

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОТКРЫТОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

Скребец Г. Н., Павлова С. М.

*Таврическая академия ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского», г. Симферополь, Российская Федерация
E-mail: skrebets@yandex.ru*

Составлены корреляционные карты биомассы фитопланктона и физико-химических характеристик поверхностного слоя вод открытой акватории Черного моря и на их основе выполнено физико-географическое районирование. Выделено пять районовотличающихся типичными для каждой акватории количественными показателями, характером и комбинацией взаимосвязей. Дано их краткое описание.

Ключевые слова: корреляционный анализ, физико-географическое районирование, карты изокоррелят, Черное море

ВВЕДЕНИЕ

Приемы математико-статистического анализа в географических исследованиях используются на протяжении уже более полувека, однако в физико-географическом районировании популярными они так и не стали. Причины этого, по-видимому, кроются в сосредоточении внимания на качественных различиях территориальной дифференциации географической оболочки, а также в традиционных методологических подходах, разработанных при районировании суши. Тем не менее, попытки применения количественных методов для решения этой проблемы, свидетельствуют о целесообразности создания иной основы районирования. Существенную помощь в этом, по нашему мнению, может оказать корреляционный анализ, позволяющий выполнять районирование на основе статистических связей между характеристиками различных природных компонентов, через которые можно устанавливать причинно-следственные связи в геосистемах в конечном счете выявлять свойства, обуславливающие их целостность. Наиболее эффективен такой подход при районировании морских акваторий, карты которых в основном отображают количественные характеристики воды. Причем, проведенные исследования свидетельствуют, что он может быть применим как для обширных океанских пространств, так и для отдельных небольших акваторий [1,2].

Цель статьи – районирование открытой акватории Черного моря по корреляционным связям.

Исследования разделены на два этапа: а) построение карт изокоррелят, отображающих связи между различными характеристиками морской воды; б) физико-географическое районирование акватории на основе составленных корреляционных карт.

1. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходные данные для построения карт изокоррелят взяты из карт, отображающих основные характеристики поверхностного 20-метрового слоя воды: температуры, солености, растворенного кислорода, фосфатов и биомассы фитопланктона [3,4]. В связи с тем, что исследования проводились с целью комплексного районирования акватории по особенностям взаимосвязей, главная задача корреляционных карт – отобразить парные связи между фитопланктоном и лимитирующими его распространение природными факторами. Выбор фитопланктона в качестве центрального объекта связей, определяется его ролью как первичного звена трофической цепи, обуславливающего особенности биологической структуры воды всей геосистемы в целом.

Формирование массива данных, необходимых для расчетов, производилось путем выборки с помощью точечной палетки по ранее примененной нами методике для изучения природного разнообразия морских акваторий [5,6]. Точки равномерно размещались на карте внутри 1-градусных трапеций картографической сетки через 15 минут по долготе и широте. Общее количество составило 135 точек. В связи с тем, что для построения карт изокоррелят необходимо производить расчеты отдельно для каждой трапеции, в которых помещалось всего 4 точки, для увеличения числа выборки использован, широко известный в математической статистике, метод «скользящего окна», а из показателей связи – коэффициент ранговой корреляции Спирмена [7]:

$$r_s = 1 - \frac{6 \cdot \sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

где **Ошибка! Источник ссылки не найден.** – сумма квадратов разностей между рангами; n – количество признаков, участвовавших в ранжировании.

Выбор рангового коэффициента корреляции продиктован тем, что его можно применять при наличии небольшого количества наблюдений (даже 3 – 5). Он, как и некоторые другие коэффициенты, может иметь значения в интервале: $-1 < \mathbf{Ошибка! Источник ссылки не найден.} < +1$.

Качественная оценка полученных значений производилась по принятой в корреляционном анализе шкале: 0,1 – 0,3 – корреляция очень слабая; 0,3 – 0,5 – слабая; 0,5 – 0,7 – средняя; 0,7 – 0,9 – сильная; $> 0,9$ – очень сильная.

