использовались данные об изменчивости среднесуточных значений указанных метеорологических параметров в течение типичного года периода 1990-2010 гг. по сценарию M10, а также осредненные за этот же период среднемесячные значения расходов р. Тилигул, атмосферных осадков, уровня моря, температуры и солености морской воды. Время функционирования канала задавалось в соответствии с традиционной схемой его рыбохозяйственного использования – с начала мая до середины июня и с середины сентября по середину октября.

Результаты верификации 1-D варианта модели при средних для водоема морфометрических характеристиках приведены на рис. 3.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты верификации модели эвтрофикации вод свидетельствуют, что она позволяет отобразить основные особенности годовой динамики гидроэкологических характеристик лимана в вегетационный период фитопланктона (апрель-август), в частности условия, определяющие процессы первичного продуцирования, биохимического окисления органического углерода, регенерации минеральных форм биогенных элементов. Наибольшие отклонения в диапазоне изменчивости моделируемых и наблюдаемых значений отмечаются в весенние и осенние месяцы, особенно для органического азота и фосфора, когда существенный вклад в формирование их концентраций вносят процессы ветроволнового взмучивания донных отложений, продукция-деструкция макрофитов на мелководье, которые не учитываются в представленном варианте модели. Кроме того, в эти же месяцы увеличивается влияние на формирование на-

блюдаемых значений гидрохимических характеристик лиманных вод стока р. Тилигул и морских вод, диапазон колебаний показателей качества вод которых очень широкий [3].

Поскольку с конца 2015 г. проводятся работы по реконструкции соединительного канала «морелиман» с целью увеличения водообмена

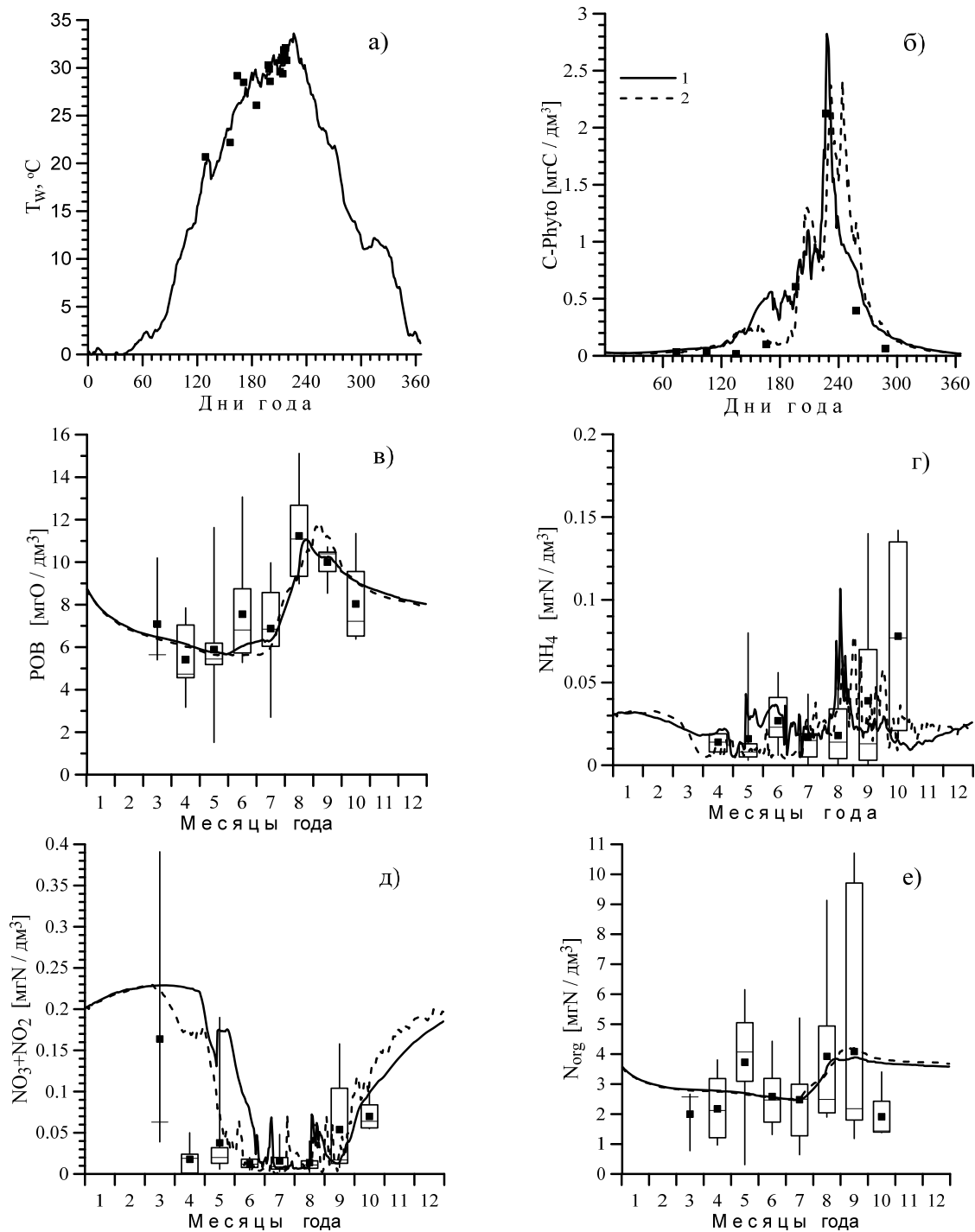


Рис. 3 – Внутригодовая динамика моделируемых гидроэкологических переменных при гидрометеорологических условиях 2010 г. (1) и типичных условиях для периода 1990-2010 гг. (2), а также характеристики изменчивости этих переменных, установленные в результате помесячного статистического анализа данных наблюдений в период 2002-2015 гг. (приведены минимальные, максимальные, медианные (черта) и средние (черные квадраты) значения, а также значения 25 % и 75 % квантилей – нижняя та верхняя границы прямоугольников): а) температура воды; б) биомасса фитопланктона; в) концентрация органического вещества; г) аммонийный азот; д) нитратный азот; е) органический азот; ж) фосфаты; з) органический фосфор в приповерхностном 4-метровом слое.

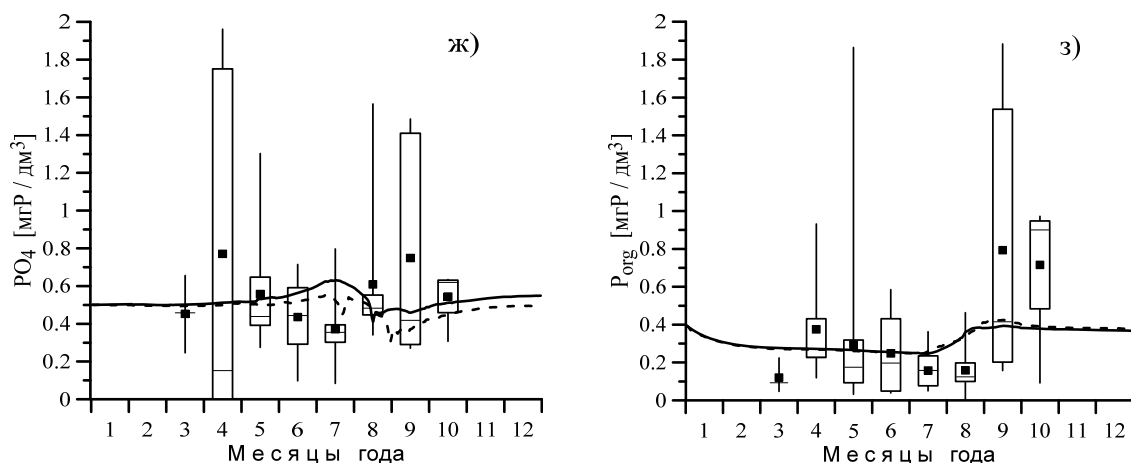


Рис. 3 – Окончание

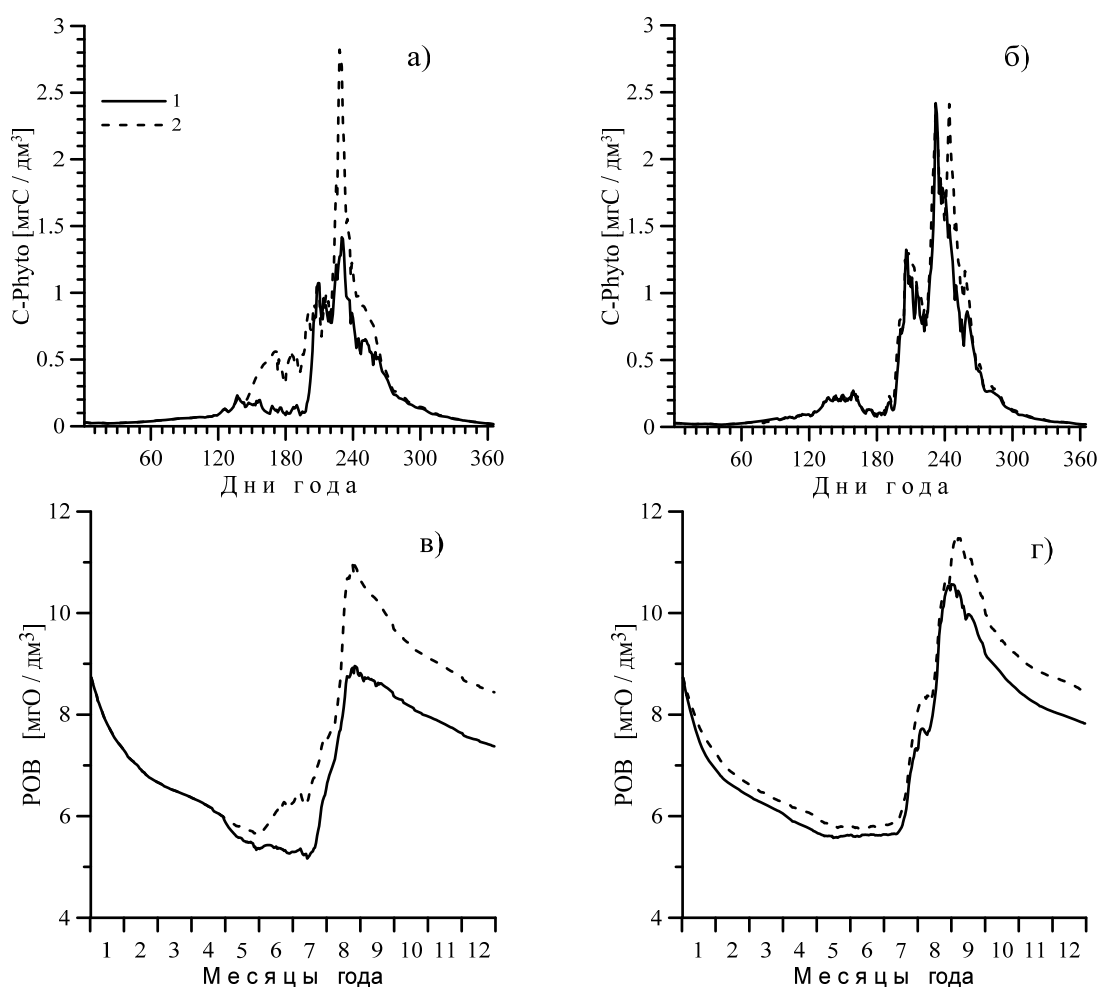


Рис. 4 – Внутригодовая динамика биомассы фитопланктона (а, б) и концентрация органического вещества (в, г) при средней глубине соединительного канала 2,0 м (1) и 0,5 м (2) при условиях 2010 г. (а, в) и типичных условиях для периода 1990-2014 гг. (б, г).

Тилигульского лимана с морем путем его углубления, то актуальным представляется решение задачи оценки возможного влияния интенсифицированного водообмена на характеристики гидроэкологического режима лимана и его

трофический статус.

Для решения этой задачи была использована вышеописанная модель эвтрофикации вод. Сравнивалась годовая динамика моделируемых переменных, рассчитанная при средней глубине

соединительного канала 0,5 и 2,0 м. Предполагалось, что при условиях 2010 г. углубленный канал, также как и ранее, функционировал с третьей декады апреля до середины августа, а при условиях типового года, в отличие от верифицируемого случая – весь год. Результаты расчетов, приведенные на рис. 4, свидетельствуют, что усиление водообмена с морем, при углублении соединительного канала, приведет к улучшению трофического статуса лимана, поскольку будет способствовать уменьшению продукции фитопланктона и органического вещества в его водах.

6. ВЫВОДЫ

Разработана новая численная математическая модель эвтрофикации вод морских и лиманных экосистем северо-западного Причерноморья, которая верифицирована и апробирована на примере Тилигульского лимана. Результаты верификации одномерного (по вертикальной координате) варианта модели для случая Тилигульского лимана, свидетельствуют об адекватности отображения ею основных химико-биологических процессов и особенностей внутригодовой динамики гидроэкологических характеристик лимана. Использование модели для оценки влияния углубления соединительного канала «лиман-море» на гидроэкологические характеристики лимана показало, что усиление водообмена с морем через канал будет способствовать уменьшению продукции фитопланктона и концентрации органического вещества в водах лимана и, в конечном итоге, приведет к улучшению его трофического статуса.

В дальнейшем модель предполагается использовать для оценки эффективности различных сценариев управления гидроэкологическим режимом лиманов северо-западного Причерноморья с учетом изменения климатических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тучковенко Ю. С., Лобода Н. С. Влияние изменений климата на стратегию водного менеджмента лагун северо-западного Причерноморья. *Тези доповідей Першого Всеукр. гідрометеорологічного з'їзду*, 22-23 березня. Одеса : ТЕС, 2017. С. 312-313.
2. Водні ресурси та гідроекологічний стан Тилигульського лиману: монографія / Тучковенко Ю. С., Лобода Н. С., Гриб О. М. та ін.; за ред. Ю. С. Тучковенка, Н. С. Лободи. Одеса : ТЕС, 2014. 277 с.
3. Тучковенко Ю. С., Богатова Ю. И., Тучковенко О. А. Гидрохимический режим Тилигульского лимана в современный период. *Вісник Одеського державного екологічного університету*. 2015. Вип. 19. С. 126-132.

4. Hess, K.W. (2000). *Mecca2 Program Documentation*. NOAA Technical Report NOS CS 5, Silver Spring, MD.
5. Иванов В. А., Тучковенко Ю. С. Прикладное математическое моделирование качества вод шельфовых морских экосистем: монография / МГИ НАН Украины. Севастополь, 2006. 368 с.
6. Тучковенко Ю. С., Иванов В. А. Моделирование процессов формирования качества вод северо-западной части Черного моря. *Екологічна безпека прибрежної та шельфової зон і комплексне використання ресурсів шельфа*. 2007. Вип. 15. С. 304-325.
7. Тучковенко Ю. С., Иванов В. А., Сапка О. Ю. Оценка влияния береговых антропогенных источников на качество вод Одесского района северо-западной части Черного моря: монография. Севастополь: НПЦ ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 169 с.
8. HydroQual. (2004). *User's Guide for RCA (Release 3.0). Appendix A*. Mahwah, New Jersey. URL: <https://production.wordpress.uconn.edu/swem/wpcontent/uploads/sites/1563/2013/03/RCA-Release-3.0-Rev.1.0.pdf> (accessed 25.05.2018)
9. Ляхин Ю. И. О скорости обмена кислородом между океаном и атмосферой. *Океанология*. 1980. Т. 18. № 6. С. 1014-1021.
10. Cerco, Carl F. Cole, Thomas. (1995). *User's guide to the CE-QUAL-ICM three-dimensional eutrophication model: release version 1.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station. URL: http://acwc.sdp.sirsi.net/client/en_US/search/asset/1002903;jsessionid=900370E4763DE3E4B9A81656131A4B43.enterprise-15000 (accessed 25.05.2018).
11. Страшкраба М., Гнаук А. Пресноводные экосистемы. Математическое моделирование / пер. с англ. В. А. Пучкина; под ред. В. И. Беляева. Москва: Мир, 1989. 376 с.
12. Мороз М. Ф., Водчиц Н. Н. Гидротехнические сооружения: метод. указания / Брестский госуд. техн. ун-т. Брест, 2007. 37 с.
13. Гідротехнічні споруди: підручник для вузів / Дмитрієв А. Ф., Хлапук М. М., Шумінській В. Д. та ін.; за ред. А. Ф. Дмитрієва. Рівне: Вид-во Рівненського державного технічного університету, 1999. 328 с.
14. Лобода Н. С., Тучковенко Ю. С., Хохлов В. М. та ін. Вибір типових років в басейні Тилигульського лиману при розрахунках стоку за сценарієм глобального потепління М10. *Лимани північно-західного Причорномор'я: сучасний гідроекологічний стан, проблеми водного та екологічного менеджменту та шляхи їх вирішення*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 1-3 жовтня. Одеса. 2014. С. 28-30.
15. Моделювання зміни гідроекологічних умов в лиманах Північно-західного Причорномор'я в контексті змін клімату у XXI столітті на прикладі Тилигульського лиману. Звіт про НДР. ДР № 0115U004748 / наук. керів. Ю. С. Тучковенко; Одеський державний екологічний університет. Одеса, 2016. 232 с.

REFERENCES

1. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S. (2017). [Impact of the climate change on the strategy of water management of lagoons of the Northwestern Black Sea]. *Tezy dopovidei Pershoho Vseukrainskoho hidrometeorologichnoho zizdu z mizhnarodnoiu uchastiu* [Proceedings of the First All-Ukrainian Hydrometeorological Congress with International Participation], 22-23 March. Odessa, pp. 312–313 (in Ukr.)

