

Влияние течений и атмосферной циркуляции на эффективность промысла хамсы в период ее зимовки у Черноморского побережья Краснодарского края

Б. Н. Панов^{1*}, Е. О. Спиридонова²

¹ Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ»),
Ростов-на-Дону, Россия

² Керченский государственный морской технологический университет
(КГМТУ), Керчь, Россия

*e-mail: panov_bn@mail.ru

Поступила 8.11.2020 г.; принята к публикации 17.02.2021 г.; опубликована 25.03.2021 г.

Промысел хамсы российские рыбаки ведут преимущественно у Черноморского побережья Краснодарского края во время ее зимовальных миграций и зимовки. На местах зимовки температурные условия в определении поведения промысловых скоплений хамсы становятся второстепенным фактором, основными являются ветер и течения. Поэтому целью данной работы является определение возможностей использования ежедневных данных о циркуляции вод и локальных атмосферных переносах в краткосрочном (1–7 сут) прогнозировании промысла хамсы в Черном море. В исследовании использованы материалы мониторинга промысла хамсы за январь – март 2019 г., а также ежедневные карты аномалий уровня Черного и Азовского морей (по данным спутниковой альтиметрии) и приземного атмосферного давления и температуры в Европе (анализ) за указанный период. Динамика показателя вылова и его связь с альтиметрическими характеристиками и показателями атмосферных переносов в северо-восточной части Черного моря были исследованы графическим и корреляционным методами. Выполненный анализ позволил установить, что основным фактором, способствующим увеличению уловов, является усиление северо-западных течений в прибрежной 60-километровой зоне. Влияние атмосферных переносов на эффективность промысла зависит от мезомасштабной вихревой структуры поля течений в прибрежной зоне. При наличии в районе промысла интенсивного северо-западного течения положительное влияние на промысел оказывают юго-западные атмосферные переносы, а при наличии антициклонического меандра течений эффективными становятся северо-восточные атмосферные переносы. Наличие максимальных значимых связей при сдвиге определяющих промысловые показатели факторов на 1–7 сут дает возможность осуществлять краткосрочное прогнозирование эффективности промысла.

Ключевые слова: промысел хамсы, районы зимовки, промысловые нагрузки, средний вылов, изменения уровня моря, атмосферные переносы, течения, краткосрочное прогнозирование.

© Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., 2021



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0)

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) License

Для цитирования: Панов Б. Н., Спиридонова Е. О. Влияние течений и атмосферной циркуляции на эффективность промысла хамсы в период ее зимовки у Черноморского побережья Краснодарского края // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. 2021. № 1. С. 47–62. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-47-62

Influence of Currents and Atmospheric Circulation on the Efficiency of European Anchovy Fishing during its Wintering off the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory

B. N. Panov^{1*}, E. O. Spiridonova²

¹ Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”), Rostov-on-Don, Russia

² Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russia

*e-mail: panov_bn@mail.ru

Submitted 8.11.2020; revised 17.02.2021; published 25.03.2021

Russian fishermen harvest European anchovy primarily off the Black Sea coast of the Krasnodar Territory during its wintering and wintering migrations. At wintering grounds, temperature conditions become a secondary factor in determining the behaviour of commercial concentration of European anchovy, with wind and currents being the primary factors. Therefore, the aim of this work is to determine the potential use of daily data on water circulation and local atmospheric transport in short-term (1–7 days) forecasting of European anchovy fishing in the Black Sea. The research used the European anchovy fishery monitoring materials for January – March 2019, as well as daily maps of the Black and Azov Seas level anomalies (from satellite altimetry data) and surface atmospheric pressure and temperature in Europe (analysis) for the mentioned period. The dynamics of the catch rate and its relation to altimetry and atmospheric transport indicators in the north-eastern part of the Black Sea were investigated using graphical and correlation methods. This analysis showed that the main factor contributing to increased catches is intensification of northwest currents in the coastal 60-km zone. The effect of atmospheric transport on fishing efficiency depends on the mesoscale eddy structure of the nearshore current field. In the presence of an intense northwest current in the fishing area, southwest atmospheric transports have a positive effect on fishing, while in the presence of an anticyclonic meander of currents, northeast atmospheric transports become effective. The presence of maximum significant relationships when the determinants of fishing performance are shifted by 1–7 days allows making short-term predictions of fishing efficiency.

Keywords: anchovy fishing, wintering areas, fishing loads, average catch, sea level changes, atmospheric transfers, currents, short-term forecasting.

For citation: Panov, B.N. and Spiridonova, E.O., 2021. Influence of Currents and Atmospheric Circulation on the Efficiency of European Anchovy Fishing during its Wintering off the Black Sea Coast of the Krasnodar Territory. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*, (1), pp. 47–62. doi:10.22449/2413-5577-2021-1-47-62 (in Russian).

