**ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

А.А. Валле, А.Б. Полонский

Институт природно-технических систем,
РФ, г. Севастополь, ул. Ленина, 28
E-mail: ogorodovaa.a@mail.ru

По архивным данным наблюдений, выполненных с 1955 по 2015 гг., проанализированы гидролого-гидрохимические характеристики подповерхностных вод северо-западного шельфа Черного моря, включая приустьевой район Дуная. Уточнены статистически значимые особенности формирования режима температуры, солености и растворенного кислорода с учетом сезонных вариаций. Показано, что годовая и полугодовая гармоники являются доминирующими в сезонном ходе исследуемых характеристик. Ветровой режим в СЗЧМ оказывает значительное влияние на гидролого-гидрохимический режим подповерхностных вод.

Ключевые слова: температура, соленость, кислородный режим, северо-западная часть Черного моря, приустьевой район Дуная.

Поступила в редакцию: 16.05.2021.

Введение. Северо-западная часть Черного моря (СЗЧМ) представляет собой уникальный регион, в котором гидрологические, гидрохимические и гидробиологические условия сформировались под влиянием стока четырех рек: Дуная, Днепра, Днестра и Южного Буга. Причем сток Дуная составляет более 75% среднегодового речного стока в СЗЧМ. С речными водами в СЗЧМ поступают промышленные и бытовые отходы десяти государств Европы. Поэтому этот район Черного моря испытывает очень интенсивную антропогенную нагрузку. С учетом этого обстоятельства пресноводный сток в СЗЧМ приводит к формированию не только весьма специфического термохалинного режима вод, но и необычных гидрохимических и гидробиологических структур, не встречающихся в других районах моря. В связи с этим приустьевой район Дуная является одним из самых сложных для исследования районов Черного моря [1–3]. Комплексные гидрологические и гидрохимические исследования, выполненные в 70-х годах XX века, показали, что условия среды в СЗЧМ и в приустьевой зоне Дуная стали весьма отличаться от тех, что были нормой в 50–60-х годах [2]. В работах [3–5] наиболее полно опи-

сана динамика гидрохимических условий в приустьевой зоне Дуная, выделены обширные площади гипоксии в придонном слое, приводящие к заморам донных организмов. В работах [6, 7] подробно изучены закономерности динамики гидрохимических показателей в водах Дуная. В работе [8] показано, что изменение качественных и количественных характеристик Дунайских вод стали основным фактором, определяющим степень антропогенного эвтрофирования морских акваторий, находящихся под непосредственным влиянием стока. Авторам этой работы удалось установить, что в приустьевой зоне Дуная уменьшилось содержание взвешенных веществ, увеличился процент насыщения кислородом и увеличились величины рН по сравнению с предыдущими годами, сократилось количество органического азота, фосфатов, кремния, отмечается тенденция к уменьшению содержания нитратов. Необходимо подчеркнуть, что большинство работ по изучению гидролого-гидрохимических характеристик СЗЧМ и приустьевой зоны Дуная, проведенные до 2005–2010 гг., основывались на данных эпизодических съемок. Обобщение этих работ для поверхностного слоя было выполнено в работах [9, 10, 12].

Как известно, основным гидрохимическим параметром, который характеризует экологическое состояние вод, является растворенный кислород, зависящий от гидрологических и гидробиологических параметров [10, 12]. Анализ режимных характеристик содержания растворенного кислорода, температуры и солености в слое 10–30 м в СЗЧМ и в приустьевом районе Дунай, включая их сезонную изменчивости, с учетом данных наблюдений, полученных после 2010 года, актуален и ранее не проводился. Поэтому целью данной работы является проведение такого анализа по данным наблюдений, полученным за период с 1955 по 2015 гг.

Данные наблюдений, контроль качества данных и метод обработки. Для анализа сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических параметров в СЗЧМ и приустьевом районе Дуная использованы данные Института природно-технических систем (ИПТС) за 1955–2015 гг., подробно описанные в работе [13]. Использован относительно большой объем данных наблюдений, полученных в подповерхностном слое, а

именно на горизонтах 10, 20 и 30 м (рис. 1, табл.1).