2. Tuchkovenko, Yu.S., Loboda, N.S. (Eds). (2014). *Vodni resursy ta hidroekologichnyi stan Tylihulskoho lymanu* [Water resources and hydroecological conditions of the Tylihulskiy Liman Lagoon]. Odesa : TES Publ. (in Ukr.)
3. Tuchkovenko, Yu. S., Bogatova, Yu.I., Tuchkovenko, O.A. (2015). [Hydrochemical regime of Tylihulskiy Liman in modern period]. *Visnik Odes'kogo derzhavnogo ekologichnogo universitetu* [Bulletin of Odessa State Environmental University], 19, 126–133. (in Russ.)
4. Hess, K.W. (2000). *Mecca2 Program Documentation*. NOAA Technical Report NOS CS 5, Silver Spring, MD.
5. Ivanov, V.A., Tuchkovenko, Y.S. (2006). *Prikladnoye matematicheskoe modelirovaniye kachestva vod shelfovykh morskikh ekosistem* [Applied Mathematical Water-Quality Modeling of Shelf Marine Ecosystems]. Marine Hydrophysical Institute of NASU, Sevastopol. (in Russ.)
6. Tuchkovenko, Yu.S., Ivanov, V.A. (2007). [Modelling formation of quality of waters of the Northwestern part of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost pribrezhnoy i shelfvoy zony i kompleksnoye ispolzovanie resursov shelfa* [Ecological safety of coastal and the shelf zones and complex use of shelf resources], 15, 304–325. (in Russ.)
7. Tuchkovenko, Y.S., Ivanov, V.A., Sapko, O.Y. (2011). *Otsenka vliyaniya beregovykh antropogennykh istochnikov na kachestvo vod Odesskogo rayona severo-zapadnoy chasti Chernogo morya* [Assessment of coastal anthropogenic sources impact on water quality in north-western part of Black Sea near Odessa]. Marine Hydrophysical Institute of NASU and Odessa State Environmental University, Sevastopol : ECOSY-Hydrophysics Publ. (in Russ.)
8. HydroQual. (2004). *User's Guide for RCA (Release 3.0). Appendix A*. Mahwah, New Jersey. Available at: <https://production.wordpress.uconn.edu/swem/wpcontent/uploads/sites/1563/2013/03/RCA-Release-3.0-Rev.1.0.pdf> (accessed 25.05.2018)
9. Lyakhin, Yu.I. (1980). [On velocity of exchange of oxygen between the ocean and the atmosphere]. *Okeanologiya* [Oceanology], 18 (6), 1014-1020. (in Russ.)
10. Cerco, Carl F. Cole, Thomas. (1995). *User's guide to the CE-QUAL-ICM three-dimensional eutrophication model: release version 1.0*. U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station. Available at: http://acwc.sdp.sirsi.net/client/en_US/search/asset/1002903;jsessionid=900370E4763DE3E4B9A81656131A4B43.enterprise-15000 (accessed 25.05.2018).
11. Straškraba, M., Gnauck, A. (1985). *Developed in Environmental Modelling. Vol.8. Freshwater ecosystems. Modelling and simulation*. Amsterdam-Oxford – New York – Tokyo: Elsevier.
12. Moroz, M.F., Vodchits, N.N. (2007). *Gidrotehnicheskie sooruzheniya* [Hydrotechnical structures]. Brest State Technical University, Brest. (in Russ.)
13. Dmytriiev, A.F., Khlapuk, M.M., Shuminskii, V.D. et al. (1999). *Hidrotekhnichni sporudy* [Hydrotechnical structures]. In Dmytriiev, A.F. (Ed). Rivne : Publ. of Rivne State Technical University. (in Ukr.)
14. Loboda, N.S., Tuchkovenko, Yu.S., Khokhlov V.M. et al. (2014). [The choice of typical years for the Tylihulskiy estuary basin in the calculation of runoff under the global warming scenario M10]. *Materialy Vseukrainskoi naukovopraktaktychnoi konferentsii "Lymany pivnichnozakhidnoho Prychornomoria : suchasnyi hidroekologichnyi stan, problemy vodnoho ta ekolohichnoho menedzhmentu ta shliakhy yikh vyrishennia"* [Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Estuaries of the north-western Black Sea : modern hydroecological state, problems of water and environmental management and ways of their solution"], 1-3 October, Odessa, pp. 28-30. (in Ukr.)
15. Tuchkovenko, Yu.S. (scient. chief). (2016). *Modeliuvannia zminy hidroekologichnykh umov v lymanakh pivnichnozakhidnoho Prychornomoria v konteksti zmin klimatu u XXI stolitti na prykladi Tylihulskoho lymanu : Zvit pro NDR. DR №0115U004748* [Simulation of the change of hydroecological conditions in the estuaries of the Northwestern Black Sea in the context of the climate change in the 21st century by the example of the Tylihulskiy Liman : Research report. SR 0115U004748]. Odessa State Environmental University. Odesa. (in Ukr.)

THE MODEL OF EUTROPHICATION OF MARINE AND ESTUARINE ECOSYSTEMS IN THE NORTHWEST BLACK SEA REGION

Yu. S. Tuchkovenko, DSc (Geography)
O. A. Tuchkovenko

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, tuch2001@ukr.net*

The paper outlines the mathematical structure of the numerical mathematical model of water eutrophication. The model is based on the numerical non-stationary hydrothermodynamic model MECCA (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) supplemented with a chemical-biological modular unit designed in accordance with the principles of preparation of the water quality model RCA-HydroQual with some modifications introduced by the author. The chemical-biological unit of the model includes a description of the dynamics of the following hydroecological variables at a local point of space: biomass of phytoplankton, mineralization-resistant organic phosphorus in suspended (detrital) and dissolved fractions, labile organic phosphorus in suspended and dissolved fractions, dissolved mineral phosphorus, stable organic nitrogen in suspended and dissolved fractions, labile organic nitrogen in suspended and dissolved fractions, ammonium and nitrate nitrogen, suspended and dissolved fractions of organic carbon resistant to biochemical oxidation, suspended and dissolved fractions of labile organic carbon and water-dissolved oxygen.

The paper presents results of calibration and verification of 1D version of the model for the case of the Tylihulskiy Liman (Estuary) in the northwestern part of the Black Sea. A conclusion is drawn that the model makes it possible to display the main features of the annual dynamics of

hydroecological characteristics of the liman during phytoplankton vegetation season, in particular, the conditions determining the processes of primary production and biochemical oxidation of organic substance, regeneration of mineral forms of biogenic elements. Application of the model in order to assess the impact of deepening the 'liman-sea' connecting canal on the hydroecological characteristics of the Tyligulskiy Liman proved that intensification of water exchange with the sea through the canal will help to reduce phytoplankton production, concentration of organic substance in the water of the liman and, ultimately, will lead to improvement of its trophic status. The model is expected to be further used to assess the effectiveness of various scenarios of managing the hydroecological regime of the limans of the north-western Black Sea region considering the changes of climatic conditions.

Key words: eutrophication of water, numerical modeling, the Tyligulskiy Liman, the Black Sea

МОДЕЛЬ ЕВТРОФІКАЦІЇ МОРСЬКИХ ТА ЛИМАННИХ ЕКОСИСТЕМ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я

Ю. С. Тучковенко, д. геогр. н.
О. А. Тучковенко

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, tuch2001@ukr.net

Викладена математична структура чисельної математичної моделі евтрофікації вод. Модель побудована на базі чисельної нестационарної гідротермодинамічної моделі МЕССА (Model for Estuarine and Coastal Circulation Assessment) доповненої хіміко-біологічним блоком, який розроблений відповідно до принципів побудови моделі якості вод RCA-HydroQual з авторськими модифікаціями. Хіміко-біологічний блок моделі включає опис динаміки в локальній точці простору наступних гідроекологічних змінних: біомаса фітопланктону, стійкий до мінералізації органічний фосфор у зваженій (детритній) і розчиненій фракціях, лабільний органічний фосфор у зваженій і розчиненій фракціях, розчинений мінеральний фосфор, стійкий органічний азот у зваженій і розчиненій фракціях, лабільний органічний азот у зваженій і розчиненій фракціях, амонійний і нітратний азот, зважена і розчинена фракції стійкого до біохімічного окислення органічного вуглецю, зважена і розчинена фракції лабільного органічного вуглецю, розчинений у воді кисень. Представлені результати калібрування і верифікації 1-D варіанту моделі для випадку Тилігульського лиману північно-західній частині Чорного моря. Зроблено висновок про те, що модель дозволяє відобразити основні особливості річної динаміки гідроекологічних характеристик лиману в період вегетації фітопланктону, зокрема умови, що визначають процеси первинного продукування і біохімічного окислення органічної речовини, регенерації мінеральних форм біогенних елементів. Використання моделі для оцінки впливу поглиблення з'єднувального каналу «лиман-море» на гідроекологічні характеристики Тилігульського лиману показало, що посилення водообміну з морем через канал сприятиме зменшенню продукції фітопланктону, концентрації органічної речовини в водах лиману і, в кінцевому підсумку, призведе до поліпшення його трофічного статусу. Надалі модель передбачається використовувати для оцінки ефективності різних сценаріїв управління гідроекологічним режимом лиманів північно-західного Причорномор'я з урахуванням зміни кліматичних умов.

Ключові слова: евтрофікація вод, чисельне моделювання, Тилігульський лиман, Чорне море.

Подання до редакції : 03. 06. 2018
Надходження остаточної версії : 10. 06. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018

УДК 556(075.8)

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КИСЛОРОДНОГО РЕЖИМА ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ

Н. А. Берлинский, д-р геогр. наук

Одесский государственный экологический университет
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016. Украина, nberlinsky@ukr.net

В работе рассматриваются закономерности формирования и динамики кислородного режима внутренних морей в пелагиали и абиссали, прежде всего для Черного моря и Каспия. Выделены три основных фактора формирования особенностей гидрологической структуры и процессов, ответственных за интенсивность газообмена в пелагической зоне. Активно развитые процессы конвекции охватывают всю толщу вод Каспия, где в отличие от Черного моря, происходит интенсивный обмен между верхними и глубинными слоями.

Ключевые слова: Черное, Каспийское море, гидрологическая структура, пелагиаль, кислородный режим.

1. ВВЕДЕНИЕ

В работе рассматриваются некоторые закономерности формирования и динамики кислородного режима внутренних морей, прежде всего Черного моря и Каспия под влиянием природных и антропогенных факторов.

Генезис дефицита кислорода в морских экосистемах относится к общим проблемам океанологии, а с учетом многофакторности воздействия на условия морской среды, в том числе, таких как природная изменчивость, современное изменение климата, антропогенное влияние, требует научной интерпретации значимости отдельных составляющих и их взаимодействия для получения результирующего эффекта, что относится к нерешенной части. По этой причине цель работы заключается в изучении изменчивости основных гидрологических факторов, способствующих формированию содержания растворенного кислорода в морской воде на примере Черного и Каспийского морей, где проблема гипоксии явно выражена и весьма динамична в современный период.

Под термином внутренние моря, обычно понимают моря, глубоко вдающиеся в сушу и сообщаемые с океаном или прилегающим морем одним или несколькими проливами. К классическим примерам внутренних морей Евразии можно отнести Средиземное, Черное, Азовское и Каспийское. Общность и различия свойств этих морей на протяжении тысячелетий сформировали те условия, которые существуют в настоящее время. В последние десятилетия к ним прибавился фактор антропогенного влияния, который, как правило, негативно отражается на морской среде. Кроме того, следует учиты-

вать и фактор глобальных климатических изменений. Количественно влияние последнего фактора оценить достаточно сложно и здесь уместно использовать вероятностные оценки развития того или иного сценария. В океаносфере проявления климатических изменений обычно связывают с повышением уровня моря, но проявляться они могут и в интенсификации скоростей течений, в изменении генерального переноса водных масс, активизации штормовой деятельности и др.

В целом, к общим закономерностям внутренних морей, помимо их географического расположения в результате геологических процессов предшествующих эпох, относится единство солевого состава: NaCl – около 78%, MgCl₂ – 9%, MgSO₄ – 6,5%, CaSO₄ – 3,5% и KCl – 2%, гидрокарбонаты – 1%.

К различиям относятся объемы вод, глубины и степень водообмена. Так, Средиземное море содержит объем воды 3839 тыс. км³ при максимальной глубине – 5121 м. В Черном море объем воды в море составляет 555 тыс. км, наибольшая глубина – 2210 м. Объем вод в Каспии – 79 тыс. км, максимальная глубина – 1025 м [1]. Азовское море – самое мелкое море в мире: объем вод составляет 290 км³, глубина не превышает 13,5 метров.

Одной из особенностей Черного моря является отсутствие растворенного в воде кислорода ниже 200 метровой глубины. В этом смысле интересно сравнение Черного моря с Каспием, где глубины также достаточно велики, однако интенсивность вертикального обмена различна. Кроме того, следует различать причины формирования дефицита кислорода в морях. Они бывают природные и антропогенные. В работе

представлен анализ причинно-следственных закономерностей развития гипоксии на глубоководье, в пелагиали и абиссали на примерах Каспия и Черного моря, где доминирующими являются природные процессы. Антропогенный генезис придонной гипоксии характерен для шельфа и мелкого моря.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа представляет собой обзор литературных источников по проблеме, который позволяет дать оценку современного состояния газообмена пелагиали и абиссали морских бассейнов. В работе использован системный подход, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы – совокупности взаимодействующих объектов. Данный метод позволил установить закономерности совокупных взаимодействующих объектов. В обобщенном комплексном определении пелагиали и абиссали должны быть отражены местоположение, особенности природных условий и формирующих их процессов. Использован синергетический подход, т.е. междисциплинарное научное направление, изучающее связи между элементами структуры. Комплексное определение морской экосистемы, с позиций одной какой-либо дисциплины как сложный географический комплекс дать невозможно, поэтому исходя из принципов данного подхода, было учтено свойство динамической системы, геофизических, геохимических процессов, прямой техногенной нагрузки на аквальные ландшафты. Для расчета количественных характеристик в устьевых областях рек в работе использованы данные прямых измерений [2] полученные автором при проведении многочисленных экспедиционных исследований.

3. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Для сравнения с внутренними морями Евразии уместно рассмотреть гидрологические условия Средиземного моря, которые достаточно хорошо изложены в мировой научной литературе. Средиземное море соединено с Атлантикой широким (от 14 до 44 км) Гибралтарским проливом. В Гибралтарском проливе на разной глубине течения направлены в противоположные стороны. Поверхностное течение направлено из Атлантики в Средиземное море, а глубинное течение – в Атлантический океан. Соленость поступающих Атлантических вод около 36 ‰, а выносимых их Средиземного моря в Атлантику – около 38 ‰.

В Черном море ситуация противоположная :

поверхностное течение выносит черноморские воды, с соленостью менее 20‰ в Средиземное море, а воды с повышенной соленостью (рис. 1) поступают из Средиземного моря в Черное.

Выходя из пролива с Нижнебосфорским течением, соленые воды распространяются к северо-западу на шельфе в виде квазистационарного языка вод с соленостью более 20 ‰ в слое 40-100 м. Достигая края шельфа, соленые плотные воды стекают по склону, заполняя глубинные слои черноморской котловины и образуя горизонтальные интрузии в слое основного пикноклина (~ 100-300 м) [3]. Формирование устойчивой плотностной вертикальной стратификации относится к факторам, ограничивающим вертикальный газообмен. К другому фактору относится процесс зимней вертикальной циркуляции, которая в основном выражена в северо-западной части моря и формирует границу холодного промежуточного слоя (ХПС).

Третий фактор отмечен в [4] как наиболее известный в мировой климатологии режимный сдвиг 1976-1978 гг. В Черном море сдвиг проявился в последующем понижении (до середины 1990-х гг.) зимней температуры и солености поверхностного слоя и ХПС, а также в повышении летней поверхностной температуры воды, что привело к усилению статической устойчивости основного бароклинного слоя на 14 ‰ и повышенной консервации в нем холодных промежуточных вод.

Воздействие речного стока относится к общим факторам, формирующим гидрологию Черного, Каспийского и Азовского морей. В целом гидрологическая структура вод морей создается путем взаимодействия процессов горизонтальной и вертикальной турбулентности и циркуляции вод, вызываемых различными факторами – полем ветра, потоками тепла и массы через поверхность моря, полем плотности, влиянием конфигурации берегов. Гидрологические условия в разных частях моря существенно зависят также от водообмена между ними.

Следует отметить, что проблема развития придонной гипоксии на мелководном шельфе Черного моря либо в Азовском море, как результат антропогенного эвтрофирования, широко известна и механизм процесса представлен во многих работах, например, в [2, 5-10]. Однако сравнение глубоководных участков Черного и Каспийского морей и динамики дефицита кислорода в современных условиях практически не проводились и также представляют определенный интерес.

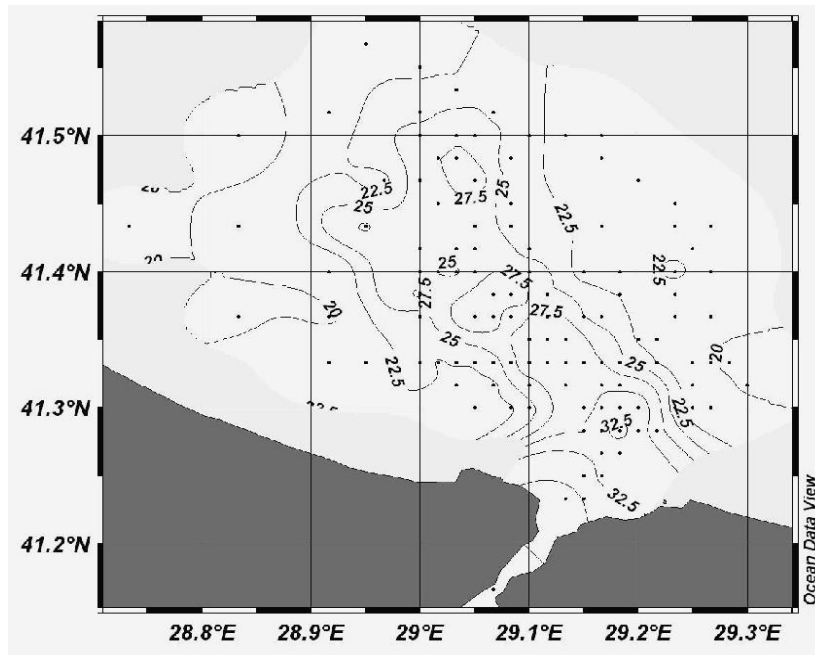


Рис. 1 – Распределение солености (‰) воды придонного слоя на прибосфорском шельфе в весенний сезон, по [3]

Каспийское море полностью изолировано от Мирового океана, т.е. строго говоря, не соответствует определению моря. Однако, общепринятой классификации по данному вопросу не существует, при этом, в научной среде считается, что термин море для Каспия в большей степени справедлив, чем озеро. Для этого есть много причин. Прежде всего, учитывается фактор океанического происхождения Каспия. Существующая в прошлом связь между водами солонатоводного Каспийского моря с Черным подтверждается и общностью фауны обоих бассейнов. И, главное, солевой состав вод Каспия практически идентичен водам Мирового океана и практическая соленость определяется по хлору (морская вода – хлоридного класса натриевой группы, речная вода – гидрокарбонатного класса и кальциевой группы). Можно разделить солевую систему Каспия на четыре внутренне однородных типа вод: приустьевые, опресненные, морские и култучные воды.

Для приустьевых вод с минерализацией до 3–4 г/кг характерна интенсивная осадка карбонатов и непостоянство межиионных соотношений. Опресненные воды Каспия отличаются ростом доли морских ионов и большой пространственной изменчивостью ионных соотношений, связанных со сложным распределением вод разной солености в северной части Каспийского моря, а также с некоторыми региональными факторами. Переход к морскому типу происхо-

дит при солености 11–12 ‰ и обусловлен явными изменениями в солевом составе вод. Собственно морские воды занимают основной объем впадины Каспийского моря (более 98 %) [11].

В Каспийском море режимный сдвиг 1976–1978 гг. сопровождался изменением типа термохалинной стратификации вод: от субтропического с абсолютным летним максимумом солености в поверхностном слое и вертикальной гомохалинностью в остальные сезоны к субполярному с устойчивой соленостной стратификацией, что привело к двукратному увеличению статической устойчивости вод ниже 100 м, почти полному прекращению вентиляции глубинных вод Каспия (склонового каскадинга) и чрезвычайному уменьшению в них концентрации растворенного кислорода. Тогда как ранее отмечалось, что в замкнутом Каспийском море конвективное перемешивание играет первостепенную роль в формировании гидрологической структуры вод, вентиляции придонных слоев. Благодаря активно развитым процессам конвекции, охватывающим всю толщу вод моря, происходит интенсивный обмен между верхними и глубинными слоями [1, 4].