Введение

Изучение условий зимовки и поведения зимовальных скоплений хамсы в Черном море имеет практическое рыбохозяйственное значение, так как хамса является основным ресурсом рыболовства причерноморских государств, интенсивно эксплуатируемым во время зимовальной миграции и на местах зимовки в прибрежной зоне Анатолии, Кавказа и Крыма.

В 1950–80-е гг. основной промысел хамсы СССР вел в водах Грузии, где облавливалась преимущественно ее черноморская промысловая группировка [1–3]. Азовская промысловая группировка облавливалась в сравнительно небольших объемах у берегов Краснодарского края и Грузии [4–6]. В последние десятилетия в связи с повышением температуры поверхностных вод в Черном море азовская хамса в значительных количествах остается на зимовку и облавливается промысловыми судами РФ в основном в прибрежной зоне Краснодарского края [7]. Эффективность промысла хамсы в период ее зимовальных миграций авторы вышеуказанных публикаций связывают прежде всего с ее жирностью и температурой поверхностных вод.

Свойственный хамсе стереотип поведенческих реакций позволяет ей занимать на зимовках участки шельфа, наименее подверженные воздействию охлаждения и течений. Обычно уже в начале января косяки хамсы концентрируются вблизи прибрежных свалов глубин и подводных каньонов. Промысел скоплений этой рыбы в таких районах разноглубинными тралами практически невозможен.

В период зимовки при сравнительно низких температурах воды (8–10 °С) активность хамсы становится минимальной. В то же время было замечено, что под воздействием сильных штормов и снегопадов, вызывающих резкое понижение температуры воды, рыба может медленно, по 5–10 км в сутки, двигаться вдоль Кавказского побережья на юго-восток.

Развитие российского промысла хамсы, который в настоящее время практикуется разноглубинными тралами, предполагает скопление рыбы в достаточно высокой концентрации. Поэтому понимание основных особенностей поведения зимних скоплений хамсы является необходимым условием для прогнозирования промысловой обстановки.

Основные представления о разномасштабном абиотическом воздействии на поведение черноморской хамсы в период зимовки были сформулированы по результатам исследований, которые велись в научно-исследовательских рейсах в водах Грузии с 1983 по 1992 г. [8]. Было показано, что основным фактором, определяющим поведение промысловых скоплений черноморской хамсы, является циркуляция вод, а важным фактором внешних воздействий – атмосферные переносы.

Однако в исследованиях тех лет не предпринимались попытки анализа ежедневных промысловых показателей в связи с изменениями абиотических факторов, который позволил бы разработать модель краткосрочного прогнозирования эффективности промысла.

В октябре 2018 г. в Азово-Черноморском филиале («АзНИИРХ») ФГБНУ ВНИРО были начаты работы по комплексному экологическому ежедневному мониторингу промысла основных пелагических рыб Азовского и Черного морей, в том числе хамсы. По материалам мониторинга промысла хамсы

опубликованы две статьи, целью которых являлась организация управления ее промыслом. В них рассматривается динамика промысловых показателей по месяцам и различным типам судов [9], а также роль температуры воды в формировании скоплений хамсы [10] в северо-восточной части Черного моря. Однако этот материал не позволяет объяснить изменения промысловых показателей в синоптическом масштабе времени в период зимовки рыбы.

Поэтому цель данной работы – определить возможности использования в краткосрочном (1–7 сут) прогнозировании промысла хамсы в северо-восточной части Черного моря характеристик комплексного мониторинга таких факторов, как циркуляция вод и локальные атмосферные переносы.

Особенности атмосферной циркуляции в Азово-Черноморском регионе определяет сочетание влияния трех глобальных факторов: Азорского антициклона, Сибирского антициклона и перемещения с запада на восток атлантических и средиземноморских циклонов. Влияние двух последних факторов преобладает зимой, первого – летом [11]. Кроме того, важными особенностями атмосферной циркуляции данного региона являются активность восточных переносов на фоне общего преобладания западного переноса [12] и усиление меридиональных переносов циклонической деятельностью [13]. Это позволяет использовать в качестве показателей атмосферных переносов зональные и меридиональные их составляющие [14].

Активизация полигонных гидрофизических исследований в 1980-е гг. позволила установить, что в циркуляции вод Черного моря преобладает режим среднemasштабной синоптической нестационарности. Главной причиной синоптической изменчивости полей циркуляции вод являются вихревые образования и меандры Основного Черноморского течения (ОЧТ) [15, 16]. В последние годы благодаря совершенствованию дистанционных и дрейфтерных методов океанографического мониторинга значительно углубились знания о циркуляции верхнего слоя вод Черного моря [17, 18]. Лучше всего изучены прибрежные антициклонические вихри, образующиеся при сдвиге скорости течения между ОЧТ и берегом. Современные модели циркуляции с высоким пространственным разрешением позволили достаточно хорошо исследовать синоптическую изменчивость вихревой структуры течений у Кавказского побережья [18, 19].