Пространственно-временная структура массива крайне нерегулярна. Наблюдения в большей степени приурочены к прибрежной зоне и летнему периоду года. С глубиной количество данных уменьшается приблизительно вдвое. Поэтому для каждого месяца и горизонта было проведено восстановление данных в узлах регулярной сетки посредством метода оптимальной интерполяции. Сезонный ход анализировался по среднемесячным данным, рассчитанным по восстановленным в узлах регулярной сетки значениям каждого анализируемого параметра на трех горизонтах. Для определения вклада в общую дисперсию различных периодических составляющих сезонного хода был применен метод гармонического анализа.

В качестве границы СЗЧМ выбраны береговая черта от м. Калиакра до м. Сарыч (Ш=43°23'с.ш., Д=34° в.д.) и изобата 100 м. Для приустьевой акватории Дуная определены границы с координатами: 44°9'–45°8'с.ш., 29°7'–30°8' в.д.

Рис. 1. Пространственное распределение наблюдений, выполненных в северо-западной части Черного моря за период 1955–2015 гг. по кислороду (а), температуре (б) и солености (в). Горизонт 10 м

Fig. 1. Spatial distribution of stations performed in the northwestern part of the Black Sea for the period 1955–2015 for oxygen (a), temperature (b) and salinity (c) at a horizon of 10 m

Таблица 1. Количество измерений из базы данных ИПТС в северо-западной части Черного моря и приустьевой акватории р. Дунай с 1955 по 2015 гг.

Горизонт	Северо-западный шельф			Приустьевой район Дуная		
	Кислород	Температура	Соленость	Кислород	Температура	Соленость
10	15 129	40 500	35 123	2 594	5 689	5 067
20	10 182	34 587	31 257	2 276	5 457	3 986
30	6 919	21 314	18 974	1 273	2 410	1 832

Результаты и их обсуждение. Внутригодовые изменения растворенного кислорода и температуры вод СЗЧМ и приустьевом районе Дуная имеют хорошо выраженный сезонный характер. На рис. 2–4 представлены сезонные изменения многолетних среднемесячных значений этих характеристик. Температура вод в приустьевом районе Дуная характеризуется более низкими значениями во все сезоны, чем в СЗЧМ. Зимой, вследствие интенсивного охлаждения и конвекции воды СЗЧМ перемешивается от поверхности до 20–30 м (рис. 2–4). Поскольку поступающие с речным стоком воды холоднее морских вод СЗЧМ, самые низкие температуры (около 4°C) наблюдаются в феврале на горизонтах 10 и 20 м в приустьевом районе. При этом в СЗЧМ температура составляет ~ 6°C (в феврале на горизонтах 10 и 20 м). На горизонте 30 м она несколько выше, потому что перемешивание не всегда распространяется до этого горизонта. В приустьевом районе самая низкая температура на 30 м составляет около 5°C, а в СЗЧМ – 6,3°C.

Соленость на горизонтах 10 и 20 м в зимнее время в приустьевом районе Дуная также ниже, чем в СЗЧМ из-за распреснения верхнего перемешанного слоя речным стоком. На горизонтах 10/20 м в зимнее время соленость в приустьевой зоне Дуная в среднем составляет около 17/17,6 ‰ и 17,6/17,9 ‰, соответственно. На горизонте 30 м самая низкая соленость наблюдается в декабре в приустьевой зоне Дуная. Ее величина близка к величине солености на горизонте 20 м.

Весной, в результате увеличения речного стока, происходит повышение устойчивости стратификации вод, что препятствует распространению тепла вглубь и вертикальному обмену кислородом. Наиболее сильное распреснение в изучаемом слое отмечается на горизонте 10 м (до ~16,3 ‰ в приустьевом районе Дуная, рис. 2, 5). В весенний период южные ветры «запирают» речные воды в более мелководной части шельфа, а западные ветры способствуют распростра-

нению распресненных вод к востоку ([10, 14], рис. 5).

Различие в плотности речных и морских вод препятствует их перемешиванию. Формируется выраженная двухслойная структура. Нижележащие под речными водами слои заполнены более соленой водной массой. На горизонте 20 м соленость повышается до 17,5–18 ‰, а на 30 м – до 17,5–18,3 ‰.