Вычисления значений коэффициента корреляции по градусным трапециям выполнены с помощью онлайн-калькулятора, а составленные по ним корреляционные карты – с помощью компьютерных программ Surfer и CorelDraw.

2. ИЗЛОЖЕНИЕ МАТЕРИАЛА

Анализируя корреляционные карты, можно заметить общее сходство рисунков изокоррелят, отражающих связи фитопланктона с его лимитирующими факторами и пространственную неоднородность в их распределении (рис. 1.). Это дает основание разделить исследуемую акваторию на физико-географические районы, каждый из которых отличается количественными показателями, набором,

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ОТКРЫТОЙ АКВАТОРИИ ЧЕРНОГО МОРЯ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА

постоянством или в целом можно сказать, характером связей. Вследствие того, что соответствие между рисунками изокоррелят лишь общее, поэтому, учитывая особую роль минерального питания в распределении растительности, при определении границ районов основное внимание обращено на корреляционную карту фитопланктона и фосфатов, остальные карты использованы для корректировки. Границы проведены по положению нулевых изокол, разграничивающих прямые и обратные связи, или по изоколам с низкими значениями. Сильные и средние связи, составляющие «ядра» районов, использованы для выявления их типических свойств. Прослеживающиеся в каждом районе на относительно однородном фоне более мелкие различия во взаимосвязях исключены при районировании как второстепенные.

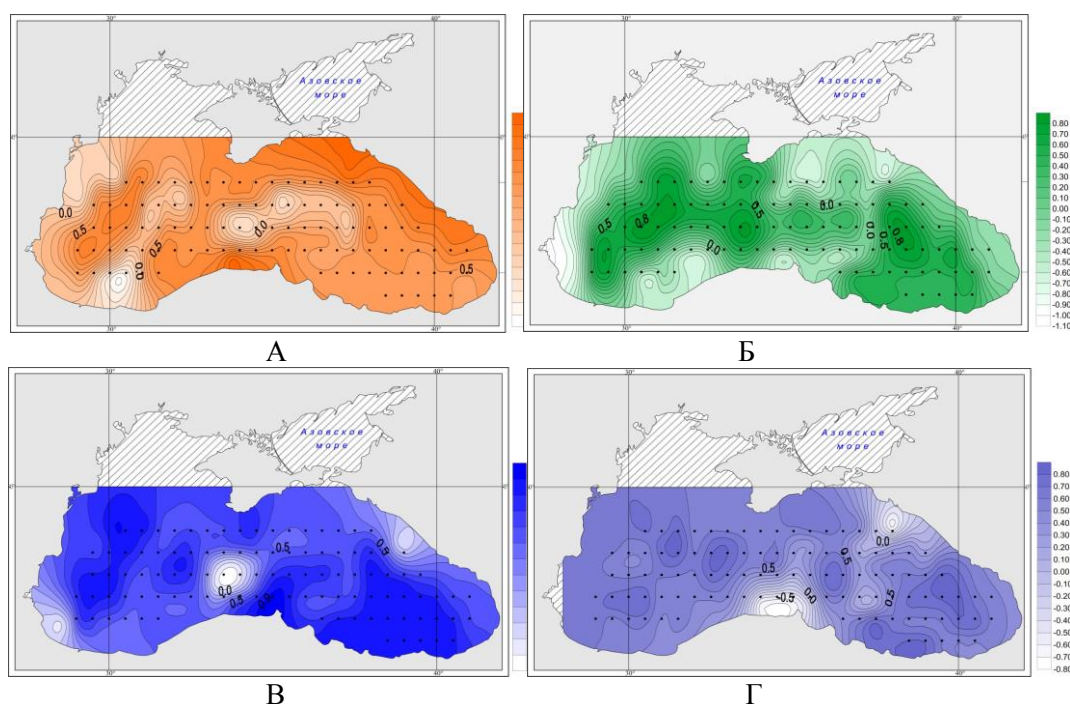


Рис. 1. Корреляционные карты, отражающие связь между биомассой фитопланктона и физико-химическими характеристиками вод акватории Черного моря (А – температурой; Б – соленостью; В – растворенным кислородом; Г – фосфатами)