Материалы и методы

При анализе промысла использовалась ежедневная информация ФГБУ «Центр системы мониторинга рыболовства и связи» (ЦСМРС), а также аналитическое программное обеспечение, разработанное сотрудниками Азово-Черноморского филиала ВНИРО. Исследовались данные о промысловых нагрузках (суточный вылов), а также информация о районе работы каждого судна. Это позволило выделять периоды и участки шельфа, где промысел ведется наиболее эффективно.

В первом квартале 2019 г. при достаточно устойчивой средней по промысловым районам температуре поверхности моря (ТПМ) были выбраны два зимовальных района и два периода, в пределах которых оказалось возможным сформировать непрерывный ряд средних суточных промысловых нагрузок (B) четырех судов типа СРТМ (средний рыболовный траулер морозильный), регулярно участвовавших в промысле. Это акватория шельфа

от Геленджика до Туапсе (далее район 1) с 5 января по 7 февраля (при средней ТПМ 10–11 °С) и акватория от Туапсе до Хосты (далее район 2) со 2 февраля по 13 марта (при средней ТПМ 9–10 °С).

Для формирования рядов показателей циркуляции вод и атмосферных переносов для этих периодов и районов в работе были использованы такие материалы мониторинга, как ежедневные карты:

- аномалий уровня Черного и Азовского морей (по данным спутниковой альтиметрии) (hmc.meteorf.ru/sea/black/ssh/ssha_black.html);
- приземного давления и температуры в Европе (анализ) (meteorpost.com/weather/pressure).

Использование в мониторинге этих карт объясняется оперативностью и доступностью этой информации, что крайне важно для краткосрочного рыбопромыслового прогнозирования.

На картах альтиметрии представлены «аномалии уровня моря (см), вычисленные относительно среднего за период 1993–2012 гг. отражают динамические процессы в море. Для выделения синоптической составляющей из поля аномалий вычитается среднее значение по акватории моря, вариации которого связаны в основном с сезонной и межгодовой изменчивостью. Области повышенных значений на картах соответствуют антициклонической циркуляции, а области пониженных – циклонической. <...> Исходные данные представлены на сетке с разрешением 0.125° для Черного моря и 0.25° – для Азовского» (hmc.meteorf.ru/sea/black/ssh/ssha_black.html). Карты аномалий уровня моря по альтиметрическим данным отображают геострофические течения в море. Но следует учитывать, что ежедневные карты являются продуктом интерполяции измеренных данных и поэтому могут содержать некоторые неопределенности.

В целях анализа пространственно-временной изменчивости уровня моря в прибрежных промысловых районах была выполнена оцифровка карт по сетке (две точки на разрезе перпендикулярно берегу), часть которой для указанных выше районов зимовки и промысла хамсы в 2019 г. представлена на рис. 1, а. Удаленность мористых точек разрезов от Кавказского побережья составляет 60–70 км. По полученным с карт значениям аномалий уровня (A) на разрезе определялась разница высот ($\Delta A = A_1 - A_2$).

По ежедневным картам атмосферного давления за 12-часовой срок UTC для исследуемого периода промысла рассчитывались ежедневные показатели атмосферных переносов для северо-восточной части Черного моря по 16-точечной сетке (рис. 1, б), предложенной В. А. Брянцевым для мониторинга атмосферных переносов в Азово-Черноморском регионе¹⁾. Эти показатели успешно используются в экосистемных и рыбохозяйственных исследованиях в Азово-Черноморском бассейне с 1970-х гг.

Атмосферные переносы по районам промысла хамсы представлены разностью значений атмосферного давления в узлах 3, 4, 7, 8 сетки для района 1 и в узлах 7, 8, 11, 12 для района 2. Зональные изменения атмосферного давления (P) характеризуют интенсивность меридиональных переносов:

¹⁾ *Брянцев В. А.* Методические рекомендации по гидрометеорологическому прогнозированию для основных объектов промысла в Черном море. Керчь : АзЧерНИРО, 1987. 41 с.