Температурный режим влияет на цветение фитопланктона, благодаря которому в весенне-летний период в подповерхностном слое в процессе фотосинтеза образуется кислород.

Летне-осенний период характеризуется низкой интенсивностью вертикального и горизонтального обмена вод, что уменьшает поток кислорода в подповерхностные слои (рис. 6). Температура воды на 10 м достигает максимума в августе. В приустьевой зоне вода прогревается до 21,9°C, а в СЗЧМ до 22,3°C. На 20 м максимальное значение температуры смещается на один месяц и приходится на сентябрь. В окрестности устья температура воды на этом горизонте достигает 15,0°C, а в СЗЧМ – 17,9°C. На 30 м максимальное значение температуры приходится на октябрь и составляет 12,0°C в устье и 13,4°C в СЗЧМ.

Как показано в работах [10, 14] в северо-западной части Черного моря преобладают северо-западные ветры разной интенсивности в течение всего осеннего периода. Именно эти ветры отвечают за интенсивность перемешивания, которая в свою очередь изменяют положение пикноклина в течение периода его существования, а также определяют адвективное перераспределение водных масс и содержание кислорода по акватории шельфа, а значит в значительной степени определяют формирование условий развития гипоксии. Концентрация растворенного кислорода отражает и развитие биопродукционных процессов в приустьевой зоне Дуная и в СЗЧМ. В подповерхностном слое на количество растворенного кислорода кроме вертикального перемешивания влияет и ско-

рость окисления органических веществ. В изучаемом слое максимальное значение кислорода наблюдается на горизонте 10 м в СЗЧМ в январе ($360 \mu\text{M}$), а вот в приустьевом районе Дуная в январе концентрация кислорода намного ниже ($334 \mu\text{M}$). Такое распределение кислорода в приустьевой зоне Дуная в январе возможно связано с активными биохимическими процессами в этом районе. Авторы [11] отмечают, что в зимний период в приустьевом районе Дуная наблюдаются максимальные концентрации биогенных элементов в речном стоке. Максимальное значение кислорода на глубине 10 м в приустьевом районе Дуная приходится на март ($358 \mu\text{M}$). На горизонтах 20 м и 30 м максимальные значения кислорода в СЗЧМ, также, как и в приустьевом районе Дуная, приходятся на март (на 20 м в СЗЧМ – $347 \mu\text{M}$, в приустьевом районе – $353 \mu\text{M}$; на 30 м в СЗЧМ – $339 \mu\text{M}$, в приустьевом районе – $340 \mu\text{M}$). Минимальные концентрации кислорода на горизонте 10 м приходится

на август как в СЗЧМ ($246 \mu\text{M}$), так и в приустьевом районе Дуная ($226 \mu\text{M}$). На горизонтах 20 и на 30 м самая низкая концентрация кислорода приходится на сентябрь. В летний период концентрация кислорода в приустьевом районе Дуная значительно ниже в связи с большим расходом на окисление осевшего органического вещества.

Гармонический анализ сезонного хода температуры, солёности и кислорода на горизонтах 10, 20 и 30 м представлен на рис. 2–4 и в табл. 2. Из приведённых в таблице величин следует, что на глубинах 10, 20 и 30 м в приустьевом районе Дуная и в СЗЧМ доминирующим для температуры, солёности и кислорода является годовой сигнал, кроме солёности на горизонте 30 м в приустьевом районе Дуная. Полугодовая гармоника солёности на 30 м в приустьевом районе Дуная скорее всего связана с плохой обеспеченностью данными и их зашумленностью.

Рис. 2. Сезонный ход кислорода, температуры и солёности в СЗЧМ (показано синим цветом) и в приустьевом районе Дуная (показано оранжевым цветом) на горизонте 10 м (вертикальные отрезки – 99%-ый доверительный интервал), аппроксимированный гармоникой с периодом 12 месяцев

Fig. 2. Seasonal variation of oxygen, temperature and salinity in the north-west part of the Black Sea (in blue) and in the estuary area of the Danube (in orange) at a horizon of 10 m (vertical segments are a confidence interval with a probability of 99%), approximated by a harmonic with a period of 12 months