В результате в открытой акватории Черного моря выделены пять физико-географических районов с хорошо выраженными различиями природных взаимосвязей: Западный, Юго-западный, Центральный, Восточный, Северо-восточный (рис. 2.). Ниже дается их краткая характеристика. Для наглядного представления о характере взаимосвязей в каждом районе, наличие сильных и средних связей отображено в таблице (табл. 1.). Кроме описания взаимосвязей,

приводятся общие сведения о природных условиях районов, обуславливающих своеобразие этих связей. Информация о природных условиях взята из работ [4,8,9,10].

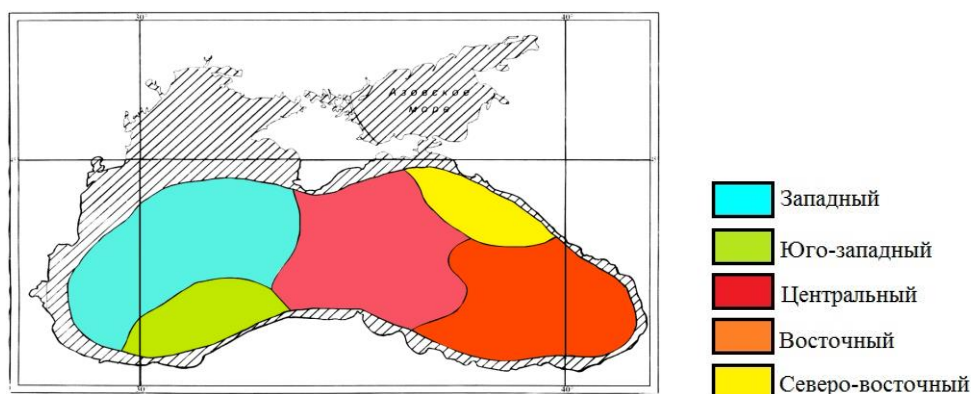


Рис. 2. Районирование открытой акватории Черного моря по взаимосвязям

Таблица 1.

Характеристика районов открытой акватории Черного моря по взаимосвязям

Физико-географические районы	Западный	Юго-западный	Центральный	Восточный	Северо-восточный
Биомасса фитопланктона и температура	+	-,+	-,+	+	+
Биомасса фитопланктона и соленость	+	-	+,-	+	-
Биомасса фитопланктона и растворенный кислород	+	+	+,-	+	X
Биомасса фитопланктона и концентрация фосфатов	+	+	+,-	+	-

Обозначения связей: «+» - преимущественно прямые;
 «-» - преимущественно обратные;
 «+,-» - больше прямых, меньше обратных;
 «-,+» - больше обратных, меньше прямых;
 «X» - отсутствовали явно не выражены.

Западный район.

Западный район характеризуется прямыми, преимущественно тесными связями фитопланктона со всеми показателями природных условий, что отличает его от соседних с ним районов. Наиболее сильные связи прослеживаются в центральной части района. Здесь значения коэффициента корреляции составляют более 0,7. К периферии связи ослабевают, но, как правило, до средних значений. Обращает внимание связь фитопланктона с фосфатами. Мозаичный характер распределения концентрации последних отражается и на пространственной изменчивости биомассы. Вблизи болгарского побережья и в восточной части района со значениями фосфатов в воде около 0,6 мкмоль/дм³ биомасса фитопланктона колеблется от 100-150 до 150-200 мг/м³, в то время как в центре и на юге, где концентрация фосфатов понижается до 0,2 мкмоль/дм³ биомасса составляет менее 100 мг/м³. Это свидетельствует о ведущей роли минерального питания в жизнедеятельности растительности пелагиали.