Особенность вертикальной гидрологической структуры вод Каспийского моря такова, то в нем, в отличие от Черного моря, не образуется холодного промежуточного слоя на нижней границе зимней циркуляции. В тех районах Каспия, где циркуляция распространяется до дна, проис-

ходит выравнивание температуры и плотности по вертикали. Там же, где она до дна не доходит, температура охваченного ею слоя остается выше, чем нижележащих слоев, что также исключает возможность образования холодного промежуточного слоя. По данным за 1956-1975 гг., толщина слоя, охваченного зимней конвекцией, составляла 150-200 м в Среднем Каспии, 100-150 м на Апшеронском пороге и 80-150 м в Южном Каспии (рис. 2). Наряду с зимней вертикальной циркуляцией важную роль в формировании и вентиляции глубинных и придонных слоев воды играет плотностной сток вод из северных районов моря. Холодные воды с высокой плотностью формируются в обширном мелководном районе вблизи кромки льда в Северном Каспии и на северном склоне среднекаспийской впадины. Сильное выхолаживание, а также осолонение при льдообразовании создают условия для образования здесь вод с такой плотностью, которая позволяет им стекать по склонам дна и вдоль своих изопикнических поверхностей в глубинные слои среднекаспийской впадины.

Зимняя вертикальная циркуляция развита по всей акватории Каспия, но ввиду уменьшения величины охлаждения в направлении с севера на юг глубина ее распространения также уменьшается в этом направлении. В верхнем слое воды, охваченном зимней вертикальной циркуляцией, наблюдается однородное распределение температуры, солености, плотности воды, высокое содержание кислорода. Нижняя граница перемешанного слоя четко выделяется по повышенным градиентам этих характеристик. Таким образом, зная вертикальное распределение гидрологических и гидрохимических параметров в конце периода охлаждения, можно довольно точно определить глубину распространения зимней вертикальной циркуляции в разных частях моря (рис. 2).

Формирование и вентиляция глубинных вод Южного Каспия происходят главным образом благодаря поступлению среднекаспийских вод через Апшеронский порог и опусканию их вдоль склона дна в глубинные слои южнокаспийской впадины. Кроме того, в Южном Каспии также существует возможность плотностного стока вод с восточного шельфа – из Туркменского залива и других районов, но зимнее охлаждение здесь меньше, чем в средней части моря.

Процесс плотностного стока холодных вод в придонные слои среднекаспийской впадины сопровождается повышением в них содержания кислорода до 3,5-4,0 мл/л в слое от 400 м до дна. В то же время на промежуточных глубинах ко-

личество кислорода более низкое (2,5-3,0 мл/л) [1].

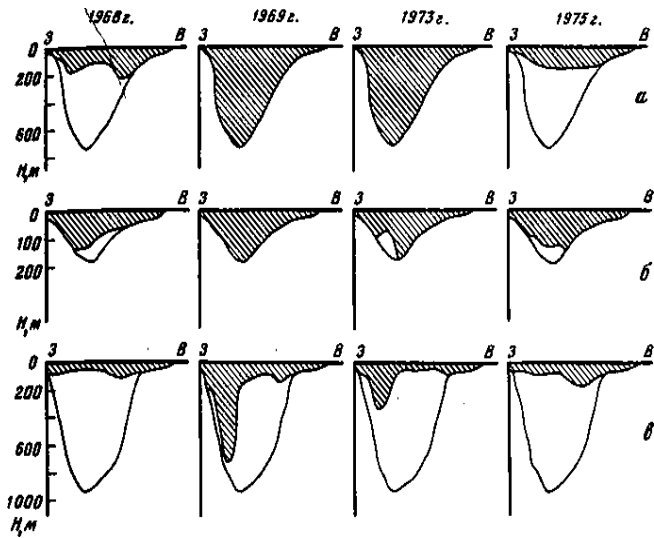


Рис. 2 – Глубина распространения зимней вертикальной циркуляции (штриховка) на разрезах Дивичи-Кендерли (а), Жилой-Куули (б) и Куринский Камень-Огурчинский (в) в феврале 1968, 1969, 1973, 1977 гг., по [12].

В работе [12] анализируются многолетние колебания содержания растворенного кислорода в глубинных слоях Каспийского моря. В ходе работы Каспийской экспедиции 1914-1915 гг. ниже 400-500 метров были зафиксированы концентрации кислорода, не превышающие 2 мл/л. У дна кислород не был обнаружен вовсе. Спустя 20 лет, во время исследований С. В. Бруевича, когда, как и сейчас, наблюдался высокий уровень моря, концентрации кислорода в глубинных слоях Южного Каспия были очень малы и составляли в среднем всего 0,5 мл/л. Более того, в придонном слое Южного Каспия был обнаружен сероводород в концентрациях 0,1-0,3 мл/л. Резкое понижение уровня моря в 30-е годы существенно изменило гидрохимический режим моря. Произошло значительное обогащение придонных слоев за счет более интенсивной зимней вертикальной циркуляции в условиях осолонения поверхностного слоя, поскольку ведущая роль в формировании гидрологической структуры моря принадлежит именно процессам конвективного перемешивания [1]. При понижении уровня моря дефицит кислорода в придонных слоях впадин Среднего и Южного Каспия сильно уменьшился. К концу 50-х – началу 60-х насыщение кислородом глубинных вод Среднего Каспия на горизонтах 400 и 600 м возросло на 11 и 16 % соответственно, по сравнению с 1930-1940 гг. Отмечалось усиление осенне-зимней конвекции и возрастание придонных концентра-

ций до 3,0-3,5 мл/л в Среднем Каспии и 2,0 мл/л в Южном. В 1977 году была достигнута минимальная отметка уровня моря, после чего уровень начал подниматься. В глубинных слоях наблюдался процесс повышения солености и повышения статической устойчивости каспийских вод. Тем не менее, содержание кислорода оставалось высоким вплоть до 1983 года, когда концентрации в глубоководных котловинах Среднего и Южного Каспия составили соответственно 2,4 и 3,6 мл/л.

Как отмечается в [1], последовательное уменьшение содержания кислорода у дна с 1983 года по настоящее время происходит в соответствии с повышением уровня моря. Исследования процессов, определяющих аэрацию глубинных вод и нарастание гипоксии, показали, что высокий уровень является лишь необходимым, но недостаточным условием возникновения сероводорода. Гидролого-гидрохимические исследования, выполненные в августе-сентябре 2002 г. в Среднем и Южном Каспии показали нарастание гипоксии у дна в котловине Южного Каспия по сравнению с предшествующим годом. В Южно-каспийской котловине в 2001 году придонные значения кислорода равнялись 1,4 мл/л на глубине 900 метров, в то время как придонные значения растворенного кислорода в Среднем Каспии на глубине 700 м не превышали 0,7 мл/л.

Очевидно, что в Южном Каспии зимняя вертикальная циркуляция не достигла дна. Для полного исчерпания кислорода и появления сероводорода в придонных водах Среднего Каспия необходимо несколько теплых зим подряд, когда конвекция не будет достигать дна. В Южном Каспии условием образования сероводорода является, очевидно, несколько относительно прохладных летних периодов, когда не формируются высокосоленные поверхностные воды. Таким образом, для полного исчерпания кислорода и появления сероводорода требуются аномальные условия, вероятность наступления которых невелика. Отсутствие мощного пикноклина в Каспии обеспечивает достаточную аэрацию глубинных вод, и для появления даже небольших количеств сероводорода требуется сочетание аномальных условий, ограничивающих зимнюю вертикальную циркуляцию [12]. В этом основное отличие периодического формирования сероводорода в глубинных слоях Каспия до перманентного – в Черном море.

В Черном море ХПС расположен в пределах изотерм 8°. По вертикали ХПС ограничен слоями со значительной гидростатической устойчивостью, затрудняющими обмен теплом и массой

по вертикали, что способствует консервативности всех характеристик слоя. Формирование ХПС обусловлено адвективным происхождением. В центральных районах ядро ХПС расположено на горизонте 50 м, в прибрежных – 75 м. В северо-западной части оно занимает тонкий придонный слой. Осенью, конвективное перемешивание ликвидирует холодный придонный слой. Адвективное проникновение относительно распресненных вод северо-западной части (с соленостью в подповерхностных слоях менее 18,5‰) в центральные и южные районы моря прослеживается во все периоды года. Одновременно, со стороны Босфора происходит приток более теплых и соленых вод. При этом весной в западной половине моря холодные промежуточные воды распространяются благодаря изопикнической адвекции, а соленые глубинные воды занимают наиболее близкое к поверхности положение в результате зимнего усиления циклонической циркуляции вод. Это сопровождается подъемом нижележащих слоев в центре западного стационарного круговорота. В августе крупномасштабная адвекция холодных вод становится менее интенсивной. В феврале прослеживается адвекция холодных вод их северо-западной части в открытое море. Южнее Дуная происходит стекание холодных вод вдоль материкового склона [2, 13].

Аналогичный процесс формирования ХПС может происходить в районе Керченского шельфа. Как отмечено в [13], таким образом, основным районом формирования холодных вод является северо-западная часть моря, включая материковый склон. В феврале - апреле под действием Основного черноморского течения холодные воды перемещаются вдоль Керченского пролива, где встречаются дополнительный источник холода. Концентрируясь у юго-восточного побережья, холодные воды оказываются изолированными от районов с активной динамикой. Наличие мощных градиентов статической устойчивости на глубинах от 50 до 120 м с максимумом до $E = 4 \cdot 10^4$ в феврале и значениях около $E = 1 \cdot 10^4$ в слоях, расположенных выше и ниже ХПС, позволяет утверждать о мощном природном экранировании вертикального перемешивания.

В Азовском море, в условиях мелководья изменчивость вертикального газообмена выражена кратковременно и относится к сезонным и мезомасштабным процессам и, в большей мере, идентична развитию придонной гипоксии в первую половину теплого времени года в северо-западной части Черного моря [2].

4. ВЫВОДЫ

В Черном море формирование устойчивой плотностной вертикальной стратификации происходит за счет интрузии соленых плотных вод Нижнебосфорского течения, а зимняя вертикальная циркуляция выражена только в северо-западной части моря, что в целом лимитирует вертикальный газообмен на глубоководье. Режимный сдвиг гидрологических характеристик 1976-1978 гг. привел к усилению статической устойчивости слоев, что в большей мере ограничило вертикальный обмен.

В замкнутом Каспийском море конвективное перемешивание играет первостепенную роль в формировании гидрологической структуры вод и вентиляции придонных слоев. Благодаря активно развитым процессам конвекции, охватывающим всю толщу вод моря, происходит интенсивный обмен между верхними и глубинными слоями. В отличие от Черного моря, здесь не образуется холодный промежуточный слой на нижней границе зимней циркуляции. В Каспийском море режимный сдвиг 1976-1978 гг. привел к двукратному увеличению статической устойчивости, почти полному прекращению вентиляции глубинных вод Каспия (склонового каскадинга) и чрезвычайному уменьшению в них концентрации растворенного кислорода. На современном этапе в холодные зимы в северном Каспии сильное выхолаживание, а также осолонение при льдообразовании, создают условия для формирования здесь вод с такой плотностью, которая позволяет им стекать по склонам дна вдоль изопикнических поверхностей, аэрируя море.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каспийское море. Гидрология и гидрохимия / под ред. С. С. Байдина, А. Н. Косарева. Москва : Наука, 1986. 261 с.
2. Берлинский Н. А. Динамика техногенного воздействия на природные комплексы устьевой области Дуная : монография. Одесса : Астропринт, 2012. 252 с.
3. Гидрометеорологические условия морей Украины. Т. 2. Черное море / Ильин Ю. П. и др. Севастополь, 2012. 412 с.
4. Тужилкин В. С. Сезонная и многолетняя изменчивость термохалинной структуры вод Черного и Каспийского морей и процессы ее формирования : автореф. дис. д-ра геогр. наук / МГУ. Москва, 2008. 48 с.
5. Берлинский Н. А. Механизм формирования придонной гипоксии в шельфовых экосистемах. *Водные ресурсы*. 1989. №4. С. 112-121.
6. Берлинский Н. А., Дыханов Ю. М. К проблеме формирования придонной гипоксии в северо-западной части Черного моря. *Экология моря*. 1991. Вып. 38. С. 11-15.
7. Берлинский Н. А., Косарев Н. А., Богатова Ю. И., Гаркавая Г. П. Влияние Дуная на экологические условия северо-западной части Черного моря. *Вестник МГУ*. 2004. №5. С. 17-21.
8. Белевич Р. Р., Орлова И. Г. Особенности межгодовой изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик вод на северо-западном шельфе Черного моря в последние десятилетия (60-90-е годы). *Морской гидрофизический журнал*. 1996. № 2. С. 62-73.
9. Берлинский Н. А., Тужилкин В. С., Косарев А. Н., Налбандов Ю. Р. Изменчивость гидрофизических полей и придонной гипоксии. *Северо-западная часть Черного моря: биология и экология* / ред. Ю. П. Зайцев, Б. Г. Александров, Г. Г. Миничева. Киев : Наукова думка, 2006. Раздел I.
10. Berlinsky, N., Bogatova, Yu., Garkavaya, G. (2006). Estuary of the Danube. In: Wangersky, P.J. (Ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry*. Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, vol.5, pp. 233-264.
11. Скорород А. И. Особенности солевого состава вод Каспийского моря : автореф. дис. канд. геогр. наук. / МГУ. Москва, 1996. 35 с.
12. Белов А. А. Исследование изменений гидрохимической структуры Каспийского моря за последние 70 лет : автореф. дис. канд. геогр. наук / МГУ. Москва, 2004. 31 с.
13. Изменчивость гидрофизических полей Черного моря / Блатов В. С., Булгаков Н. П. и др. Ленинград : Гидрометеиздат, 1984. 240 с.

REFERENCES

1. Baydin, S.S., Kosarev, A.N. (Eds). (1986). *Kaspiyskoe more. Gidrologiya i gidrokhimiya* [The Caspian Sea. Hydrology and hydrochemistry]. Moscow : Nauka. (in Russ.)
2. Berlinskiy, N.A. (2012). *Dinamika tekhnogenogo vozdeystviya na prirodnye komplekсы ust'evoy oblasti Dunaya*. [Dynamics of technogenic impact on natural complexes of the mouth area of the Danube]. Odessa. Astroprint. (in Russ.)
3. Il'in, Yu.P. et al. (2012). *Gidrometeorologicheskie usloviya morey Ukrainy T. 2. Chernoe more* [Hydrometeorological conditions of the seas of Ukraine. Vol. 2. Black Sea]. Sevastopol. (in Russ.)
4. Tuzhilkin, V.S. (2008). *Sezonnaya i mnogoletnyaya izmenchivost' termokhalinnoi struktury vod Chernogo i Kaspiyskogo morey i processy ee formirovaniya* [Seasonal and long-term variability of the thermohaline structure of the waters of the Black and Caspian seas and the processes of its formation]. Abstract of Dr. Geogr. Sc. dissertation, Moscow State Un-ty, Moscow. (in Russ.)
5. Berlinskiy, N.A. (1989). [Mechanism of formation of benthic hypoxia in shelf ecosystems]. *Vodnye resursy* [Water resources], 4, 112-121. (in Russ.)
6. Berlinskiy, N.A., Dykhanov, Yu.M. (1991). [To the problem of formation of bottom hypoxia in the northwestern part of the Black Sea]. *Ekologiya morya* [Sea Ecology], 38, 11-15. (in Russ.)
7. Berlinskiy, N.A., Kosarev, N.A., Bogatova, Yu.I., Garkavaya, G.P. (2004). [The influence of the Danube on the ecological conditions of the northwestern part of the Black Sea]. *Vestnik MGU* [Bulletin MSU], 5, 17-21 (in Russ.)
8. Belevich, R.R., Orlova, I.G. (1996). [Features of the interannual variability of hydrological and hydrochemical

- characteristics of waters on the north-western shelf of the Black Sea in recent decades (60-90s)]. *Morskoy gidrofizicheskiy zhurnal* [Marine Hydrophysical journal], 02, 62-73. (in Russ.)
9. Berlinsky, N.A., Tuzhilkin, V.S., Kosarev, A.N., Nalbandov, Yu.R. (2006). [Variability of hydrophysical fields and benthic hypoxia]. In: Zaytsev, Yu.P., Aleksandrov, B.G., Minicheva, G.G. (Eds). *Severo-zapadnaya chast' Chernogo morya : biologiya i ekologiya* [North-western part of the Black Sea : biology and ecology]. Kiev : Naukova dumka, ch. I (in Russ.)
 10. Berlinsky, N., Bogatova, Yu., Garkavaya, G. (2006). Estuary of the Danube. In: Wangersky, P.J. (Ed.). *The Handbook of Environmental Chemistry*. Berlin-Heidelberg : Springer-Verlag, vol.5, pp. 233-264.
 11. Skorohod, A.I. (1996). *Osobennosti solevogo sostava vod Kaspiyskogo morya* [Features of the salt composition of the waters of the Caspian Sea]. Abstract of Cand. Geogr. Sc. dissertation, Moscow State Un-ty, Moscow. (in Russ.)
 12. Belov, A.A. (2004). *Issledovanie izmeneniy gidrohimicheskoy struktury Kaspiyskogo morya za poslednie 70 let* [Research of changes in the hydrochemical structure of the Caspian Sea over the past 70 years]. Abstract of Cand. Geogr. Sc. dissertation, Moscow State Un-ty, Moscow. (in Russ.)
 13. Blatov, V.S., Bulgakov, N.P., Ivanov, V.A., Kosarev, A.N., Tuzhilkin, V.S. (1984). *Izmenchivost' gidrofizicheskikh poley Chernogo morya* [Variability of the hydrophysical fields of the Black Sea]. Leningrad : Gidrometeoizdat.

HYDROLOGICAL FACTORS OF FORMATION OF OXYGEN REGIME OF INLAND SEAS

N. Berlinsky, Dr. Sci. (Geography)

Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, nberlinsky@ukr.net

Introduction. The regularities of the formation and dynamics of the oxygen regime in inland seas - the Black Sea and Caspian, under the influence of natural and anthropogenic factors are estimated.

Purpose. One of the features of the Black Sea is the absence of dissolved oxygen in the water below 200 meters depth. A comparison is made between the hydrological conditions of the Black Sea and the Caspian, where the depths are also quite large, but the intensity of vertical exchange is different. In addition, it is necessary to distinguish the reasons for the formation of oxygen deficient in the seas. They can be natural and human-made origin as well. The paper presents an analysis of the cause-and-effect patterns of the development of pelagial hypoxia as the examples of the Caspian and the Black Sea.

Methods. The work is the review of the problem literature that allows an assessment of the current state of gas exchange of pelagic and abyssal marine basins.

Results. Three main formation factors of the features of the hydrological structure and processes responsible for the intensity of gas exchange in the pelagic zone are identified. So, in the Black Sea, saline waters come with the Lower Bosphorus Current and flow down the slope, filling the deep layers of the Black Sea basin, forming a stable vertical stratification density, that limiting vertical gas exchange. The second factor is contributing to oxygen saturation of the lower layers during the process of winter vertical circulation that is mainly expressed in the northwestern part.

The third factor is the regime shift of 1976-1978 in the Black Sea as a decrease of the winter temperature and salinity in the surface layer that led to increasing of static stability. According to actively developed convection processes, covering the entire body of the Caspian Sea, in contrast to the Black Sea, there is an intensive exchange between the upper and the deep layers and the intensity of convection depends on the temperature regime of the year. In the Caspian Sea, the regime shift of 1976-1978 led to a twofold increase in the static stability of water below 100 m, the almost complete cessation of the ventilation of the deep waters of the (the process the slope cascading) and the extreme decrease in the concentrations of dissolved oxygen.