Рис. 3. Сезонный ход кислорода, температуры и солёности в СЗЧМ (показано синим цветом) и в приустьевом районе Дуная (показано оранжевым цветом) на горизонте 20 м (вертикальные отрезки – 99%-ый доверительный интервал), аппроксимированный гармоникой с периодом 12 месяцев

Fig. 3. Seasonal variation of oxygen, temperature and salinity in the north-west part of the Black Sea (in blue) and in the estuary area of the Danube (in orange) at a horizon of 20 m (vertical segments are a confidence interval with a probability of 99%), approximated by a harmonic with a period of 12 months

Рис. 4. Сезонный ход кислорода, температуры и солёности в СЗЧМ (показано синим цветом) и в приустьевом районе Дуная (показано оранжевым цветом) на горизонте 30 м (вертикальные отрезки – 99%-ый доверительный интервал), аппроксимированный гармоникой с периодом 12 месяцев для кислорода, температуры и солёности в СЗЧМ и с периодом 6 месяцев для солёности в устье р. Дунай

Fig. 4. Seasonal variation of oxygen, temperature and salinity in the north-west part of the Black Sea (in blue) and in the estuary area of the Danube (in orange) at a horizon of 30 m (vertical segments are a confidence interval with a probability of 99%), approximated by a harmonic with a period of 12 months for oxygen, temperature and salinity in the north-west part of the Black Sea and with a period of 6 months for salinity at the mouth of the Danube

Рис. 5. Пространственное распределение температуры (а), солёности (б), растворенного кислорода (в) с 1955 по 2015 гг. на горизонте 10 м в мае

Fig. 5. Spatial distribution of temperature (a), salinity (b), dissolved oxygen (c) from 1955 to 2015 on the horizon 10 m in May

Рис. 6. Пространственное распределение температуры (а), солёности (б), растворенного кислорода (в) с 1955 по 2015 гг. на горизонте 10 м в ноябре

Fig. 6. Spatial distribution of temperature (a), salinity (b), dissolved oxygen (c) from 1955 to 2015 on the horizon 10 m in November

Таблица 2. Вклад различных гармоник в общую дисперсию среднемесячных величин, характеризующую сезонную изменчивости на горизонтах 10, 20 и 30 м

Горизонт 10 м		Гармоники		
		Годовая, %	Полугодовая, %	Четырехмесячная, %
В при- устье- вом районе Дунай	T, °C	96,6	1,6	1,3
	S, ‰	68,3	7,6	10,3
	O ₂ , μM	94,4	4,5	0,4
СЗЧМ	T, °C	98,2	1,4	0,3
	S, ‰	85,6	0,5	9,8
	O ₂ , μM	98,2	0,25	0,37
Горизонт 20 м		Гармоники		
		Годовая, %	Полугодовая, %	Четырехмесячная, %
В при- устье- вом районе Дунай	T, °C	90,7	8	0,8
	S, ‰	67,6	12,9	10
	O ₂ , μM	96,5	0,8	0,6
СЗЧМ	T, °C	94	3,4	2
	S, ‰	78,2	1,3	14
	O ₂ , μM	94	1,8	0,8

Горизонт 30 м		Гармоники		
		Годовая, %	Полугодовая, %	Четырехмесячная, %
В при- устье- вом районе Дуная	T, °C	76,2	21,7	1,8
	S, ‰	23,4	52	10
	O ₂ , μM	95,4	1,8	1,4
СЗЧМ	T, °C	83	15,7	0,7
	S, ‰	59	15	1
	O ₂ , μM	90,5	4,8	2,4

Выводы. Из приведенного анализа гидролого-гидрохимических характеристик следует, что в СЗЧМ и приустьевом районе Дуная доминирующим является годовой сигнал. Исключение составляет соленость на горизонте 30 м в районе устья Дуная, где преобладает полугодовая гармоника. Последнее связано не только с уменьшением амплитуды сезонного хода солености с глубиной, но и с меньшей обеспеченностью и большей зашумленностью данных наблюдений на горизонте 30 м. В сезонном ходе температуры и растворенного кислорода годовой сигнал выделяется отчетливее, чем в солености. Внутригодовые колебания растворенного кислорода, температуры и солености в приустьевом районе Дуная имеют большую амплитуду по сравнению с северо-западной частью Черного моря. Значительное влияние на формирование гидролого-гидрохимического режима оказывает ветровой режим. В весенний период преобладают южные ветра [10, 14] которые «запирают» распресненные и насыщенные кислородом воды у западного побережья.