Климат в районе мягкий в зимнее время, а лето солнечное и жаркое. На протяжении года преобладают ветры северо-западного направления. Скорость ветра зимой – 4-8,5 м/с, летом – 3-4,3 м/с. Средняя январская температура воздуха над акваторией составляет +4-6°, июльская – 19-20°C. Относительная влажность воздуха в холодное время года – 81-90%, а в летнее время – 66-85%. Небольшая облачность. Атмосферные осадки выпадают главным образом в зимний период. Годовая сумма их невелика и колеблется от 200 мм в северной части района до 300-500 мм в южной. Максимум осадков наблюдается в зимний период.

Общая циркуляция вод определяется крупномасштабным квазистационарным циклоническим круговоротом. Средняя температура воды на поверхности в феврале составляет +6-7°, августе – 23-24°C в летний. С глубиной она понижается и на глубине 75-100 м, с которой начинается холодный промежуточный слой, как и на всей открытой акватории моря, круглый год сохраняется постоянной – +7 – 8°C. Соленость воды в поверхностном слое изменяется от 18,4‰ в центре района до 17,6‰ на западе. В целом, сезонные колебания солености, в отличие от температуры, невелики (около 0,2‰), за исключением прибрежных акваторий, где проявляется влияние речного стока. Судя по биомассе фитопланктона, величина которой на большей площади не превышает 100 мг/ м³, биопродуктивность района можно считать ниже средней.

Юго-Западный район.

Данному району, в отличие от Западного, сильные связи не присущи. В северной и средней части отмечаются средние и близкие к средним (0,4-0,6) прямые связи фитопланктона с растворенным кислородом и фосфатами. Связи с температурой воды существуют, но различные по знаку: в северо-восточной части – средние прямые (0,5-0,6), которые, ослабляясь, заменяются обратными средними (-0,5-0,7) и даже сильными (>-0,7) на крайнем юго-западе района. Связь с соленостью повсеместно отрицательная со значениями, колеблющимися в больших пределах (от -0,2 до >-0,7).

Климат над акваторией сходный с предыдущим районом, но теплее и более влажный. Ветер преимущественно северо-западного направления. Его скорость в зимний период составляет 4-8 м/с, в летний – 3-4 м/с. Средняя температура воздуха в январе – +7°, июле – 19,5-20°С. Относительная влажность воздуха зимой – около 85%, летом – 75%. Годовая сумма осадков – 700 -800 мм.

Температура воды на поверхности практически такая же, как и в Западном районе –7°С в феврале и 23,5-24°С в августе, а соленость ниже –17,6-18,0‰ и около 18‰ соответственно. Вблизи побережья на распределение солености также оказывает влияние речной сток. В связи с тем, что биомасса фитопланктона на большей части акватории составляет 200 – 400 мг/м³, район можно в целом отнести к высокопродуктивным

Центральный район.

Для Центрального района характерно наличие как тесных прямых, так и обратных связей. Причем это прослеживается на всех корреляционных картах, лишь с тем отличием, что в одних случаях больше прямых связей и меньше обратных, а в других – наоборот. «Ядро» района образуют обратные связи биомассы фитопланктона с температурой воды. Здесь наблюдаются самые высокие показатели (–0,5-0,7 и >–0,7). К периферии они заменяются прямыми средними по величине связями (до 0,6). С другими характеристиками преобладают прямые связи над обратными. Сильные связи (0,7 – 0,8) отмечаются в центре района с соленостью, лишь на периферии заменяясь обратными, но тоже довольно тесными связями. Средние и сильные связи (0,5 – 0,8) наблюдаются на большей части акватории с фосфатами и растворенным кислородом, за исключением южной части, где они меняются на обратные.

Климатические условия района неоднородны. Центральная и северная часть сходны с Западным районом, южная – с Юго-западным.

В холодное время года преобладают северо-восточные ветры со скоростями от 4,7 до 7,5 м/с, в теплое – ветры с западной составляющей и скоростью 3 – 5 м/с. Средняя температура воздуха в январе колеблется в интервале +6 – +7,5°, в июле – +19,5 – +20°С. Средняя относительная влажность воздуха – около 80%. В зимнее время отмечается высокая облачность (средний показатель – 7 баллов), сопровождающаяся туманами. Годовое количество осадков изменяется с юга на север от 300 до 600 мм соответственно.