Conclusion. In the Black Sea, the formation of a stable of the density vertical stratification is due to the intrusion of saline dense waters of the Lower Bosphorus Current, and the winter vertical circulation is expressed only in the northwestern part of the sea, which generally limits vertical gas exchange with the deep water. In the Caspian Sea, convective mixing plays a main role in the formation of the hydrological structure of water and the ventilation of the bottom layers. In cold winters in the northern Caspian, strong cooling, as well as salinity during ice formation, creates the conditions for the formation of waters with a density that allows them to flow down the slopes of

the bottom along isopycnic surfaces and aerating the deep layers of the sea.

Key words: Black and Caspian Sea, hydrological structure, pelagic, oxygen regime.

ГІДРОЛОГІЧНІ ФАКТОРИ ФОРМУВАННЯ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ВНУТРІШНІХ МОРІВ

М. А. Берлінський, д-р геогр. наук

*Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, nberlinsky@ukr.net*

В роботі розглядаються закономірності формування і динаміки кисневого режиму внутрішніх морів, перш за все Чорного моря і Каспію в пелагіалі і абісалі. Однією з особливостей Чорного моря є відсутність розчиненого у воді кисню нижче 200 метрової глибини. Виконано порівняння гідрологічних умов Чорного моря з Каспієм, де глибини також досить великі, однак інтенсивність вертикального обміну різна. Крім того, слід розрізняти причини формування дефіциту кисню в морях. Вони бувають природні і антропогенні. У роботі виконаний здійснено аналіз причинно-наслідкових закономірностей розвитку гіпоксії пелагіалі на прикладах Каспію і Чорного моря.

Методично робота є оглядом літературних джерел з проблеми, які дозволяють дати оцінку сучасного стану газообміну пелагіалі і абісалі морських басейнів.

Виділено три основних чинника формування особливостей гідрологічної структури і процесів, відповідальних за інтенсивність газообміну в пелагічній зоні. Перший – надходження солоних вод з Нижньобосфорською течією, стікання їх по схилу, заповнення глибинних шарів чорноморської улоговини, формування стійкої вертикальної стратифікації, яка обмежує вертикальний газообмін. До другого фактору, що сприяє насиченню киснем нижніх шарів, відноситься процес зимової вертикальної циркуляції, яка в основному виражена в північно-західній частині Чорного моря. Третій фактор – це режимне зміщення 1976-1978 рр., виражене в Чорному морі у змінах зимової температури і солоності поверхневого шару, що призвело до посилення статичної стійкості. Завдяки активно розвиненим процесам конвекції, яка охоплює всю товщу вод Каспію, на відміну від Чорного моря відбувається інтенсивний обмін між поверхневими і глибинними шарами. При цьому інтенсивність конвекції залежить від температурного режиму року. У Каспійському морі режимне зміщення 1976-1978 рр. призвело до двократного збільшення статичної стійкості вод нижче 100 м, майже повного припинення вентиляції глибинних вод (схилового каскадінга) і зменшення в них концентрації розчиненого кисню.

Основні висновки полягають в тому, що у Чорному морі формування стійкої вертикальної стратифікації відбувається за рахунок інтрузії солоних щільних вод Нижньобосфорської течії, а зимова вертикальна циркуляція виражена тільки в північно-західній частині моря, що в цілому лімітує вертикальний газообмін на глибині. У замкнутому Каспійському морі конвективне перемішування грає першорядну роль в формуванні гідрологічної структури вод і вентиляції придонних шарів.

У холодні зими в північному Каспії сильне вихолодження, а також осолонення при льодоутворенні, створюють умови для формування вод з такою щільністю, яка дозволяє їм стікати по схилах дна уздовж ізопікнічних поверхонь, аеріруючи глибинні шари моря.

Ключові слова: Чорне, Каспійське море, гідрологічна структура, пелагіаль, кисневий режим.

Подання до редакції: 21. 11. 2017

Надходження остаточної версії: 15. 06. 2018

Публікація статті: 29. 06. 2018

УДК 628.4.032 (477.74)

ОЦІНКА СПРИЯТЛИВОСТІ ТЕРИТОРІЇ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Т. А. Сафранов¹, д-р геол.-мін. наук

Є. А. Черкез², д-р геол.-мін. наук

С. М. Шаталін²

¹ Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, Одеса, 65016, Україна, safranov@ukr.net

² Одеський національний університет імені І.І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна, eacherkez@gmail.com

Обґрунтування місць можливого розміщення сучасних міжрайонних полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) на території Одеської області є актуальною задачею забезпечення екологічної безпеки і сталого розвитку регіону. Метою дослідження є оцінка природних умов на території адміністративних районів Одеської області у зв'язку з обґрунтуванням місць можливого розміщення сучасних полігонів ТПВ. Задачі дослідження: проаналізувати вимоги до сучасних полігонів ТПВ та місць їх розміщення; оцінити природні і соціально-економічні фактори, які можуть сприяти можливості розміщення полігонів ТПВ на території Одеської області. Об'єкт дослідження – полігони ТПВ, предмет дослідження – обґрунтування місць можливого розміщення полігонів ТПВ на території Одеської області. Методологічною основою роботи став аналіз положень щодо вимог до сучасних полігонів ТПВ та місць їх розміщення. При виконанні роботи використовувались опубліковані дані, а також матеріали власних досліджень. Схематичні карти були побудовані із застосуванням одного із інструментів географічних інформаційних систем (ГІС) – пакету Quantum GIS. Для оцінки рівня сприятливості території районів Одеської області для розміщення полігонів ТПВ використані такі показники: розрахункові обсяги утворення ТПВ (тис. т/рік); відносна площа звалищ та полігонів ТПВ (%); модуль загального техногенного навантаження; відносна площа ураженості земель ерозійними процесами (%); відносна площа підтоплених та потенційно підтоплених земель (%); відносна площа прояву карстових процесів (%); кількість зсувів у межах району; відносна площа розвитку техногенних екзогенних геологічних процесів (%). Перераховані показники виражені в балах: 3 бали – сприятливі умови; 2 бали – відносно сприятливі умови; 1 бал – несприятливі умови. Який із вказаних показників є пріоритетним на даному етапі досліджень не є можливим виявити. За проаналізованими фізико-географічними, інженерно-геологічними, гідрогеологічними, техногенними та соціально-економічними показниками можливості розміщення сучасних міжрайонних полігонів ТПВ на території районів Одеської області нерівнозначна. Новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні комплексного підходу до обрання місць можливого розміщення сучасних полігонів ТПВ. У роботі обґрунтовані підходи до вибору місць розміщення полігонів ТПВ за комплексом критеріїв, що дало підстави визначити райони Одеської області, які найбільш сприятливі для розміщення полігонів ТПВ.

Ключові слова: тверді побутові відходи, місця розміщення полігонів твердих побутових відходів.

1. ВСТУП

Проблема ефективного управління та поводження з твердими побутовими відходами (ТПВ) залишається однією з найбільш актуальних екологічних і соціально-економічних проблем більшості регіонів України. Увесь спектр технологій у сфері поводження з ТПВ фактично зведений до їх захоронення на сміттєзвалищах

(«полігонах») або переробки. Домінуючим способом поводження з ТПВ в Україні усе ще залишається їх вивезення та захоронення на сміттєзвалищах («полігонах»), що вимагає значних земельних ресурсів. Крім того, сміттєзвалища («полігони») ТПВ є джерелом фізичного, хімічного та біологічного забруднення довкілля. Наявність небезпечних компонентів

у складі ТПВ є фактором екологічної загрози для населення ряду регіонів України, і, як наслідок, погіршення якості навколишнього середовища.

«Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року» (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820) [1] скерує головні напрями державного регулювання у сфері поводження з відходами в найближчі десятиліття і на запозичення європейських підходів до питань управління відходами. Беручи до уваги стратегічні положення [1], слід створити і реалізувати регіональні програми щодо ефективної системи управління та поводження з ТПВ відповідно до існуючих стандартів Європейського Союзу (ЄС).

Для реалізації регіонального підходу необхідно обґрунтувати шляхи управління та поводження з ТПВ на всіх стадіях їх життєвого циклу. Але повна переробка та утилізація ТПВ, аби досягати рівня нульових відходів (Zero Waste), навряд чи можлива в найближчому майбутньому, а тому проектування та створення сучасних полігонів ТПВ (ПТПВ) є вкрай актуальною задачею для всіх регіонів України.

Метою дослідження є оцінювання природних умов на території адміністративних районів Одеської області у зв'язку з обґрунтуванням місць можливого розміщення сучасних ПТПВ. *Задачі дослідження:* проаналізувати вимоги до сучасних ПТПВ та місць їх розміщення; дати оцінку природних і соціально-економічних факторів, які спроможні до розміщення ПТПВ на території Одеської області. *Об'єкт дослідження* – полігони ТПВ, *предмет дослідження* – обґрунтування місць можливого розміщення ПТПВ на території Одеської області.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для оцінювання сприятливості території Одеської області щодо розміщення ПТПВ використовувались дані багаторічних досліджень природних і антропогенних умов. Слід нагадати, що розміщення міжрайонних полігонів ТПВ повинно базуватися на ДБН В.2.4-2-2005 «Полігони твердих побутових відходів. Основи проектування» [2], які містять наступні вимоги: де «полігони ТПВ розміщують», де «розміщення полігонів ТПВ допускається» та де «розміщення полігонів ТПВ не допускається». У зв'язку з цим проаналізовані окремі фізико-географічні, інженерно-геологічні, гідрогеологічні та техногенні показники, що визначають можливості роз-

міщення міжрайонних ПТПВ на території Одеської області.

У межах даної роботи автори обмежуються аналізом лише окремих показників ступеню сприятливості території Одеської області з метою розміщення міжрайонних ПТПВ.

Методологічною основою роботи став аналіз сучасних положень щодо вимог до сучасних полігонів ТПВ та місць їх розміщення. При виконанні роботи використані опубліковані дані, а також матеріали власних досліджень. Схематичні карти були побудовані із застосуванням одного із інструментів географічних інформаційних систем (ГІС) – пакету Quantum GIS.

3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

За даними Департаменту екології та природних ресурсів Одеської обласної державної адміністрації на території області розташовано 608 сміттєзвалищ, які займають близько 1300 га земель [3]. Більшість з них знаходяться у незадовільному стані та експлуатуються з порушенням природоохоронного законодавства та вимог санітарно-епідеміологічної безпеки. З метою удосконалення системи поводження з ТПВ пропонується ліквідувати численні сміттєзвалища і побудувати 4 сучасних міжрайонних ПТПВ у межах 5 кластерів на території Одеської області (Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні», 2017). Розрахункові обсяги утворення ТПВ та кількість місць по видаленню відходів з території 26 районів і 5 кластерів Одеської області наведені в табл. 1 і на рис. 1. Максимальним обсягом генерації ТПВ характеризується 3-й кластер (791,1 тис. т/рік), до складу якого входить м. Одеса з обсягами утворення ТПВ 674,1 тис. т/рік. Разом з тим, найбільші обсяги утворення ТПВ за деякими районами області (Лиманський, Овідіопільський, Біляївський та Ізмаїльський) суттєво менші і не перевищують 45-70 тис. т/рік. Всі 608 полігонів по видаленню відходів з території області відносяться до категорії В, тобто до небезпечних [3]. Найбільша кількість сміттєзвалищ припадає на Березівський (67) і Тарутинський (41) райони. Максимальна кількість сміттєзвалищ («полігонів») нараховується у 1-му кластері, мінімальна – у 3-му.

Розміщення ПТПВ приведе до додаткового техногенного навантаження на навколишнє природне середовище (НПС), а тому необхідно ураховувати його існуючий рівень. Одним із показників загального техногенного навантаження на окремі території є модуль техногенного наван-

Таблиця 1 – Розрахункові обсяги утворення ТПВ та кількість місць видалення відходів на території Одеської області (за даними Проєкту USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні», 2017)

Адміністративний район	Тис. т/рік	Кількість сміттєзвалищ («полігонів»)
Подільський	26,4	29
Балтський	16,3	32
Любашівський	12,0	16
Кодимський	11,7	24
Ананівський	10,5	10
Захарівський	7,8	12
Окнянський	7,8	14
Савранський	7,4	19
1-й КЛАСТЕР	99,9	156
Роздільнянський	26,7	26
Березівський	15,7	67
Великомихайлівський	14,3	13
Ширяївський	12,4	34
Іванівський	12,4	26
Миколаївський	7,4	37
Лиманський	47,5	19
2-й КЛАСТЕР	136,4	222

Адміністративний район	Тис. т/рік	Кількість сміттєзвалищ («полігонів»)
м. Одеса	674,1	1
Овідіопольський	69,1	2
Біляївський	47,9	26
3-й КЛАСТЕР	791,1	29
Б. Дністровський	41,6	34
Арцизький	15,9	28
Саратський	15,9	23
Гарутинський	14,8	41
Татарбунарський	13,7	17
4-й КЛАСТЕР	101,9	143
Ізмаїльський	69,5	18
Болградський	38,7	18
Кілійський	29,7	15
Ренійський	20,0	7
5-й КЛАСТЕР	159,3	58
Всього по області	1288,6	608

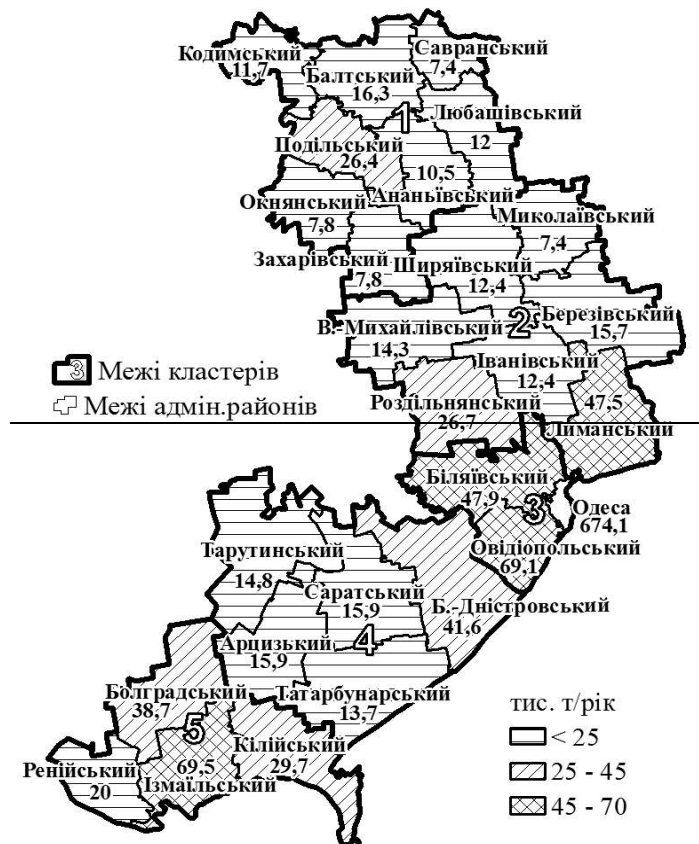


Рис. 1 – Розрахункові обсяги генерації ТПВ (тис. т/рік) по районах Одеської області

таження (M_T), який визначається як сума вагових одиниць всіх видів відходів (твердих, рідких, газоподібних) від промислових, сільськогосподарських і комунальних об'єктів за часовий проміжок в 1 рік і віднесена до площі адміністративного району (або області), в межах якої розташовані ці об'єкти, тобто M_T виражається в тис. т/км² на рік [4]. Для усунення протиріччя між розрахунковими обсягами ТПВ і кількістю сміттєзвалищ в межах кластерів та їх зіставлення із розрахунками M_T , виключені обсяги утворення ТПВ власно Одесою. Максимальні значення M_T характерні для Кілійського, Білгород-Дністровського, Ізмайльського, Ренійського та Біляївського районів. Просторовий розподіл техногенного навантаження на територію, за результатами визначення M_T і кластерного аналізу, помітно відрізняються.

Найбільший рівень техногенного навантаження приходить на райони центральної і південної частин Одеської області, що також необхідно враховувати при обґрунтуванні місць розміщення ПТПВ [5]. ПТПВ рекомендується розміщувати на землях несільськогосподарського призначення, погіршеної якості, не зайнятих зеленими насадженнями [2]. Станом на

01. 01. 2016 р. земельні ресурси області (3331,4 тис. га) характеризуються надзвичайно високим рівнем освоєння. Землі сільськогосподарського призначення складають 79,8 %, у тому числі зайняті під рілля – 62,3 %. До порушених земель віднесено 2,4 тис. га. Площа земель, відведена під ТПВ, складає 0,5 тис. га [6], але може бути збільшена в межах кластерів під розміщення полігонів ТПВ за рахунок деградованих земель.

Значною часткою зниження якості ґрунтів є саме зменшення потужності родючого шару. Основним фактором, цього явища, перш за все, виступають ерозійні процеси, якими охоплено аж 12,773 тис. га території районів Одеської області. Схильність до формування та розвитку ерозійних процесів визначається низкою природних умов та антропогенним впливом. Сукупність таких чинників та їх інтенсивність визначають ступінь розповсюдженості проявів ерозійних процесів. Ось чому, частота проявів цих процесів змінюється з досить сильної на північному заході до слабкої на півдні Одеської області (рис. 2).

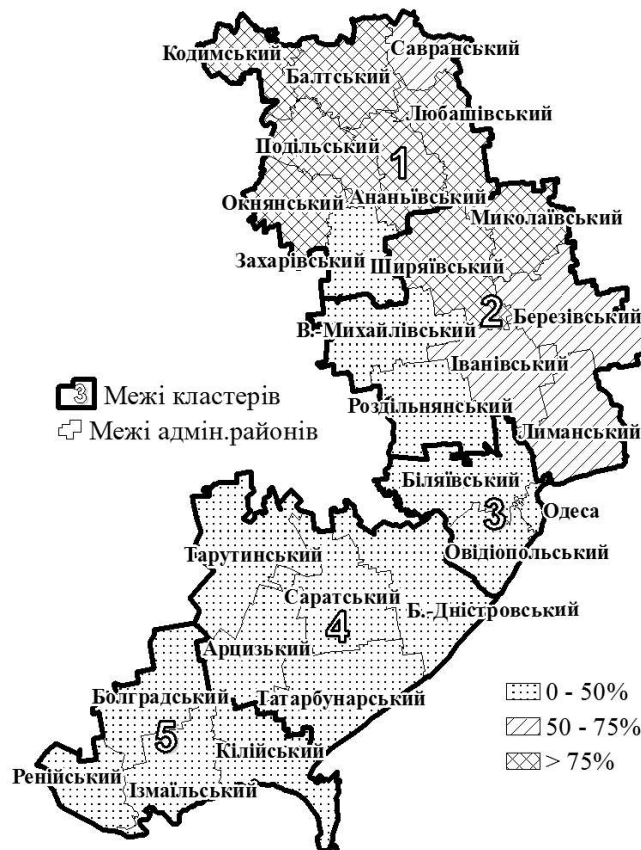


Рис. 2 – Відносна площа (%) розповсюдженості ерозійних процесів по районах Одеської області

Ступінь вразливості ерозійними процесами північно-західних районів області складає 74,6-95,8 %, декілька нижчий він для Ширяївського – 78,2 %, Миколаївського – 77,5 %, Березівського, Лиманського та Роздільнянського – 50 % площі цих районів.