Работа выполнена в рамках госзадания (тема № 0012–2019–0002 «Фундаментальные исследования процессов в климатической системе, определяющих пространственно-временную изменчивость природной среды глобального и регионального масштабов») при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 18-45-920014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Большаков В.С.* Трансформация речных вод в Черном море. Киев: Наук. думка. 1970. 328 с.
2. *Толмазин Д.М.* Гидролого-гидрохимическая структура вод в районе гипоксии и заморов северо-западной части Черного моря // Биология моря. 1977. № 43. С. 12–17.
3. *Алмазов А.М., Майстренко Ю.Г.* Гидрологическая и гидрохимическая характеристика советского участка Дуная // Дунай и придунайские водоемы в пределах СССР. К.: Изд-во АН УССР. 1961. С. 13–36.
4. *Алмазов А.М.* Гидрохимия устьевых областей рек. К.: Изд-во АН УССР. 1962. 252 с.
5. *Алмазов А.М., Бондар К., Вагин А.М.* Гидрология устьевой области Дуная // М.: Гидрометиздат. 1963. 383 с.
6. *Енаки Г.И.* Гидрохимический режим советского участка Дуная // Гидробиологические исследования Дуная и придунайских водоемов. К.: Наук. думка. 1987. С. 14–26.
7. *Журавлева Л.А., Грубина Н.А.* Режим стока растворенных в воде кислорода и органических веществ из бассейна р. Дуная в Черное море // Гидробиол. журн. 1991. Т. 27. № 6. С. 49–54.
8. *Гаркавая Г.П., Богатова Ю.И., Буланая З.Т.* Современные тенденции изменения гидрохимических условий северо-западной части Черного моря // Изменчивость экосистемы Черного моря: Естественные и антропогенные факторы. М.: Наука. 1991. С. 299–306.

9. *Зайцев Ю.П.* Северо-западная часть Черного моря: биология и экология // Киев: Наук. думка. 2006. С. 432–433.
10. *Ильин Ю.П.* Гидрологический режим распространения речных вод в северо-западной части Черного моря // Научные труды УкрНИГМИ. 2006. № 255. С. 242–251.
11. *Ragueneau O.* Biogeochemical transformations of inorganic nutrients in the mixing zone between the Danube River and the north-western Black Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2002. Vol. 54. № 3. P. 321–336.
12. *Кондратьев С.И.* Особенности пространственного распределения кислорода в водах приустьевых взморья Дуная в 1997–2010 годах // *Мор. гидрофиз. журн.* 2014. № 3. С. 60–76.
13. *Валле А.А., Гребнева Е.А., Полонский А.Б.* Анализ сезонной изменчивости гидролого-гидрохимических характеристик поверхностных вод северо-западной части Черного моря // *Системы контроля окружающей среды*. 2020. № 3 (41). С. 39–48. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-39-48
14. *Rusu L.* The wave and wind power potential in the western Black Sea // *Renewable Energy*. 2019. Vol. 139. P. 1146–1158.

FEATURES OF SEASONAL VARIABILITY OF HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SUBSURFACE WATERS OF THE NORTHWESTERN BLACK SEA

A.A. Valle, A.B. Polonsky

Institute of Natural and Technical Systems, RF, Sevastopol, Lenin St., 28

Based on the archival data of observations carried out from 1955 to 2015, hydrological and hydrochemical characteristics of the subsurface waters of the northwestern shelf of the Black Sea, including the Danube mouth area, have been analyzed. Statistically significant features of the formation of temperature, salinity and dissolved oxygen regime have been specified taking into account seasonal variations. Annual and semiannual harmonics are shown to be dominant in the seasonal course of the studied characteristics. The wind regime in the northwestern part of the Black Sea has a significant impact on the hydrological and hydrochemical regime of subsurface waters.

Keywords: temperature, salinity, oxygen regime, northwestern part of the Black Sea, near the mouth of the Danube.