Район располагается в пограничной зоне между двумя крупномасштабными круговоротами. Поэтому циркуляция вод определяется, существующими здесь, циркуляционными системами меньших размеров, а также, огибающим его с севера и юга Основным Черноморским Течением (ОЧТ). Средняя температура воды на поверхности в январе составляет +7°, августе – +23-24°С. Распределение солености однородно практически по всей акватории: 18,2 – 18,4‰ зимой и около 18‰ летом. Характерной чертой распределения фитопланктона является увеличение его биомассы от центра к северу и югу: от самых низких для Черного моря значений – менее 100, до высоких в открытой акватории – 400 мг/м³. Принимая во внимание

явное преобладание по площади высоких показателей над низкими, в целом этот район можно назвать высокопродуктивным.

Восточный район

Это район, аналогично Западному, выделяется повсеместно прямыми и значительными связями. Рисунки изокоррелят почти на всех картах идентичны. В центральной части наблюдаются сильные связи биомассы планктона с природными условиями. Здесь значения коэффициента корреляции достигают 0,7-0,9. К периферии они постепенно снижаются до средних и только вблизи границы района, особенно на востоке переходят в разряд слабых (0,3-0,4). Исключение представляет карта корреляции фитопланктона и температуры. На ней проявляется общее ослабление связей в юго-западном направлении, от сильных вблизи северо-восточного побережья до средних в центре и слабых во всей южной части района.

Восточный район имеет свои климатические особенности, которые отличают его от других районов. Преобладающее направление ветра над акваторией с июля по апрель восточное и юго-восточное. Скорость его меньше, чем в других районах. В зимний период она колеблется от 1,6 до 6,8 м/с, летом – от 1,8 до 3,9 м/с. Соответственно значительно слабее ветровое волнение. Акватория находится под защитой Кавказских гор от холодных северо-восточных ветров, поэтому средняя январская температура воздуха выше, чем в других районах – +8-9°, июльская – +20-21°C. Средняя относительная влажность воздуха зимой – 76%, летом – 80%. Характерна значительная облачность, нередко бывают туманы. Атмосферных осадков выпадает больше, чем в других районах. Их среднегодовое количество достигает 800-1000 мм. Осадки относительно равномерно распределяются по сезонам, с некоторым увеличением зимой. Дождливая погода бывает здесь до 150 – 160 дней в году.

Циркуляция вод определяется восточным крупномасштабным циклоническим круговоротом. Температура воды на поверхности выше, чем в других районах, особенно в зимний период, что обусловлено, по-видимому, приходящему сюда теплоте течения. Ее средние значения в январе – +8-8,5°, в августе – +24,5-25°C. Соленость увеличивается от побережья к морским границам района и составляет соответственно 17,8 – 18,4 ‰ в феврале и 17,6 – 18,2 ‰ в августе. Биомасса фитопланктона в целом ниже средних значений – 100-150 мг/м³. Однако, ее равномерное распределение по акватории с увеличением у побережья, позволяет считать этот район среднепродуктивным.

Северо-восточный район.

Уникальность района определяется преимуществом обратных связей над прямыми, а в отдельном случае – их отсутствием. Прямые связи фитопланктона наблюдаются только с температурой воды. Причем достигают рекордных для всей исследуемой акватории значений – 0,8-0,9, а вблизи побережья даже выше. С соленостью и фосфатами связи обратные: от очень слабых (–0,1-0,2) у внешней границы района, до средних (–0,5-0,7) и сильных (>–0,7) у побережья. Практически

не выражена связь фитопланктона с растворенным кислородом. Это единственный случай из имеющихся комбинаций.