Особливості геологічної будови, в сукупності з іншими чинниками, обумовили також розвиток ряду екзогенних геологічних процесів [6, 7, 8], які, безумовно, обмежують розміщення полігонів. Одним із таких небезпечних процесів, який характеризується чималим розповсюдженням на досліджуваній території і який викликаний техногенною діяльністю, є підтоплення.

Розвиток процесу підтоплення супроводжується зміною фізико-механічних властивостей ґрунтів, зменшенням їх несучої здатності та природного ґрунтового опору, активізацією небезпечних геологічних процесів (карст, суфозія, зсуви).

Слід нагадати, що на формування процесу підтоплення значною мірою впливають природні та техногенні фактори. До природних відносяться геологічні (залягання водотривких порід близько до денної поверхні, фільтраційна анізотропність лесових порід та їх низька водовіддача) і геоморфологічні фактори (слабка дренажність територій, яка обумовлена незначною щільністю ерозійної мережі, малий нахил поверхні, що призводить до затримки поверхневого стоку; замкнуті безстічні території). Зростання інтенсивності процесу підтоплення зумовлене також низкою антропогенних чинників, таких як, незбалансована господарська діяльність, а саме: урегульованістю річкового стоку, зрошенням сільськогосподарських земель, зростанням ролі централізованого водопостачання і значними втратами (витоками) з мереж водопостачання та водовідведення, освоєнням та забудовою територій, особливо з використанням пальових фундаментів, засипкою днищ балок та ярів тощо. Зрошувальне землеробство відноситься до техногенного фактору, яке набуло широкого розповсюдження на території досліджень. Зрошення є одним з головних чинників порушення загального водного балансу та балансу ґрунтових вод (ГВ). Це призводить до корінних змін гідрогеологічних і екологічних умов: забрудненню і змінам хімічного складу підземних вод (ПВ), збільшенню інтенсивності процесів водообміну і формуванню нових водонесних горизонтів.

Зрошення зумовлює комплексний розвиток декількох процесів: підтоплення, ерозію, засо-

лення, карст, просідання лесових ґрунтів та інше. На даний час практично вся територія Одеської області, що зайнята зрошуваними масивами, а також землі, які прилягають до них, є зоною постійного підтоплення.

Граничні значення глибин залягання ГВ, в залежності від цільового призначення території, мають різні відмітки. Рівні ГВ на ділянках розміщення ПТПВ повинні знаходитися на глибині не менше 2 м від його основи [2]. Ділянки з рівнем ГВ 0-2 і 2-4 м відносяться до підтоплених та потенційно підтоплених територій відповідно.

До цієї категорії належить чималі площі територій районів області. Найбільші площі з рівнем ГВ 0-4 м характерні для Савранського (559 км² – 90 % від площі району) Ренійського (729 км² – 83 %), Роздільнянського (1125 км² – 82 %), Біляївського (1235 км² – 82 %), Любашівського (841 км² – 76 %), Кілійського (1011 км² – 75 %), Балтського (947 км² – 73 %), Ширяївського (1086 км² – 72 %), Березівського (1135 км² – 69 %), Лиманського (1024 км² – 68 %), Великомихайлівського (955 км² – 66 %), Ананьївського (710 км² – 64 %), Кодимського (523 км² – 64 %), Миколаївського (693 км² – 63 %) та Захарівського (591 км² – 61 %) районів (рис. 3).

Розміщення ПТПВ не дозволяється в зонах активного карсту [2, 5]. Площі розвитку карстових процесів характерні для території поширення карбонатних порід, що розташовані вище за базис ерозії. Подібні геологічні умови відповідають територіям дев'яти районів Одеської області. Найбільш висока ураженість покритим та відкритим карстом характерна для території Овідіопільського, Березівського, Лиманського, Іванівського, Біляївського та Роздільнянського районів (від 14,84 до 7,47 % від площі району). На території інших районів площа розвитку карстових процесів коливається у межах 2,83-0,7 %, або ці процеси взагалі не розвинені (рис. 4)

В межах досліджуваної території найбільш інтенсивний розвиток мають екзогенні геологічні процеси (ЕГП), що пов'язані з дією сили тяжіння (зсуви, обвали, осипи), а також з дією поверхневих і підземних вод (площинний змив, ерозія, підтоплення, карст, суфозія, просадка лесових порід). До основних природних факторів, що викликають розвиток таких процесів на даній території відносяться: геологічна будова, гідрогеологічні умови, рельєф місцевості, клімат, інтенсивність і контрастність сучасних тектонічних рухів [7, 8]. В той же час такі процеси, як ерозія та абразія провокують

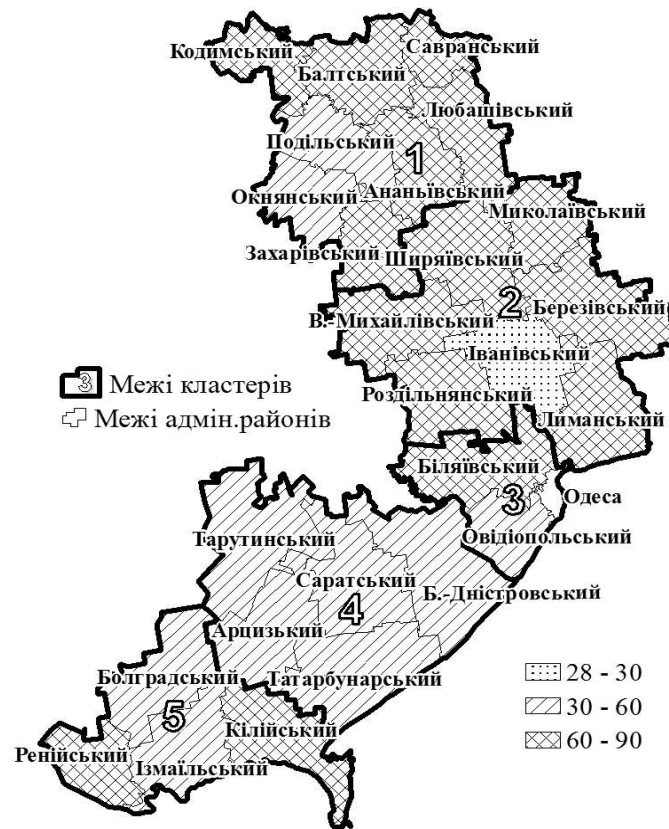


Рис. 3 – Відносна площа (%) підтоплених та потенційно підтоплених територій по районах Одеської області

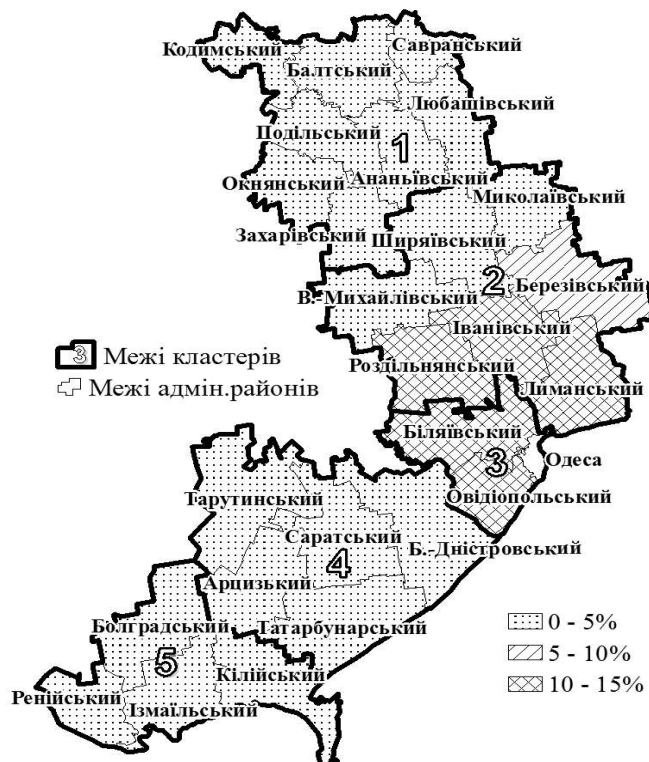


Рис. 4 – Відносна площа (%) розвитку карстових процесів по районах Одеської області

розвиток інших ЕГП. Різноманіття факторів і відмінності в ступеню їхнього прояву, наклали відбиток на види, активність і просторове поширення інших ЕГП.

За даними ПричорноморДРГП на території Одеської області зафіксовано більш ніж 6000 зсувів, які розповсюджені на схилах річкових долин, лиманів і моря. В яружно-балковій мережі виявлено до 5000 зсувів. За їх кількістю Одеська область займає в Україні перше місце, за площею розповсюдження – четверте. Приблизно п'ята частина зсувів припадає на береги моря і лиманів. Швидкість збільшення кількості зсувів сягає 100-200 одиниць на рік. Все це свідчить про начальність комплексного вивчення цього процесу та факторів їх формування і розвитку [6, 7, 8]. Максимальна кількість зсувів характерна для Подільського, Ананівського, Окнянського, Балтського та Любашівський районів. Відсутні зсуви на території Татарбунарського, Ізмайльського та Кілійського районів (рис. 5).

Антропогенний вплив на геологічне середовище виявився настільки суттєвим, що поряд з природними він стає повноцінним фактором розвитку ЕГП (рис. 6).

Отже, в деяких районах Одеської області,

процеси, що утворюються також під впливом техногенного навантаження, охоплюють до 85 % території. Як бачимо, в найбільшому ступені техногенними ЕГП уражені Овідіопольський (81 % від загальної площі), Біляївський (69,8 %), Кілійський (67,5 %) і меншою мірою – Любашівський (37,8 %) райони. Важливо підкреслити, що для території Одеської області поширення ЕГП та їх інтенсивність пов'язані з проявом процесів ендегенного генезису, серед яких слід назвати глибокофокусні землетруси зони Вранча, що відносяться до найбільш небезпечних. В зв'язку з їх слабким затуханням завдяки відстані територія Одеської області, в залежності від рівнів небезпеки (ймовірність 1 %, 5 % і 10 %), може перебувати під впливом потенційних землетрусів інтенсивністю від 8–10 балів на її заході до 6–7 балів – на сході [6, 8]. Сейсмічні умови на окремих ділянках можуть суттєво змінюватись під впливом інженерно-геологічних процесів, які обумовлені як природними, так і техногенними чинниками.

Щодо рівня сприятливості районів і кластерів області для розміщення полігонів ТПВ за окремими показниками, можна судити за даними, наведеними в табл. 2 та в узагальненому виді на рис. 7.

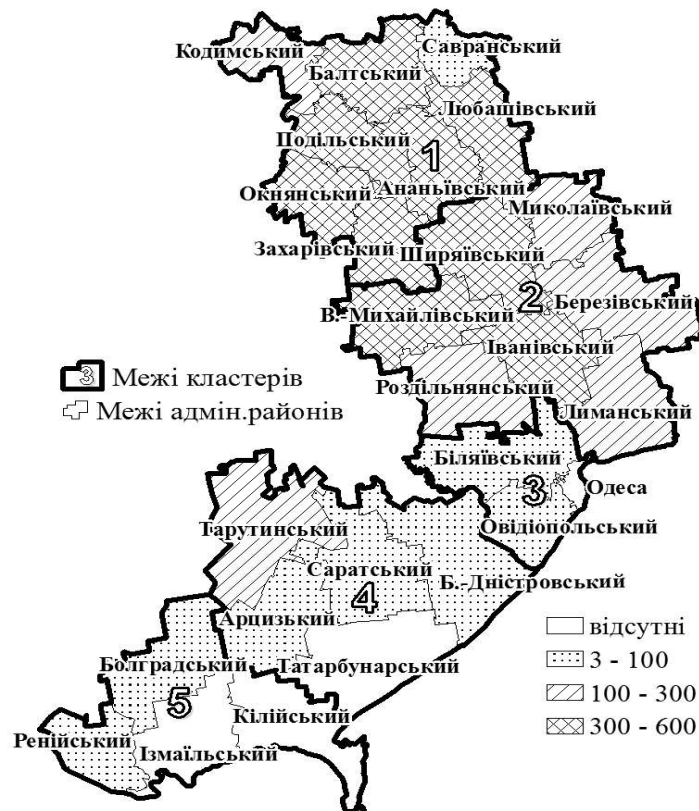


Рис. 5 – Кількість зсувів по районах Одеської області

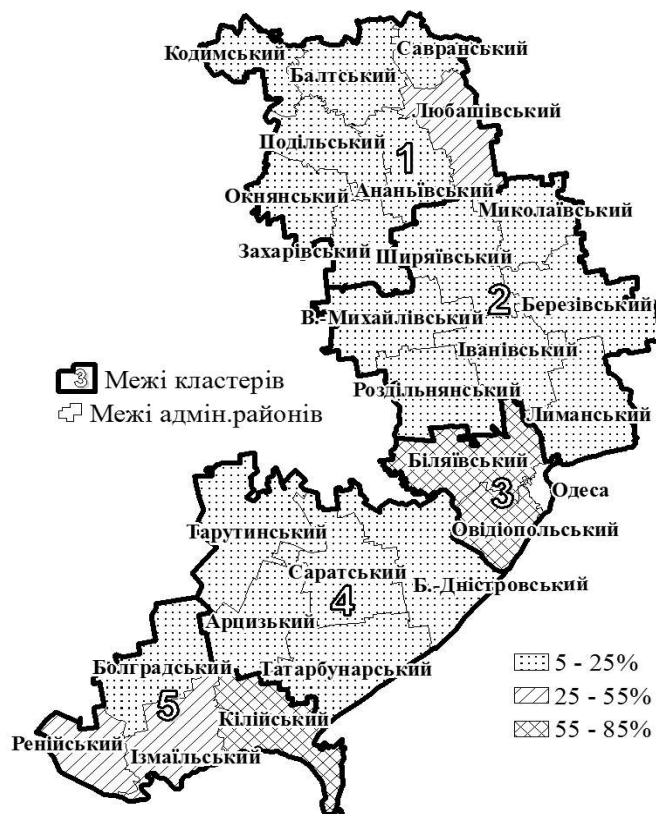


Рис. 6 – Техногенні екзогенні геологічні процеси, % від зальної площі районів Одеської області

Таблиця 2 – Рівень сприятливості території районів Одеської області для розміщення полігонів ТПВ за окремими показниками

РАЙОН	ПОКАЗНИК								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
Подільський	2	2	3	3	2	1	1	3	17
Балтський	3	3	3	3	1	1	1	3	18
Любашівський	3	3	3	3	1	1	1	2	17
Кодимський	3	2	3	3	2	1	2	2	18
Ананьївський	3	3	3	3	2	1	1	2	18
Захарівський	3	3	3	2	1	1	1	2	16
Окнянський	3	2	3	3	2	1	1	2	17
Савранський	3	2	3	2	1	1	3	2	17
1-й КЛАСТЕР	2,9	2,5	3,0	2,8	1,5	1,0	1,4	2,3	17,3
Роздільнянський	2	2	3	3	1	2	2	2	17
Березівський	3	2	3	2	1	1	2	2	16
Великомихайлівський	3	2	3	3	1	1	1	2	16
Ширяївський	3	2	3	3	2	1	1	2	17
Іванівський	3	2	3	2	2	2	1	2	17
Миколаївський	3	2	3	3	2	1	1	2	17
Лиманський	1	2	3	2	1	2	2	2	15
2-й КЛАСТЕР	2,6	2,0	3,0	2,6	1,4	1,4	1,4	2,0	16,4
Овідіопольський	1	1	3	1	2	1	3	1	13
Біляївський	1	3	2	1	1	2	3	1	14
3-й КЛАСТЕР	1,0	2,0	2,5	1,0	1,5	1,5	3,0	1,0	13,5

Продовження табл. 2

РАЙОН	ПОКАЗНИК								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Сума
Білгород-Дністровський	2	2	1	1	1	1	1	3	12
Арцизький	3	2	3	1	2	1	3	3	18
Саратський	3	1	3	1	1	1	3	3	16
Тарутинський	3	2	3	1	1	1	2	3	16
Татарбунарський	3	2	3	1	2	1	3	3	18
4-й КЛАСТЕР	2,8	1,8	2,6	1,0	1,4	1,0	2,4	3,0	16,0
Ізмаїльський	1	2	2	1	1	1	3	2	13
Болградський	3	2	3	1	1	1	3	3	17
Кілійський	3	2	1	1	1	1	3	1	13
Ренійський	3	2	2	1	1	1	3	2	15
5-й КЛАСТЕР	2,5	2,5	2,0	1,0	1,0	1,0	3,0	1,6	14,5

Пояснення до таблиці 2 :

- 1 – розрахункові обсяги утворення ТПВ (тис. т/рік);
- 2 – відносна площа звалищ та полігонів ТПВ (%);
- 3 – модуль загального техногенного навантаження (М_Т);
- 4 – відносна площа ураженості земель ерозійними процесами (%);
- 5 – відносна площа підтоплених та потенційно підтоплених земель (%);
- 6 – відносна площа розвитку карстових процесів (%);
- 7 – кількість зсувів у межах району;
- 8 – відносна площа розвитку техногенних екзогенних геологічних процесів (%).

Оцінка показників в балах:

- 3 бали – сприятливі умови;
- 2 бали – відносно сприятливі умови;
- 1 бал – несприятливі умови.

Оцінка кожного показника визначається у відповідних балах.



Рис. 7 – Рівень сприятливості території Одеської області для розміщення полігонів

За отриманими даними не представляється можливим рекомендувати конкретні місця для розміщення полігонів ТПВ, але вони є основою для позитивної або негативної оцінки того чи іншого показника в межах окремого району Одеської області.

Наприклад, значні обсяги ТПВ (1) та велика відносна площа сміттєзвалищ («полігонів») ТПВ (2) є негативним фактором. Розміщення полігонів ТПВ є додатковим техногенним навантаженням на НПС, а тому ураховується рівень техногенного навантаження, тобто значення модуля техногенного навантаження (M_T) – показник (3). Чим більша відносна площа ураженості земель ерозійними процесами, тим в перспективі можуть зростати частка порушених земель – ресурсів для розміщення полігонів ТПВ, тому цей фактор (4) умовно може оцінюватися як позитивний. Оскільки ГВ на ділянці розміщення полігонів ТПВ повинні знаходитися на глибині не менше 2 м від його основи, то відносна площа земель з РГВ більше 0–4 метри є, безперечно, позитивним фактором (5). Розміщення полігонів ТПВ не допускається в зонах розвитку небезпечних геологічних процесів (у т. ч. зсувів і карсту), а тому показники 6 (відносна площа розвитку карстових процесів), 7 (кількість зсувів у межах району) і 8 (відносна площа розвитку техногенних екзогенних геологічних процесів) є для цього негативним показником.

Який із вказаних факторів є пріоритетним на даному етапі досліджень, сказати не представляється можливим.

Крім того, вимоги до розміщення полігонів ТПВ не обмежуються оцінкою значущості (або важливості) вищезазначених показників [2, 9].

Середні значення суми показників, що розглядаються, для окремих кластерів можуть бути представлені таким чином: 1 кластер – 17,3 бали; 2 кластер – 16,4 бали; 3 кластер (без урахування Одеси) – 13,5 бали; 4 кластер – 16,0 балів; 5 кластер – 14,5 бали (див. рис. 7).