REFERENCES

1. *Bol'shakov V.S.* Transformacija rechnyh vod v Chernom more (Transformation of river waters in the Black Sea) Kiev, Nauk. Dumka, 1970, 328 p.
2. *Tolmazin D.M.* Gidrologo-gidrohimičeskaja struktura vod v rajone gipoksii i zamorov severo-zapadnoj chasti Chernogo morja (Hydrological and hydrochemical structure of waters in the area of hypoxia and freezing in the northwestern part of the Black Sea) *Biologija morja*, 1977, No 43, pp. 12–17.
3. *Almazov A.M. and Majstrenko Ju.G.* Gidrologičeskaja i gidrohimičeskaja harakteristika so-vetskogo uchastka Dunaja (Hydrological and hydrochemical characteristics of the Soviet section of the Danube). *Dunaj i pridunajskie vodoemy v predelah SSSR*, Kiev, Izd-vo AN USSR, 1961, pp. 13–36.
4. *Almazov A.M.* Gidrohimičeskaja ust'evykh oblastej rek (Hydrochemistry of estuarine areas of rivers) Kiev, Izd-vo AN USSR, 1962, p. 252.
5. *Almazov A.M., Bondar K. and Vagin A.M.* Gidrologija ust'evoj oblasti Dunaja (Danube estuary hydrology) Moscow, Gidrometizdat, 1963, p. 383.
6. *Enaki G.I.* Gidrohimičeskij rezhim sovet'skogo uchastka Dunaja (Hydrochemical regime of the Soviet section of the Danube) *Gidrobiologičeskie is-sledovanija Dunaja i pridunajskih vodoemov*. Kiev, Nauk. Dumka, 1987, pp. 14–26.
7. *Zhuravleva L.A. and Grubina N.A.* Rezhim stoka rastvorenykh v vode kisloroda i organičeskikh veshhestv iz bassejna r. Dunaja v Chernoe more (The flow regime of oxygen and organic substances dissolved in water from the river basin. Danube to Black Sea) *Gidrobiol. Zhurnal*, 1991, Vol. 27, No. 6, pp. 49–54.

8. Garkavaja G.P., Bogatova Ju.I. and Bulanaja Z.T. Sovremennye tendencii izmenenija gidrohimicheskikh uslovij severo-zapadnoj chasti Chernogo morja (Current trends in changes in the hydrochemical conditions of the northwestern part of the Black Sea) *Izmenchivost' jekosistemy Chernogo morja: Estestvennye i antropogennye factory*, Moscow, Nauka, 1991, pp. 299–306.
9. Zajcev Ju.P. Severo-zapadnaja chast' Chernogo morja: biologija i jekologija (Northwestern part of the Black Sea: biology and ecology) Kiev, Nauk. Dumka, 2006, pp. 432–433.
10. Il'in Ju.P. Gidrologicheskij rezhim rasprostranenija rechnyh vod v severo-zapadnoj chasti Chernogo morja (Hydrological regime of river water distribution in the northwestern part of the Black Sea) *Nauchnye trudy UkrNIGMI*, 2006, No 255, pp. 242–251.
11. Ragueneau O. Biogeochemical transformations of inorganic nutrients in the mixing zone between the Danube River and the north-western Black Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, Vol. 54, No 3, pp. 321–336.
12. Kondrat'ev S.I. Osobennosti prostranstvennogo raspredelenija kisloroda v vodah priust'evogo vzmor'ja Dunaja v 1997–2010 godah (Features of the spatial distribution of oxygen in the waters of the near-mouth seashore of the Danube in 1997–2010) *Mor. gidrofiz. zhurn.*, 2014, No 3, pp. 60–76.
13. Valle A.A., Grebneva E.A. and Polonskij A.B. Analiz sezonnoj izmenchivosti gidrologo-gidrohimicheskikh harakteristik poverhnostnyh vod severo-zapadnoj chasti Chernogo morja (Analysis of seasonal variability of hydrological and hydrochemical characteristics of surface waters in the northwestern part of the Black Sea) *Monitoring systems of environment*, 2020, No 3 (41), pp. 39–48. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-39-48.
14. Rusu L. The wave and wind power potential in the western Black Sea, *Renewable Energy*, 2019, Vol. 139, pp. 1146–1158.