Климат района отличается более холодным зимним сезоном, чем в других районах, что связано с преобладанием зимой северо-восточных ветров, средняя скорость которых может достигать 8 м/с, что приводит к понижению температуры воздуха. Поэтому средняя январская температура колеблется в отдельных частях района от +2 до +7°C. Летом господствуют ветры с западной составляющей и скоростью 2,3 – 4,8 м/с, а температура воздуха в июле поднимается до значений характерных другим районам – +20°C. Относительная влажность воздуха зимой изменяется от 72 до 86%, в летние месяцы – от 67 до 81%. Атмосферных осадков выпадает больше, чем в большинстве других районов, но меньше, чем в Восточном. В среднем их годовая сумма составляет 500 – 800 мм.

Циркуляция вод определяется, заходящей сюда с юго-востока, теплой ветвью ОЧТ, поэтому по величине поверхностной температуры воды район уступает лишь Восточному. В феврале она равна +7,5-8,5°, в августе – 23,5-24,8°C. Значения солености почти не отличаются от других районов, изменяясь от 18 – 18,2‰ в зимний период, до 17,8 - 18‰ в летний. Биомасса планктона достигает здесь наибольших для всей исследуемой акватории значений – от 200-400 мг/м³ в мористой части района до более 400 мг/м³ вблизи Керченского пролива и у кавказского побережья. Поэтому Северо-восточный район можно отнести к самым высокопродуктивным районам Черного моря, включая и северо-западную шельфовую область.

ВЫВОДЫ

Выделенные районы, как свидетельствуют результаты исследований, отличаются типичными для каждой акватории количественными показателями, характером и комбинацией взаимосвязей между океанологическими характеристиками морской воды. Это позволяет считать каждый район обособленным природным образованием, или геосистемой. В тоже время, во всех районах на относительно однородном фоне, прослеживаются неоднородности меньшего пространственного масштаба. Их наличие дает основание к выделению таксонов более низкого ранга.

Сравнение результатов проведенного районирования открытой акватории Черного моря с аналогичными схемами других авторов обнаруживает как некоторые черты сходства, так и существенные различия, выражающиеся в различном количестве районов и их пространственном положении. Это свидетельствует о незавершенности разработки проблемы физико-географического районирования, присутствии во всех подходах субъективного фактора. Представляется, что проведенные исследования позволят усовершенствовать методику районирования, добавив в нее, кроме анализа отдельных природных компонентов, взаимосвязи между ними.

Список литературы

1. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. М.: Мысль, 1986. 238 с.
2. Скребец Г.Н., Дьячек А.В. Физико-географическое районирование северо-западной части Черного моря по корреляционным связям // Україна: географічні проблеми сталого розвитку. Зб. наук. праць в 4-х т. Київ: Обрії, 2004. Т. 2. С. 74 – 75.
3. Black Sea Environmental Programme (BSEP) Geographic Information System Working Party. The Black Sea GIS, 1982-1996.
4. Сорокин Ю.И. Черное море: Природа, ресурсы. М.: Наука, 1982. 217 с.
5. Скребец Г.Н., Глушко А.И., Кудрянь Е.А. Количественный анализ природного разнообразия северо-западной части Черного моря // Ученые записки ТНУ им. В.И. Вернадского. Серия: География. 2011. Т. 24 (63), № 3. С. 62-74.
6. Скребец Г.Н. Оценка природного разнообразия открытой акватории Черного моря // Ученые записки ТНУ им. В.И. Вернадского. Серия: География. 2012. Т. 24 (65), № 3 С. 64-72.
7. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена [Электронный ресурс]. 2017 - URL: <https://math.semestr.ru/corel/spirmen.php>
8. Океанографический атлас Черного и Азовского морей. К: ДУ «Держгідрографія», 2009. 256 с.
9. Вылканов А., Данов Х. Черное море. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 408 с
10. Залогин Б.С., Косарев А.Н. Моря. М.: Мысль, 1999. 400 с.