Отже, середні значення показників для окремих територіальних кластерів розрізняються несуттєво, що свідчить про наявність відносно однакових умов на території Одеської області за проаналізованими показниками.

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки: 1) за проаналізованими фізико-географічними, інженерно-геологічними, гідрогеологічними та техногенними показника-

ми можливості розміщення сучасних міжрайонних полігонів ТПВ, на території районів Одеської області нерівнозначні; 2) оцінка сприятливості території районів Одеської області для розміщення полігонів ТПВ за окремими показниками має попередній (пошуковий) характер, але вказує на те, що процеси на території Одеської області мають як позитивне, та і негативне значення; їх питомий вклад порівняно з іншими показниками (відстань до населених пунктів, наявність доріг з твердим покриттям тощо) є більш суттєвим; 3) подальше обґрунтування обраних ділянок для розміщення сучасних міжрайонних полігонів ТПВ, потребує додаткових досліджень, до складу яких входять: гідрометеорологічні – для оцінок просторово-часового розподілу атмосферних опадів, температур та інших показників; гідрогеологічні – оцінка забруднення підземних вод внаслідок процесів водообміну між поверхневими, ґрунтовими і підземними водами на ділянках розміщення ТПВ; визначення границь зон техногенного впливу полігонів ТПВ; проектування повинно супроводжуватись прогнозними оцінками змін гідрогеологічних та інженерно-геологічних умов і включати захисні заходи щодо усунення негативного впливу полігонів ТПВ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p> (дата звернення: 21.01.2018).
2. ДБН В.2.4-2 2005 України. Проектування. Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування. URL: <http://profidom.com.ua/v-2/v-2-4/1703-dbn-v-2-4-2-2005-poligoni-tverdih-pobutovih-vidkhodiv-osnovni-polozhenna-projektuvanna> (дата звернення: 05.06.2018).
3. Екологічний паспорт. Одеська область. Одеса, 2017. URL: https://menr.gov.ua/files/docs/eco_passport (дата звернення 27.02.2018 р.).
4. Адамко О. М., Рудько Г. І. Екологічна геологія. Київ : Манускрипт, 1997. 348 с.
5. Оцінка техногенного впливу на геологічне середовище : підручник / Сафранов Т. А. та ін. Одеса : Екологія, 2012. 272 с.
6. Сафранов Т. А., Чугай А. В., Берлінський М. А. Стан і якість природного середовища прибережної зони Північно-Західного Причорномор'я : монографія / за ред. Т. А. Сафранова, А. В. Чугай. Харків : ФОП Панов А.М., 2017. 298 с.
7. Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы) : монография. В 2 т. Т. 2. Закономерности формирования и развития оползневых процессов на территории Северного Причерноморья / Е. А. Черкез, С. Н. Шаталин; под ред. Г. И. Рудько, В. А. Осипюка. Черновцы : Букрек, 2012. 744 с.

8. Фесенко А. В., Караван А. И., Годенко Г. Е. Опасные экзогенные геологические процессы на территории Северо-Западного Причерноморья (особенности развития, картирование, ГИС-моделирование и анализ). Одесса : Из-во «ВМВ», 2008. 176 с.
9. Тітенко Г. В., Широкоступ С. М. Підходи до вирішення проблеми видалення твердих побутових відходів в системі екологічного менеджменту територій. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2017. № 1-2 (27). С. 136-142.
4. Adamenko, O.M., Rudko, G.I. (1997). *Ekolohichna heolohiia* [Ecological geology]. Kyiv : Manuscript (in Ukr.)
5. Safranov, T.A. et al. (2012). *Otsinka tekhnogenoho vplyvu na heolohichne seredovyshe* [Evaluation of technogenic influence on the geological environment] Odesa : Ekolohiia (in Ukr.)
6. Safranov, T.A., Chugai, A.V. (Eds). (2017). *Stan i yakist pryrodnoho seredovyscha pryberezhnoi zony Pivnichno-Zahidnoho Prychornomorja* [Condition and quality of the natural environment of the coastal zone of the Northwest Black Sea]. Kharkiv : FOP Panov A.M. (in Ukr.)
7. Cherkez, Ye.A., Shatalin, S.N. (2012). [Regularities of landslides development within the Northern part of Black Sea region]. In: Rudko, G.I., Osiuk, V.A. (Eds). *Inzhener-naya geodinamika Ukrainy i Moldovy (opolznevyye geosistemy). V 2 t.* [Engineering geodynamics of Ukraine and Moldova (landslide geosystems). In 2 vol.]. Chernovtsy : Bukrek, vol. 2. (in Russ.)
8. Fesenko, A.V., Karavan, A.I., Godenko, G.E. (2008). *Opasnye ekzogennye geologicheskie processy na territorii Severo-Zapadnogo Prichernomorja (osobennosti razvitiya, kartirovanie, GIS-modelirovanie i analiz)* [Dangerous exogenous geological processes on territory of Northwestern Black Sea region (features of development, mapping, GIS-modeling and analysis)]. Odessa : «VMV». (in Russ.)
9. Titenko, G.V., Shirokostup, S.M. (2017). [Approaches to the solution of solid waste disposal in the system of ecological management of territories]. *Liudyna ta dovkillia. Problemy neokolohii* [Man and the environment. Problems of neocology], 1-2(27), 136-142. (in Ukr.)

REFERENCE

1. *Natsionalna strategiia upravlinnia vidhodamy v Ukraini do 2030 roku (rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 8 lystopada 2017 r. № 820)* [National strategy for waste management in Ukraine until 2030]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-p> (accessed 21.01.2018) (in Ukr.)
2. *Derzhavni budivel'ni normy Ukrainy. Proektuvannya. Polihony tverdykh pobutovykh vidkhodiv. Osnovni polozhennya proektuvannya. DBN V.2.4-2 2005* [State building norms of Ukraine. Designing. Polygons of solid household waste. Basic design provisions. SBRB 2.4-2 2005]. Available at: <http://profidom.com.ua/v-2/v-2-4/1703-dbn-v-2-4-2-2005-poligoni-tverdih-pobutovih-vidkhodiv-osnovni-polozhenna-projektuvanna> (accessed 05.06.2018) (in Ukr.)
3. *Ekolohichniy pasport. Odeska oblast* [Ecological passport. Odessa region]. Available at: https://menr.gov.ua/files/docs/eco_passport (accessed 27.02.2018 p.) (in Ukr.)

EVALUATION OF THE EXTENT OF FAVOURABLENESS OF THE TERRITORY OF THE ODESA REGION FOR PLACEMENT OF SOLID HOUSEHOLD WASTE LANDFILLS

T. A. Safranov¹, Dr. Sc. (Geol.-Min.),
Ye. A. Cherkez², Dr. Sc. (Geol.-Min.), **S. M. Shatalin²**

¹*Odessa State Environmental University
 15 Lvovskaya str., Odessa, 65016, Ukraine, safranov@ukr.net*

²*Odesa I. I. Mechnikov National University,
 2 Dvoryanska, Odessa, 65082, Ukraine, eacherkez@gmail.com*

The substantiation of selection of places for possible placement of modern interdistrict landfills of solid household waste (SHW) in the territory of the Odessa Region is an urgent task of ensuring ecological safety and sustainable development of the region. The purpose of the work is to assess natural and socio-economic conditions across the administrative districts of the Odessa Region in connection with substantiation of selection of places for possible placement of modern SHW landfills. The scope of the study includes solid waste landfills. Subject of the study covers substantiation of selection of places for possible placement of SHW landfills in Odessa Region. A critical analysis of the regulations containing the requirements to modern SHW landfills and their locations formed the methodological basis of the work. When carrying out the study published data and materials of own research were used. Schematic maps were built using one of the tools of Geographic Information Systems (GIS) – the Quantum GIS package. To estimate the degree of favourableness of the territory of the Odessa Region for placement of SHW landfills the following indicators were used: estimated volumes of SHW formation, thousand tons per year; relative area of dumps and landfills (%); module of total technogenic load; relative area of land damaged by erosion processes (%); relative area of impounded and potentially impounded lands (%); relative area of development of karst occurrence (%); number of landslides within the area; relative area of development of technogenic exogenous geological processes (%). The above indicators are expressed in points: 3 points - favorable conditions; 2 points - relatively favorable conditions; 1 point – unfavorable conditions. At this stage of research it is impossible to establish which of these indi-

cators is a priority. According to the analyzed physical and geographical, engineering and geological, hydrogeological, technogenic and socio-economic indicators the possibilities of placement of modern interdistrict SHW landfills within the territory of the districts of the Odessa Region are nonequivalent. Theoretical and practical importance: an effective system of greening recreational and tourism activities will help to improve the environment within the territory of the National Nature Park in the Lower Dniester Basin.

Keywords: solid household waste, places for landfills of solid household waste.

ОЦЕНКА БЛАГОПРИЯТНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ОДЕССКОЙ ОБЛАСТИ ДЛЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЁРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ

Т. А. Сафранов¹, д-р геол.-мін. наук,
Е. А. Черкез², д-р геол.-мін. наук, **С. М. Шаталин²**

¹ Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, Одесса, 65016, Украина, safranov@ukr.net
² Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина, eacherkez@gmail.com

Обоснование мест возможного размещения современных межрайонных полигонов твердых бытовых отходов (ТБО) на территории Одесской области является актуальной задачей обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития региона. Целью исследования является оценка природных условий на территории административных районов Одесской области в связи с обоснованием мест возможного размещения современных полигонов ТБО. Задачи исследования: проанализировать требования к современным полигонам ТБО и местам их размещения; дать оценку природных и социально-экономических факторов, способствующих размещению полигонов ТБО на территории Одесской области. Объект исследования – полигоны ТБО, предмет исследования - обоснование мест возможного размещения полигонов ТБО на территории Одесской области. Методологической основой работы является анализ положений относительно требований к современным полигонам ТБО и местам их размещения. При выполнении работы были использованы опубликованные данные, а также материалы собственных исследований. Схематические карты были построены с использованием одного из инструментов географических информационных систем (ГИС) - пакета Quantum GIS. Для оценки уровня благоприятности территории районов Одесской области для размещения полигонов ТБО использованы следующие показатели: расчетные объемы образования ТБО (тыс. тонн/ год); относительная площадь свалок и полигонов ТБО (%); модуль общего техногенной нагрузки; относительная площадь пораженности земель эрозионными процессами (%); относительная площадь подтопленных и потенциально подтопленных земель (%); относительная площадь проявлений карстовых процессов (%); количество оползней в пределах района; относительная площадь развития техногенных экзогенных геологических процессов (%). Указанные показатели оценены в баллах: 3 балла - благоприятные условия; 2 балла - относительно благоприятные условия; 1 балл - неблагоприятные условия. Какой из указанных показателей является приоритетным, на данном этапе исследований, сказать не представляется возможным. По проанализированному физико-географическим, инженерно-геологическим, гидрогеологическим, техногенным и социально-экономическим показателям возможности размещения современных межрайонных полигонов ТБО на территории районов Одесской области неравнозначны. Новизна полученных результатов заключается в обосновании комплексного подхода к выбору мест возможного размещения современных полигонов ТБО. В работе обоснованы подходы к выбору мест размещения полигонов ТБО по комплексу критериев. Выбранные районы Одесской области, наиболее благоприятные для размещения полигонов ТБО.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, места размещения полигонов твердых бытовых отходов.

Подання до редакції : 02. 05. 2018
Надходження остаточної версії : 25. 05. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018

УДК: 504.3

ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА НЕНАВМИСНОГО УТВОРЕННЯ СТІЙКИХ ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ОДЕСА)

В. І. Михайленко,

Т. П. Шаніна, канд. хім. наук,

Т. А. Сафранов, д-р геол.-мін. наук

Одеський державний екологічний університет,

вул. Львівська 15, 65000, м. Одеса, vladislav.mykhailenko@gmail.com

Стійкі органічні забруднюючі речовини – це речовини, які представляють собою серйозну глобальну загрозу здоров'ю людини і її навколишньому середовищу. Вони володіють певними властивостями: стійкість до розкладання, біоаккумулятивність, надзвичайна токсичність навіть при надмалих концентраціях, здатність до трансграничного переносу і осадження. На жаль, в Україні відсутня відокремлена нормативно-законодавча база по стійким органічним забруднюючим речовинам. Всі норми та правила регулювання утворення цих забруднюючих речовин входять до великої кількості різноманітних законодавчих актів, що не дає змогу систематизувати та конкретизувати дії у сфері поводження з СОЗР. Метою роботи є оцінка основних джерел ненавмисного утворення стійких органічних забруднюючих речовин (на прикладі міста Одеса). У ході роботи було встановлено, що основними джерелами ненавмисного утворення СОЗР в Одесі є: спалювання органічного палива стаціонарними та пересувними джерелами; виробництво будівельних матеріалів; відкриті звалища твердих побутових відходів; копчення м'ясних і рибних продуктів; функціонування крематоріїв; куріння тютюнових виробів; функціонування міської системи каналізації. Проведено аналіз законодавчої бази України, в результаті якого зроблено висновок про відсутність окремої законодавчої бази по СОЗР в Україні; вперше для м. Одеса встановлено перелік основних джерел ненавмисного утворення цих речовин, порахована маса стійких органічних забруднюючих речовин, яка утворюється від кожного виду розглянутих виробництв з використанням найсучасніших європейських методик, розрахована сумарна їх маса генерації по території міста Одеса. Так як різні методики дають результати в різних одиницях вимірювання, було здійснено перехід до однієї одиниці вимірювання. Опираючись на поняття «гранично допустима концентрація», була порахована допустима кількість молекул СОЗР в еквіваленті на 2,3,7,8-тетрахлордібензодіоксин (ТХДД), яка може потрапити в організм одної людини безпосередньо через органи дихання. Проведено порівняння кількості молекул 2,3,7,8-ТХДД, які потрапляють у атмосферне повітря з допустимою кількістю, що приходить на одного мешканця Одеси, зроблено відповідні висновки відповідно до зроблених розрахунків ненавмисного утворення СОЗР в м. Одеса протягом одного року. Також, опираючись на отримані результати, встановлено пріоритетні джерела ненавмисного продукування стійких органічних забруднюючих речовин, що дозволяє правильно та вчасно прийняти відповідні заходи щодо скорочення утворення цих забруднюючих речовин.

Ключові слова: стійкі органічні забруднюючі речовини, поліхлоровані дибензодіоксини та дибнезофурані (ПХДД/Ф), поліхлоровані біфеніли (ПХБ), гексахлорбензол (ГХБ), емісія, забруднення, Одеса.

1. ВСТУП

Стрімкий технологічний розвиток людства, який особливо інтенсивно спостерігається останніми десятиріччями, став причиною чисельних екологічних викликів, що в свою чергу, справедливо, можна назвати світовими. Одним із прикладів світових екологічних проблем сучасності є утворення стійких органічних забруднюючих речовин.

Під час вивчення матеріалів, які стосуються даної проблеми, ми звернули увагу на те, що у

україномовних та російськомовних джерелах словосполучення «стійкі органічні забруднювачі, стойкие органические загрязнители» (СОЗ) є загальноживаною у всіх джерелах інформації. Можливо, що словосполучення «стійкі органічні забруднювачі» було вжито через недосконалий переклад з англійської мови словосполучення «Persistent Organic Pollutants» (POP), де аббревіатура складається з 3-х літер, а слово «pollutants» перекладається не як «забруднювачі», а як «поллютанти», тобто «забруднюючі речовини». Згід-

но до [1], «забруднювачі» – це «джерела забруднення», а тому словосполучення «стійкі органічні забруднювачі» не є коректною. За М. Ф. Реймерсом (1990), забруднювачі – це також джерела забруднення оточуючого середовища. Саме тому ми пропонуємо вживати словосполучення «стійкі органічні забруднюючі речовини» (СОЗР), який, на нашу думку, є коректнішим.

СОЗР являють собою клас надзвичайно небезпечних поллютантів, що представляють собою серйозну глобальну загрозу здоров'ю людини і її навколишньому середовищу. Не дивлячись на величезну кількість СОЗР, всі вони володіють певними спільними властивостями: стійкість до розкладання; біоаккумулятивність; надзвичайна токсичність навіть при надмалих концентраціях; здатність до трансграничного переносу і осадження [2].

Основним міжнародним правовим актом, що встановлює норми з охорони навколишнього середовища і здоров'я населення від впливу СОЗР, є Стокгольмська конвенція про СОЗР, яка прийнята 22 травня 2001 року, та ратифікована в Україні у 2007 році. Згідно з цією конвенцією, всі СОЗР можна поділити на 2 групи: 1) отримані цілеспрямовано – для прямого використання (пестициди, промислові продукти); 2) вироблені ненавмисно (продукти спалювання палива, побічні продукти технологічних процесів).

На жаль, в Україні відсутня відокремлена нормативно-законодавча база по СОЗР. Всі норми та правила регулювання утворення цих забруднюючих речовин входять до великої кількості різноманітних законодавчих актів, що не дає змогу систематизувати та конкретизувати дії у сфері поводження з СОЗР.

Метою роботи є оцінка основних джерел ненавмисного утворення стійких органічних забруднюючих речовин (на прикладі міста Одеса).

2. ВИХІДНІ ДАНІ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

В роботі розглядається проблема ненавмисного утворення СОЗР в Одесі протягом одного року (2012 р.). У ході роботи було встановлено, що основними джерелами ненавмисного утворення СОЗР в Одесі є:

- спалювання органічного палива стаціонарними та пересувними джерелами;
- виробництво будівельних матеріалів;
- відкриті звалища твердих побутових відходів (ТПВ);
- копчення м'ясних і рибних продуктів;

- функціонування крематоріїв;
- куріння тютюнових виробів;
- функціонування міської системи каналізації.

3. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Ненавмисне утворення СОЗР при спалюванні органічного палива

Викиди ненавмисно утворених СОЗР у продуктах спалювання органічного палива у місті Одеса слід розглядати від двох видів джерел: стаціонарних та пересувних. До викидів від стаціонарних джерел було віднесено утворення СОЗР при спалюванні органічного палива для теплопостачання комунально-побутового сектору. До викидів від пересувних джерел було віднесено утворення СОЗР при спалюванні моторного бензину, дизельного палива і мазуту.

Як і у всіх процесах спалювання, СОЗР утворюються після завершення процесу горіння і охолодження димових газів. Саме тому викиди діоксинів і фуранів в значній мірі залежать від умов, при яких проводиться охолодження топкових і газів, що відходять. Залишкові частинки сажі, а також хлор, який містився в вугіллі, рекомбінують в присутності хлоридів металів як каталізаторів з утворенням СОЗР. Основними шляхами викидів у навколишнє середовище є емісія в повітря, особливо в складі летючої золи.

З використанням джерел інформації [3, 4, 5, 6, 7, 8] нами були розраховані валові ненавмисні викиди СОЗР від стаціонарних та пересувних джерел Одеси у 2012 році при використанні відповідних об'ємів палива. За результатами розрахунку утворення СОЗР при спалюванні стаціонарними джерелами склало 1,48 г ТЕ ПХДД/Ф, 470,4 г ТЕ ПХБ та 8,67 г ТЕ ГХБ. Для пересувних джерел була розрахована маса утворених ПХДД/Ф, яка склала 0,45 г ТЕ ПХДД/Ф (табл. 1). Причиною розрахунків лише за однією забруднюючою речовиною стало те, що методика розрахунку [8] дозволяє визначити лише ненавмисне утворення ПХДД/Ф. Таким чином, сумарне утворення СОЗР від спалювання органічного палива в м. Одеса складає 1,93 г ТЕ ПХДД/Ф, 470,4 г ТЕ ПХБ та 8,67 г ТЕ ГХБ.

3.2 Ненавмисне утворення СОЗР при виробництві будівельних матеріалів

Виробництво цементу. Згідно до [9], в Одесі єдиним виробником цементу є Одеський цементний завод, об'єм виробництва якого складає 550000 т/рік [10].

Таблиця 1 – Ненавмисне утворення СОЗР у м. Одеса у 2012 році

Сировина			Утворення СОЗР по напрямкам					
Назва	Кількість	Од.вимірювання	ПХБ	ГХБ	ПХДД/Ф			Од.вимірювання
			Повітря	Повітря	Повітря	Продукт	Залишок	
Індивідуальне теплопостачання комунально-побутового сектору, стаціонарні джерела								
Вугілля	46861	т.у.п	466,8	8,51	1,4	-	-	г
Природний газ	1324700	т.у.п	-	-	0,058	-	-	г
Дерево	1008,1	т.у.п	0,002	0,15	0,003	-	-	г
Промислове теплопостачання комунально-побутового сектору, стаціонарні джерела								
Вугілля	713,7	т.у.п	3,55	0,012	0,011	-	-	г
Природний газ	527840	т.у.п	-	-	0,0008	-	-	г
Дерево	-	т.у.п	-	-	-	-	-	-
Рідке	70205	т.у.п	-	-	0,002	-	-	г
Спалювання органічного палива, пересувні джерела								
Бензин	190789	т.у.п	-	-	0,281	-	-	г ТЕ
Дизель	140528	т.у.п	-	-	0,009	-	-	г ТЕ
Мазут	55225	т.у.п	-	-	0,160	-	-	г ТЕ
Виробництво будівельних матеріалів								
Цемент	550000	т	56,65	2,53	2,3	-	-	г
Цегла	6750	т	-	-	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-3}$	$0,4 \cdot 10^{-7}$	г ТЕ
Вапно	800	т	-	-	$8 \cdot 10^{-3}$	-	-	г ТЕ
Асфальт	197300	т	-	-	$13,8 \cdot 10^{-3}$	-	0	г ТЕ
Відкрите складування твердих побутових відходів (ТПВ)								
ТПВ	1337190	т	-	-	-	0,669	66,860	г ТЕ
Робота копильних								
Свинина	800	т	-	-	0,04	-	$4,8 \cdot 10^{-6}$	г ТЕ
Яловичина телятина	100	т	-	-	0,005	-	$0,6 \cdot 10^{-6}$	г ТЕ
Птиця	300	т	-	-	0,015	-	$1,8 \cdot 10^{-6}$	г ТЕ
Ковбаса	800	т	-	-	0,04	-	$4,8 \cdot 10^{-6}$	г ТЕ
Риба	200	т	-	-	0,01	-	$1,2 \cdot 10^{-6}$	г ТЕ
Робота крематоріїв								
Кількість кремованих	33648	чоловік	4,14	1,51	$0,27 \cdot 10^{-3}$	-	-	г ТЕ
Куріння сигарет								
Сигарети	$1150 \cdot 10^6$	штук	-	-	$0,12 \cdot 10^{-3}$	-	$0,12 \cdot 10^{-3}$	г ТЕ
Стічні води (СВ) міської каналізаційної системи								
Очищені СВ	205,9	млрд. л	-	-	-	2,059	2,885	г ТЕ
Неочищені СВ	45,7	млрд. л	-	-	-	0,229	0	г ТЕ

При виробництві цементу технологічним процесом, під час якого утворюються СОЗР, є випал клінкеру через високотемпературний режим роботи.

З використанням методик [6, 8] нами було визначено утворення СОЗР при виробництві цементу, яке склало 56,56 г ПХБ, 2,53 г ГХБ та 2,75 г ПХДД/Ф (табл. 1). Слід відмітити, що при цьому враховується лише СОЗР, які потрапляють у атмосферне повітря.

Виробництво цегли. Згідно до [8], при виробництві цегли потрапляння СОЗР у навколишнє середовище (НС) відбувається у трьох напрямках: 1) емісія у повітря в складі газоповітряної суміші (ГПС); 2) вихід з самою продукцією; 3) викид з відходами як носіями СОЗР. Для кожного з цих напрямків встановлено свій фактор емісії (ФЕ).

На основі [3, 11] було встановлено, що у 2012 році в Одесі було виготовлено 2,7 млн шт. умовної цегли, що складає у перерахунку на масу 6750 т.

Використовуючи методику [12], нами було розраховано масу відходу цеглового виробництва за формулою

$$M_o = V * P_{yi}, \quad (1)$$

де M_o – кількість відходів, яка утворилася при виробництві;

P_{yi} – показник питомої кількості відходів, що утворюються на 1 млн/шт. цегли. Для випалу цегли цей показник – маса бою цегли і складає 76000 кг на 1 млн шт. цегли.

Виходячи з вище переліченого, нами було розраховано утворення ПХДД/Ф по трьом напрямкам. Таким чином, у складі газоповітряної суміші в навколишнє середовище потрапляє $1,35 \cdot 10^{-3}$ г ТЕ ПХДД/Ф, у складі продукту – $0,41 \cdot 10^{-3}$ г ТЕ ПХДД/Ф, а у складі залишку виробництва – $0,41 \cdot 10^{-7}$ г ТЕ ПХДД/Ф (див. табл. 1). Найбільша кількість ПХДД/Ф потрапляє у повітря у складі ГПС. Також значний відсоток утворених політантів потрапляє до НС у складі готової продукції, що може бути джерелом місцевого негативного впливу на здоров'я людини. Разом з цим незначна кількість ПХДД/Ф потрапляє до ґрунту у складі бою цегли та має зосереджену у просторі дію.

Виробництво вапна. Виробництво вапна включає в себе як викиди від самого процесу виробництва, так і викиди від спалювання палива. Основним процесом при виробництві вапна є випал, саме на цьому етапі і відбувається утворення СОЗР.

Згідно з інформацією, представленою у [13], виробництво вапна у 2012 році склало 0,8 тис. т кінцевого продукту. Використовуючи [8], нами було визначено продукування ПХДД/Ф при виробництві вапна у 2012 році, яке склало $8,0 \cdot 10^{-3}$ г ТЕ ПХДД/Ф (див. табл. 1).

При виробництві вапна враховується лише утворення ПХДД/Ф, яке майже у 4 рази більшим, ніж при виробництві цегли, не дивлячись на те, що цегли в Одесі вироблялось майже у 9 разів більше, ніж вапна.

Виробництво асфальту. Промисловий майданчик асфальтобетонного заводу (АБЗ), як правило, включає цех з приготування органічного в'язучого і асфальтобетону, підготовки мінеральних матеріалів, котельні. Найчастіше на цьому ж місці розташовується цех з приготування дорожніх в'язких бітумів з сировини (гудрону), бітумних емульсій, укріплених ґрунтів, цеглоподрібнювально-сортувальні установки [14].

Виробництво асфальтобетону можна вважати умовно безвідходним, так як пил у асфальтобетонному виробництві може повністю повторно використовуватися [15]. Саме тому утворені СОЗР при виробництві асфальту містяться тільки у складі ГПС.

Згідно [13], виробництво асфальту в Одесі у 2012 році склало 197,3 тис. т. Використовуючи [8], нами було визначено продукування ПХДД/Ф, яке склало $13,81 \cdot 10^{-3}$ г ТЕ ПХДД/Ф.

Таким чином, сумарна кількість СОЗР, яка потрапляє у НС від будівельного виробництва, складає 2,77 г ТЕ ПХДД/Ф, 56,65 г ПХБ та 2,53 г ГХБ.

3.3 Ненавмисне утворення СОЗР при відкритому складуванні твердих побутових відходів

Тверді побутові відходи (ТПВ) є потенційним джерелом ненавмисного утворення СОЗР через їх різноманітний морфологічний склад, зокрема – наявності хлорвмісних компонентів. Присутність хлору забезпечується наявністю у ТПВ, головним чином, відходів лікувально-профілактичних установ у складі антисептичних засобів та пластмас, з яких виготовлені сучасні шприци та речі побутового призначення. Також великий внесок у підвищені вмісту хлорвмісних компонентів в ТПВ здійснюється за рахунок матеріалів з поліхлорвінілу, які надходять на ССЗ у складі будівельного сміття (натяжні стелі, лінолеуми, термостійкі пластмаси тощо) і взуттєвих пластикатів. Наявність у ТПВ важких металів у складі батарейок, акумуляторів та відхо-

дів техніки прискорює процес утворення ПХДД/Ф.

Згідно з [16] 100 % відходів, які утворюються на території Одеської області, потрапляють на звалища. Використовуючи данні [3, 8] нами була порахована кількість ПХДД/Ф, яка утворюється внаслідок видалення ТПВ міста Одеса. Слід зазначити, що надходження ПХДД/Ф у навколишнє середовище в цьому випадку іде двома шляхами: у воду – у якості фільтрату, що складає 0,669 г ТЕ ПХДД/Ф, та у складі залишку, який накопичується у тілі полігону, що складає 66,86 г ТЕ ПХДД/Ф (див. табл. 1).

З розрахунків видно, що в останньому випадку надходження ПХДД/Ф у навколишнє середовище в 100 разів більше. Це можна пояснити тим, що перед потрапляння у воду фільтрат проходить своєрідний процес очищення через шар ґрунту, через який він проходить перед надходженням до водоносного горизонту.

3.4 Ненавмисне утворення СОЗР при роботі коптилень

Процеси виготовлення харчових продуктів, у тому числі – копчених, супроводжуються ненавмисним утворенням СОЗР. Джерелом ненавмисного утворення СОЗР при роботі коптильних камер є спалювання деревної тирси.

Згідно з методикою, утворення ПХДД/Ф при копченні розраховується за 2 напрямками: емісія у повітря та вихід із зольним залишком. У розрахунку ми допускаємо, що всі коптильні не використовують спеціально очищене паливо.

Для розрахунку ненавмисного виходу ПХДД/Ф із зольним залишком нами була порахована маса тирси, яка іде на копчення продукту. Згідно з [17], витрату тирси можна прийняти як 25-30 % маси завантаженої сировини за умови класичного копчення. Згідно з [18], у розрахунках для топкових пристроїв, зольність має бути прийнята рівній 1 %.

На основі вище приведених даних, нами було визначено утворення ПХДД/Ф при копченні у м. Одеса, яке склало 0,11 г ТЕ ПХДД/Ф (див. табл. 1).

3.5 Ненавмисне утворення СОЗР при функціонуванні крематоріїв

Останнім часом питання кремації тіл померлих піднімається дедалі частіше через наявність проблем з землею для захоронення померлих та економічністю такого виду захоронення. Кремація, тобто спалювання тіл померлих до стану попелу, є потенційним джерелом утворення

СОЗР.

Згідно з [19] в Одесі до послуг крематоріїв звертаються 30% сімей померлих. Згідно із даними Статистичного щорічника Одеської області, кількість померлих в Одесі у 2012 році склала 33648 осіб. Нами було проведено розрахунок, в результаті якого встановлено, що кількість ненавмисно утворених СОЗР за цим напрямком склала 0,273 мг ПХДД/Ф, 4,14 г ПХБ, 1,51 г ГХБ (див. табл. 1).

3.6 Ненавмисне утворення СОЗР при палінні тютюнових виробів

При палінні тютюнових виробів відбувається спалювання органічної речовини, що є джерелом ненавмисного утворення СОЗР. Крім того, небезпека впливу СОЗР при курінні полягає у тому, що значна частина утворених речовин потрапляє безпосередньо до організму людини та оточуючих. Особливо небезпечним є паління для вагітних жінок, так як СОЗР накопичуються у материнському молоці та передаються від матері до дитини.

Опираючись на інформацію [20, 21] нами було встановлено, що кількість курців в Одесі складає 20,1 % від всіх мешканців, а кількість цигарок, яка викурюється, складає в середньому 15 шт./(людина*доба). Таким чином, маса ПХДД/Ф склала 0,12 мг у атмосферному повітрі та 0,12 мг у зольному залишку (див. табл. 1).

3.7 Ненавмисне утворення СОЗР при роботі міської каналізації

Каналізаційні стоки – це відходи, розчинені у воді та/або наявні у ній завислі речовини. Загалом стічні води мають невисоку концентрацію ПХДД/Ф, але при дезінфекції їх хлором концентрації цих речовин стрімко підвищуються, інколи – до 50 разів. Причиною утворення цих речовин у каналізаційних стоках можуть бути і інші фактори, такі як прання одягу і текстильних виробів, які були оброблені фарбами і біоцидами, забрудненими ПХДД/Ф. Також ПХДД/Ф можуть потрапляти до складу стічних вод (СВ) в результаті надходження стоків, які містять атмосферні викиди ПХДД/Ф від джерел згоряння або у складі необроблених промислових стічних вод.

Джерелом ПХДД/Ф також є каналізаційний мул. Крім того, поводження з активним мулом (АМ) може призвести до викидів ПХДД/Ф. Наприклад, розподіл АМ на полях зрошення може призвести до підвищення концентрації ПХДД/Ф у ґрунті, у рослинах, які потім вирощуються на цих територіях, а також у тканинах тварин, які

харчувалися кормами з полів зрошення. Аналогічно, АМ, який був захоронений у могильниках, може сприяти утворенню ПХДД/Ф у фільтраті. Слід відмітити, що ПХДД/Ф можуть утворюватися на станціях термічної сушки АМ.

Слід зауважити, що до категорії каналізаційних стоків відносяться муніципальні стоки, які потрапляють на очисні споруди.

Скид СВ у відкриті водойми – це практика скиду необроблених СВ або інших відходів безпосередньо у відкриті водні об'єкти, тобто річки, озера та океани. Джерела ПХДД/Ф у цьому випадку такі самі, як і у каналізаційних стоках. Слід відмітити, що через відсутність очищення СВ, та, на відміну від попереднього випадку, ПХДД/Ф утворюються лише у складі самої СВ. Осад АМ, що містить ПХДД/Ф, в даному випадку немає.

Використовуючи інформацію [22, 23], нами було визначено утворення ПХДД/Ф при роботі каналізаційної системи м. Одеса у 2012 році. Таким чином, внаслідок скидання очищених вод у водні об'єкти потрапляє 2,059 г ТЕ ПХДД/Ф у складі безпосередньо стічних вод та 2,885 г ТЕ ПХДД/Ф у складі АМ. Внаслідок прямого скиду стічних вод до водних об'єктів потрапляє 0,229 г ТЕ ПХДД/Ф, які надходять лише у складі стічних вод (див. табл. 1).

Узагальнені результати розрахунків представлено у вигляді табл. 1. З представлених даних видно, що, на жаль, навіть використання двох методик розрахунку СОЗР не дає змогу в повній мірі оцінити специфіку утворення та надходження у навколишнє середовище цих забруднюючих речовин.

Методика [6] передбачає розрахунок широкого спектру забруднюючих речовин і лише за нею можливо було розрахувати утворення не лише ПХДД/Ф, а й ПХБ та ГХБ. Недоліком цієї методики є відсутність факторів емісії для більшості видів розглянутих виробництв, що робить використання лише цієї методики неефективним для комплексної оцінки ненавмисного утворення СОЗР по місту. Також методика дозволяє розрахувати лише надходження СОЗР у повітря, не враховуючи їх розподіл по середовищах.

Методика [8] дає змогу розрахувати утворення виключно ПХДД/Ф, для деяких з виробництв у даній методиці представлені коефіцієнти, які дозволяють врахувати перерозподіл ПХДД/Ф по середовищам, що допомагає більш точно оцінити ступінь негативного впливу. Але, на жаль, в нашому випадку, повний перерозподіл по середовищам вдалося розрахувати лише для вироб-

ництва цегли та асфальту.

Також характерною відмінною рисою використаних методик є одиниці вимірювання СОЗР у результатах розрахунку. Якщо за методикою [6] результат отримуємо у г, то результатом розрахунку за методикою [8] є маса ЗР у г ТЕ ПХДД/Ф, які не є однаковими одиницями виміру.

Саме тому важливою задачею є приведення результатів розрахунків до однієї одиниці вимірювання. Згідно з [24], токсичність будь-якої суміші ПХДД/Ф може бути виражена через токсичність 2,3,7,8-ТХДД, взятого у еквівалентній за токсичністю кількості. Таким чином, ми можемо перевести всі результати розрахунків ПХДД/Ф у г ТЕ 2,3,7,8-ТХДД (або г ТЕ). Для перерахунку г ТЕ ПХДД/Ф у г ТЕ 2,3,7,8-ТХДД використовується коефіцієнт 1.

Крім того, використовуючи інформацію, наведену у [24], ми, з деякою похибкою, можемо перейти від г ПХБ до г ТЕ через найбільш часто використовуваний ТЕ для ПХБ, який є рівним 0,0005. Аналогічно, використовуючи значення коефіцієнту 0,0001, наведене у [25], ми можемо перерахувати значення г ГХБ у значення г ТЕ. Таким чином, всі отримані результати по СОЗР були приведені нами до однієї одиниці вимірювання.

Виходячи з цього, нами була розрахована кількість молекул, яка приходить на 1 мешканця міста Одеса (табл. 2). Далі нами була визначена кількість молекул, яка є допустимою для надходження до організму людини через органи дихання (використовуючи значення ГДК), яка склала $6,6 \cdot 10^{12}$ мол/(людина*рік).

Розрахувавши за допомогою таблиці 1 та вищезазначених коефіцієнтів кількість молекул 2,3,7,8-ТХДД, які поступають у атмосферне повітря ($9,09 \cdot 10^{15}$), ми можемо зробити висновок, що тільки кількість молекул 2,3,7,8-ТХДД на 1 мешканця у атмосферному повітрі м. Одеса перевищує допустиму майже у 1000 разів, що є неприпустимим та потребує проведення заходів щодо скорочення викидів СОЗР.

4. ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень можна зробити такі висновки:

– В Одесі СОЗР ненавмисно утворюються від наступних джерел: спалювання органічного палива (від пересувних та стаціонарних джерел); виробництво будівельних матеріалів (цегли, цементу, вапна та асфальту); складування ТПВ;

Таблиця 2 – Загальна маса та кількість молекул 2,3,7,8-ТХДД, неавмісно утворених у м. Одеса у 2012 році

Сировина	Маса, г ТЕ	Фактична кількість молекул на 1 жителя
Будівельні матеріали	2,348	$4,36 \cdot 10^{15}$
Органічне паливо	2,161	$4,01 \cdot 10^{15}$
Звалища	67,529	$1,25 \cdot 10^{17}$
Коптильні	0,11	$2,04 \cdot 10^{14}$
Крематорії	0,275	$5,10 \cdot 10^{14}$
Сигарети	0,0003	$5,56 \cdot 10^{11}$
Каналізація	5,173	$9,60 \cdot 10^{15}$
Всього:	77,60	$1,43 \cdot 10^{17}$

копчення м'яса та риби; робота крематоріїв та паління сигарет.

– Основним джерелом утворення ПХДД/Ф є відкрите складування ТПВ на звалищах, доля якого складає близько 92 %. Слід відмітити, що, в основному, ПХДД/Ф потрапляють ґрунт, але деяка їх частина потрапляє у водні об'єкти. Основним джерелом потраплення у навколишнє середовище ПХБ та ГХБ є спалювання органічного палива стаціонарними джерелами. У цьому випадку спостерігається забруднення лише атмосферного повітря.