PHYSICO-GEOGRAPHICAL ZONING OF THE OPEN WATERS OF THE BLACK SEA WITH THE HELP OF CORRELATION ANALYSIS

Skrebets G. N., Pavlova S. M.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: skrebets@yandex.ru*

Correlation maps of phytoplankton biomass and physical and chemical characteristics of the surface water layer of the Black sea open water area are compiled and based on them physical and geographical zoning is performed. There are five areas with quantitative indicators typical for each water area, the nature and a combination of relationships. Their brief description is given.

The Western region is characterized by direct, mostly close connections of phytoplankton with all indicators of natural conditions, which distinguishes it from its neighboring areas. The strongest links can be seen in the Central part of the district. Here, the correlation coefficient values are more than 0.7. To the periphery of the link is weakening, but generally to the average values.

South-West area, in contrast to the West, a strong relationship is not inherent. In the Northern and middle parts middle and close to average (0,4-0,6) direct connections of phytoplankton with dissolved oxygen and phosphates are noted. When water temperature exists, but different in sign: in the North-Eastern part of the – medium straight (0,5-0,6), which, weakened, replaced by the opposite medium (–0,5-0,7) and even strong (>a-0.7) in the extreme South-West of the district. The relationship with salinity is generally negative with values that vary widely (from -0.2 to > -0.7).

The Central district is characterized by both close and backward connections. The "core" of the district is formed by the feedbacks of phytoplankton biomass with water temperature. The highest rates are observed here (- 0,5-0,7 and > -0,7). To the periphery, they are replaced by direct medium-sized bonds (up to 0.6). Other characteristics of the dominant lines on the reverse.

Eastern district, similar to the West, stands out everywhere direct and significant ties. In the Central part there are strong connections of plankton biomass with natural conditions. Here, the correlation coefficient values reach 0.7-0.9. To the periphery they gradually fall to the middle and only near the boundaries of the district, especially in the East go to the category of weak.

The North-Eastern region is unique in the advantage of backward connections over the straight lines, and in a separate case – their absence. Direct connections of phytoplankton are observed only with water temperature. And reach a record for the entire study area values of 0.8-0.9. With salinity and phosphate connection, a reverse from very weak to the external boundaries of the district, to medium (-0.5 to 0.7) and strong (>0.7) near the coast. Almost not expressed relationship with dissolved oxygen.

References

1. Berl'ant A.M. Obraz prostranstva: karta i informacija. M.: Mysl', 1986. 238 s.
2. Skrebec G.N., D'jachev A.V. Fiziko-geograficheskoe rajonirovanie severo-zapadnoj chasti Chernogo morja po korreljacionnym svjazjam // Ukraina: geografichni problem stalogoro zvitku. Zb. nauk. prac' v 4-h t. Kiev: Obrii, 2004. V. 2. P. 74 – 75.
3. Black Sea Environmental Programme (BSEP) Geographic Information System Working Party. The Black Sea GIS, 1982-1996.
4. Sorokin Ju.I. Chernoe more: Priroda, resursy. M.: Nauka, 1982. 217 p.
5. Skrebec G.N., Glushko A.I., Kudrjan' E.A. Kolichestvennyj analiz prirodno raznoobrazija severo-zapadnoj chasti Chernogo morja // Uchenye zapiski TNU im. V.I. Vernadskogo. Serija: Geografija. 2011. V. 24 (63). no 3. P. 62-74.
6. Skrebec G.N. Ocenka prirodno raznoobrazija otkrytoj akvatorii Chernogo morja // Uchenye zapiski TNU im. V.I. Vernadskogo. Serija: Geografija. 2012. V. 24 (65). no 3. P. 64-72.
7. Kojefficient rangovoj korreljaciji Spirmena [Elektronnyj resurs]. 2017 - URL: <https://math.semestr.ru/corel/spirmen.php>
8. Okeanograficheskij atlas Chernogo i Azovskogo morej. K: DU Derzhgidrografija, 2009. 256 p.
9. Vylkanov A., Danov H. Chernoe more. L.: Gidrometeoizdat, 1983. 408 p.
10. Zalugin B.S., Kosarev A.N. Morja. M.: Mysl', 1999. 400 p.