– Розрахунок було проведено за даними 2012 року, коли відносно повноцінно функціонували підприємства та можливо було здійснити найбільш повний збір статистичної інформації для дослідження. Інтенсивність утворення СОЗР від приведених джерел на сьогодні може змінюватися як в меншу, так і в більшу сторону, що характерно для країн з перехідною економікою. Разом з цим, без скорочення надходження ТПВ на звалища та модернізації Одеських станцій біологічної очистки води, як найвагоміших джерел утворення СОЗР в Одесі, говорити про суттєве скорочення утворення цих речовин не має сенсу.

– Отримані данні дозволяють встановити пріоритетні джерела утворення СОЗР та вчасно прийняти заходи щодо скорочення неавмісного продукування цих речовин.

– Для повної оцінки негативного впливу СОЗР на навколишнє середовище та встановлення пріоритетів у сфері поводження із СОЗР необхідно мати повноцінне методичне керівництво, яке би містило коефіцієнти, що враховують утворення як ПХДД, так і ПХБ і ГХБ та дозволяють оцінити їх розподіл у навколишньому середовищі.

– Для чіткої координації та прийняття оперативних заходів по скороченню неавмісного утворення СОЗР, в нашій країні має бути розро-

блена відокремлена законодавча база по СОЗР, якої, на жаль на сьогоднішній день немає.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 3041–95. Гідросфера. Використання і охорона води. Київ : Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики, 1995. 44 с.
2. Трегер Ю. А. Стойкие органические загрязнители. Проблемы и пути их решения. *Вестник МИТХТ*. 2007. № 5. С. 87-95.
3. Статистичний щорічник Одеської області за 2012 рік / Головне управління статистики в Одеській області. Одеса, 2013. 520 с.
4. Копытов В. В. Газификация конденсированных топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. Москва : Изд-во «Инфра-Инженерия», 2012.
5. СОТКР. Производитель отопительного оборудования. URL: <http://tkr-teplo.ru/polezno-pochitat/tablica-uslovnnoe-toplivo/> (дата обращения: 18.10.2016)
6. Руководство ЕМЕП/ЕАОС по инвентаризации выбросов 2013 / К. Трощи, П. Колман и др. URL: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emeep-eaos-po-inventarizacii> (дата обращения: 18.10.2016)
7. Перевод в условное топливо. *Синергия опыта и технологий. Винсер-аудит* : веб-сайт. URL: http://www.vinseraudit.ru/fuel_calc (дата обращения: 18.10.2016)
8. Методическое указание по выявлению и количественной оценке диоксинов и фуранов / ЮНЕП. Женева, 2013. 314 с.
9. УКРПРОМ. Каталог предприятий Одесской области. URL: <http://odessa.ukr-prom.com/> (дата обращения: 19.10.2016)
10. Одесский цементный завод. *Википедия. Свободная энциклопедия* : веб-сайт. URL: <https://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 2.02.2017)
11. Продаж будівельно-оздоблювальних матеріалів: ТзОВ «Дукат ЛВ». URL: <https://dukat-lv.prom.ua/> (дата звернення: 2.02.2017)
12. Методика расчета нормативов образования отходов при производстве кирпича, железобетонных изделий, извести, асфальта [действующий от 1997-01-01] / Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Республики Татарстан. URL: <http://docs.cntd.ru/document/917011738> (дата обращения: 8.02.2017)
13. Головне управління статистики в Одеській області. Одеса, 2013. URL: <http://od.ukrstat.gov.ua/index.html> (дата звернення: 8.02.2017)

14. Капушко М. О. О выбросах загрязняющих веществ в атмосферу на асфальтобетонных заводах // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Строит. информатика. 2012. Вып. 8(24). URL: http://www.opengost.ru/iso/13_gosty_iso/13040_gost_iso/1304040_gost_iso/3762-metodicheskieukazaniya-po-raschetu-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosferu-ot-asfaltobetonyh-zavodov.html (дата обращения: 10.02.2017)
15. Методика расчета выбросов вредных веществ от предприятий дорожно-строительной отрасли, в том числе от асфальтобетонных заводов: Приложение №12 к приказу Министра охраны окружающей среды Республики Казахстан от 18.04.2008 № 100-п. URL: <http://eco.com.ua/content/metodika-rascheta-vybrosov-vrednyh-veschestv-ot-predpriyatij-dorozhno-stroitelnoy-otrasli-v> (дата обращения: 10.02.2017)
16. Стан сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2012 рік. Інформаційний портал Благоустрій. INFO. URL: <http://blagoustriy.info/> (дата звернення: 10.02.2017)
17. Баль В. В., Вереин Е. Л. Технология рыбных продуктов и технологическое оборудование. Москва: Агропромиздат, 1990. 205 с.
18. Головков С. И., Коперин И. Ф., Найденов В. И. Энергетическое использование древесных отходов. Москва, 1987. URL: <http://boiler-wood.ru/ash-wood.html> (дата обращения: 18.02.2017)
19. Кремация в Киеве, Харькове и Одессе. URL: https://www.religion.in.ua/news/ukrainian_news/17968-v-kyieve-kremiryuyut-40-pokojnikov-v-xarkove-70-v-odesse-30.html (дата обращения: 12.03.2017)
20. Число курильщиков в Украине стабилизировалось. URL: https://zn.ua/UKRAINE/chislo-kurilshchikov-v-ukraine-stabilizirovalos-na-urovne-24-202795_.html (дата обращения: 18.03.2017)
21. Количество курящих в Украине сократилось. URL: https://zn.ua/UKRAINE/kolichestvo-kurilshchikov-v-ukraine-za-sem-let-sokratilos-na-20-259009_.html (дата обращения: 18.03.2017)
22. Шелепчиков А. А. Загрязнения окружающей среды полихлорированными дибензо-п-диоксинами и диоксиноподобными веществами / Лаборатория аналитической экотоксикологии. URL: <http://www.dioxin.ru/history/dioxin-info.htm> (дата обращения: 3.09.2017)
23. Сборник удельных показателей образования отходов производства и потребления. / Государственный комитет Российской Федерации по охране окружающей среды. Москва, 1999. 65 с.
24. Николаенко Е. В., Авдин В. В., Сперанский В. С. Проектирование очистных сооружений канализации: учебное пособие. Челябинск, 2006.
25. Юфит С. С. Стойкие органические загрязнители – "грязная дюжина". URL: <https://www.greenpeace.org/russia/global/russia/report/2003/11/28330.html> (дата обращения: 7.09.2017)
- Statystychnyi shchorichnyk Odeskoi oblasti za 2012 rik [The statistical yearbook of the Odessa region for 2012]. Odessa. (in Ukr.)
4. Kopytov, V.V. (2012). *Gazifikatsiya kondensirovannykh topliv: retrospektivnyy obzor, sovremennoe sostoyanie del i perspektivy razvitiya* [Gasification of condensed fuels: a retrospective review, current state of affairs and development prospects]. Moscow: 'Infra-Inzhyneriya' Publ. (in Russ.)
5. COTKR. *Proizvoditel stroitel'nogo oborudovaniya* [COTKR. Manufacturer of heating equipment]. Available at: <http://tkr-teplo.ru/polezno-pochitat/tablica-uslovnootplivo/> (accessed 18 October 2016). (in Russ.)
6. EMEP/EEA *air pollutant emission inventory guidebook 2013*. Available at: <https://www.eea.europa.eu/ru/publications/rukovodstvo-emep-eaos-po-inventarizacii> (accessed 18 October 2016). (in Russ.)
7. *Perevod v uslovnое toplivo* [Transfer to conventional fuel]. *Sinerhiya opyta i tehnologii. Vinsler-audit* [Synergy of experience and technology. Vinsler-audit]. Available at: http://www.vinsler-audit.ru/fuel_calc (accessed 18 October 2016). (in Russ.)
8. UNEP. (2013) *Metodicheskoe ukazanie po vyavleniyu i kolichestvennoy otsenke dioksinov i furanov* [Methodological instruction for the identification and quantification of dioxins and furans]. Geneva. (in Russ.)
9. Katalog predpriyatij Odesskoy oblasti [Catalog of plants in Odessa region]. UKRPPROM. Available at: <http://www.ukrpprom.com> (accessed 19 October 2016). (in Russ.)
10. Odesskiy tsementnyy zavod [Odessa Cement Plant]. *Wikipedia. Free Encyclopedia*. Available at: <https://ru.wikipedia.org> (accessed 2 February 2017). (in Russ.)
11. Prodzazh budivselno-ozdobliuvalnykh materialiv [Sales of building and finishing materials]. *TzOV «Dukat LV»*. Available at: <https://dukat-lv.prom.ua> (accessed 2 February 2017). (in Ukr.)
12. *Metodika rascheta normativov obrazovaniya otkhodov pri proizvodstve kirpicha, zhelezobetonykh izdeliy, izvesti, asfal'ta* [The methodology for calculating waste generation standards for the production of bricks, reinforced concrete products, lime, asphalt]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/917011738> (accessed 8 February 2017). (in Russ.)
13. *Holovne upravlinnia statystyky v Odeskii oblasti* [The Main Department of Statistics in Odessa region]. Available at: <http://od.ukrstat.gov.ua/index.html> (accessed 8 February 2017). (in Ukr.)
14. Kapushko, M.O. (2012). [About emission of pollutants into the atmosphere in asphalt plants]. *Internet-vestnik VolgGASU* [Internet-bulletin of VolgGASU], 8(24). Available at: http://www.opengost.ru/iso/13_gosty_iso/13040_gost_iso/1304040_gost_iso/3762-metodicheskieukazaniya-po-raschetu-vybrosov-zagryaznyayuschih-veschestv-v-atmosferu-ot-asfaltobetonyh-zavodov.html (accessed 10 February 2017). (in Russ.)
15. *Metodika rascheta vybrosov vrednykh veshchestv ot predpriyatij dorozhno-stroitel'noy otrasli, v tom chisle ot asfaltobetonykh zavodov* [Methodology for calculating emissions of harmful substances from the road construction industry, including from asphalt concrete plants]. Appendix №12 to the Order of the Minister of Environmental Protection of the Republic of Kazakhstan. Available at: <http://eco.com.ua/content/metodika-rascheta-vybrosov-vrednyh-veschestv-ot-predpriyatij-dorozhno-stroitel'noy-otrasli-v> (accessed 12 February 2017). (in Russ.)
16. Stan sfery povodzhennia z pobutovymy vidkhodamy v

REFERENCES

1. State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (1995). *DSTU 3041-95: Hidrosfera. Vykorystannia i okhorona vody* [State standards of Ukraine 3041-95: Hydrosphere. Using and protection of water]. Kyiv. (in Ukr.)
2. Treger, Ju.A. (2007). [Persistent organic pollutants. Problems and solutions]. *Vestnyk MYTHT* [Reporter MSUFCT], 5, 87-95. (in Russ.)
3. The Main Department of Statistics in Odessa Oblast (2013).

- Ukrainy za 2012 rik [State of the sphere of municipal wastes management in Ukraine for 2012]. *Informatsiynyy portal Blagoustriy. INFO* [Information portal Blagoustriy. INFO]. Available at: <http://blagoustriy.info/> (accessed 15 February 2017). (in Ukr.)
17. Bal', V.V., Verein, E.L. (1990). *Tekhnologiya rybnykh produktov i tekhnologicheskoe oborudovanie* [Technology of fish products and technological equipment]. Moscow: Agropromizdat. (in Russ.)
 18. Golovkov, S.I., Koperin, I.F., Naydenov, V.I. (1987). *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Energy use of wood waste]. Available at: <http://boiler-wood.ru/ash-wood.html> (accessed 18 February 2017). (in Russ.)
 19. *Krematsiya v Kieve, Kharkove i Odesse* [Cremation in Kiev, Kharkov and Odessa]. Available at: https://www.religion.in.ua/news/ukrainian_news/17968-v-kieve-kremiruyut-40-pokojnikov-v-xarkove-70-v-odesse-30.html (accessed 12 March 2017). (in Russ.)
 20. *Chislo kuril'shchikov v Ukraine stabilizovalos'* [The number of smokers in Ukraine has stabilized]. Available at: https://zn.ua/UKRAINE/chislo-kuril'schikov-v-ukraine-stabilizovalos-na-urovne-24-202795_.html (accessed 18 March 2017). (in Russ.)
 21. *Kolichestvo kuryashchikh v Ukraine sokratilos'* [The number of smokers in Ukraine decreased]. Available at: https://zn.ua/UKRAINE/kolichestvo-kuril'schikov-v-ukraine-za-sem-let-sokratilos-na-20-259009_.html (accessed 18 March 2017). (in Russ.)
 22. Shelepchikov, A.A. *Zagryazneniya okruzhayushchey sredy polikhlorirovannymi dibenzo-p-dioksinami i dioksinopodobnymi veshchestvami* [Pollution of the environment by polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dioxin-analogue substances]. Laboratory of Analytical Ecotoxicology. Available at: <http://www.dioxin.ru/history/dioxin-info.htm> (accessed 3 September 2017). (in Russ.)
 23. State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection. (1999). *Sbornik udel'nykh pokazateley obrazovaniya otkhodov proizvodstva i potrebleniya* [Collection of specific indicators of production and consumption waste generation]. Moscow. (in Russ.)
 24. Nikolaenko, E.V., Avdin, V.V., Speranskiy, V.S. (2006). *Proektirovanie ochistnykh sooruzheniy kanalizatsii* [Designing sewage treatment facilities]. Chelyabinsk. (in Russ.)
 25. Yufit, S.S. *Stoykie organicheskie zagryazniteli - "gryaznaya dyuzhina"* [Persistent organic pollutants - the "dirty dozen"]. Available: <https://www.greenpeace.org/russia/global/russia/report/2003/11/28330.html> (accessed 7 September 2017). (in Russ.)

MAIN SOURCES OF UNINTENTIONAL PRODUCTION OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS (THE CASE OF ODESA)

V. I. Mykhailenko,

T. P. Shanina, PhD (Chem.)

T. A. Safranov, Dr. Sci. (Geol.-Min.),

Odessa State Environmental University,

15, Lvivska St., 65016 Odessa, Ukraine, vladislav.mykhailenko@gmail.com

Persistent organic pollutants represent a serious global threat to human health and the environment. They have certain properties: resistance to decomposition, bioaccumulation, extreme toxicity, even at ultra-low concentrations, ability to transboundary transfer and deposition. Unfortunately, there is no separate normative and legislative base regulating production of persistent organic pollutants in Ukraine. All norms and rules regulating such pollutants formation are included in a large number of various legislative acts and this does not allow systematization and specification of the actions associated with treatment of POPs. The purpose of this work is to evaluate the main sources of unintentional formation of persistent organic pollutants (using Odessa as an example). As part of the study it was established that the main sources of unintentional formation of POPs in Odessa are: combustion of organic fuels by stationary and mobile sources; production of building materials; open landfills of solid household waste; smoking of meat and fish products; functioning of crematoria; tobacco smoking; functioning of the city sewage system. The analysis of the legislative base of Ukraine is carried out which resulted in making a conclusion that there is no separate normative and legislative base regulating production of persistent organic pollutants in Ukraine. For the first time the list of the main sources of unintentional formation of these pollutants was established for Odessa with estimation, using the most advanced European methods, of the mass of persistent organic pollutants formed from each type of above-stated production facilities, and estimation of the total mass of their generation over the territory of Odessa. Since different techniques give results in different units of measurement, a transition to one unit of measurement was performed. Based on the concept of maximum permissible concentration (MPC), the permissible number of molecules of POPs equivalent to 2,3,7,8-tetrachlorodibenzodioxin (TCDD) which can enter the body of one person through respiratory organs was calculated. A comparison with the number of molecules of 2,3,7,8-TCDD entering the atmosphere in a permissible quantity per 1 citizen of was carried out and corresponding conclusions based on calculations of unintentional formation of POPs in Odessa during one year were made. Also, based on the obtained results, priority sources of unintentional production of persistent organic pollutants were established

which allows correct and timely implementation of appropriate measures to reduce formation of these polluting substances.

Keywords: persistent organic pollutants, polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans (PCDD/F), polychlorinated biphenyls (PCB), hexachlorobenzene (HCB), emission, pollution, Odesa.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ОБРАЗОВАНИЯ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ОДЕССА)

В. И. Михайленко,
Т. П. Шанина, канд. хим. наук,
Т. А. Сафранов, д-р геол.-мин. наук

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, vladislav.mykhailenko@gmail.com*

Стойкие органические загрязняющие вещества - это вещества, представляющие собой серьезную глобальную угрозу здоровью человека и его окружающей среде. Они обладают определенными особенностями: устойчивость к разложению, биоаккумулятивность, чрезвычайная токсичность даже при сверхмалых концентрациях, способность к трансграничному переносу и осаждению. К сожалению, в Украине отсутствует отделена нормативно-законодательная база по стойким органическим загрязняющим веществам. Все нормы и правила регулирования образования этих загрязняющих веществ входят в состав большого количества различных законодательных актов, что не позволяет систематизировать и конкретизировать действия в сфере обращения с СОЗВ. Целью работы является оценка основных источников непреднамеренного образования стойких органических загрязняющих веществ (на примере города Одесса). В ходе работы было установлено, что основными источниками непреднамеренного образования СОЗВ в Одессе являются: сжигание органического топлива стационарными и передвижными источниками; производство строительных материалов; открытые свалки твердых бытовых отходов; копчение мясных и рыбных продуктов; функционирования крематориев; курение табачных изделий; функционирование городской системы канализации. Проведен анализ законодательной базы Украины, в результате которого сделан вывод об отсутствии отдельной законодательной базы по СОЗВ в Украине; впервые для г. Одесса установлен перечень основных источников непреднамеренного образования этих веществ, определена масса стойких органических загрязняющих веществ, которая образуется от каждого вида рассмотренных производств с использованием самых современных европейских методик, рассчитана суммарная их масса генерации по территории города Одесса. Так как разные методики дают результаты в различных единицах измерения, был осуществлен переход к одной единице измерения. Опираясь на понятие «предельно допустимая концентрация», определено допустимое количество молекул СОЗВ в эквиваленте на 2,3,7,8-тетрахлордибензодиоксин (ТХДД), которое может попадать в организм одного человека непосредственно через органы дыхания. Проведено сравнение количества молекул 2,3,7,8-ТХДД, которые попадают в атмосферу с допустимым количеством, которое приходится на одного жителя Одессы, сделаны соответствующие выводы в соответствии с произведенными расчетами непреднамеренного образования СОЗВ в г. Одесса на протяжении одного года. Также, опираясь на полученные результаты, установлено приоритетные источники непреднамеренного продуцирования стойких органических загрязняющих веществ, что позволяет правильно и своевременно принять соответствующие меры по сокращению образования этих загрязняющих веществ.

Ключевые слова: стойкие органические загрязняющие вещества, полихлорированные dibenzo-p-диоксины и dibнезофураны (ПХДД/Ф), полихлорированные бифенилы (ПХБ), гексахлорбензол (ГХБ), эмиссия, загрязнение, Одесса.

*Подання до редакції : 12. 02. 2018
Надходження остаточної версії : 24. 05. 2018
Публікація статті : 29. 06. 2018*