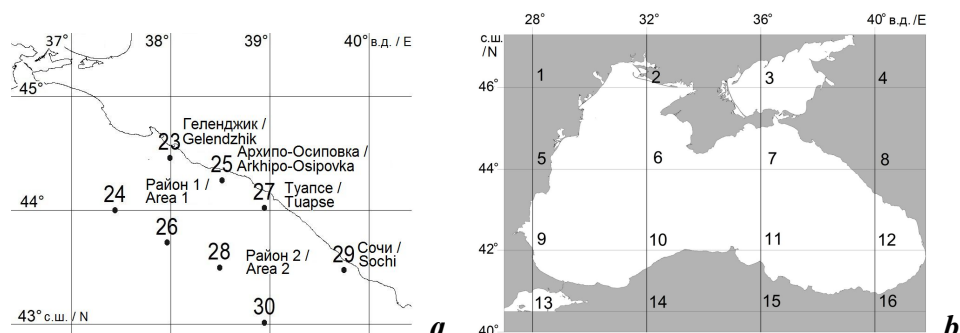


Рис. 1. Точки оцифровки карт спутниковой альтиметрии в районах промысла хамсы в первом квартале 2019 г. (а) и сетка мониторинга приземного поля атмосферного давления над Азово-Черноморским регионом (б)

Fig. 1. Points of digitization of satellite altimetry maps in the anchovy fishing areas in the first quarter of 2019 (a) and a grid for monitoring of the surface atmospheric pressure field over the Azov – Black Sea region (b)

северных ($-PM$) и южных ($+PM$), а меридиональные изменения давления характеризуют интенсивность зональных переносов: западных ($+PZ$) и восточных ($-PZ$). Показатель PM определялся как среднее значение между изменениями давления на северной и южной сторонах трапеций указанной сетки, PZ – как среднее значение между изменениями давления на западной и восточной их сторонах [11].

Динамика показателя вылова (B) и его связь с гидрометеорологическими показателями A , ΔA , PZ и PM были исследованы графическим и корреляционным методами. Парный корреляционный анализ вылова с альтиметрическими характеристиками показал наибольшую тесноту его связи с изменениями значений ΔA . Поэтому наклон поверхности моря в направлении, перпендикулярном направлению берега, с допустимой для наших исследований точностью может условно рассматриваться как показатель интенсивности вдольберегового течения. Положительные значения этого показателя у Кавказского побережья соответствуют традиционному направлению течения на северо-запад, отрицательные – обратному направлению, на юго-восток. В дальнейшем в анализе полученных результатов именно ΔA будет рассматриваться как характеристика интенсивности течения.

Влияние штормовых ветров на эффективность промысла в значительной степени устранено выбором периода исследований, так как суда ни на один день не прекращали работу (на промысле оставались не менее двух судов из четырех). А до тех пор пока судно способно вести промысел, его эффективность определяется прежде всего плотностью рыбных скоплений.

Ухудшение условий промысла, отразившееся на показателях вылова, отмечалось только 11–12 января при южных и юго-западных ветрах скоростью до 10 м/с. Усиление ветров южных румбов до скорости более 10 м/с, затрудняющее работу судов типа СРТМ у Кавказского побережья, отмечавшееся также 21 и 24 января, 26 февраля и 9 марта, явного воздействия на величину вылова не оказало. Ветры северных румбов скоростью более 12 м/с, способные усложнить условия промысла в данных районах, в рассматриваемые периоды не наблюдались.

Результаты исследований

Средние значения гидрометеорологических показателей (табл. 1) в районах 1 и 2 (в рассматриваемые периоды) свидетельствуют о значительных различиях условий промысла.

В январе в районе 1 преобладали юго-восточные атмосферные переносы, в феврале – марте в районе 2 – северо-западные. В первом районе, по сравнению со вторым, на прибрежных точках разрезов была более развита антициклоническая завихренность течений, на мористых точках – циклоническая. В районе 2 на всех точках средние аномалии уровня имели положительное значение, следовательно, весь район находился преимущественно в зоне антициклонического круговорота и показатель ΔA можно рассматривать здесь как показатель активности антициклонической завихренности. В результате влияния в районе 1 юго-восточных атмосферных переносов интенсивность северо-западного течения в прибрежной зоне этого района в январе была в 3–4 раза выше, чем в районе 2 в феврале – марте, а преобладавшие в районе 2 в феврале – марте северо-западные атмосферные переносы не способствовали усилению северо-западного течения в прибрежной зоне.

Сравнительно высокая дисперсия показателей уровня моря на прибрежных точках всех альтиметрических разрезов (кроме участка Туапсе) указывает на значительную изменчивость антициклонической завихренности течений в прибрежной зоне к северо-западу и к юго-востоку от Туапсе в январе – марте 2019 г.

Графики изменения средней промысловой нагрузки судов (эффективности промысла), показателей интенсивности северо-западного течения на трех альтиметрических разрезах и показателей атмосферных переносов в пределах района 1 и первого исследуемого периода представлены на рис. 2.

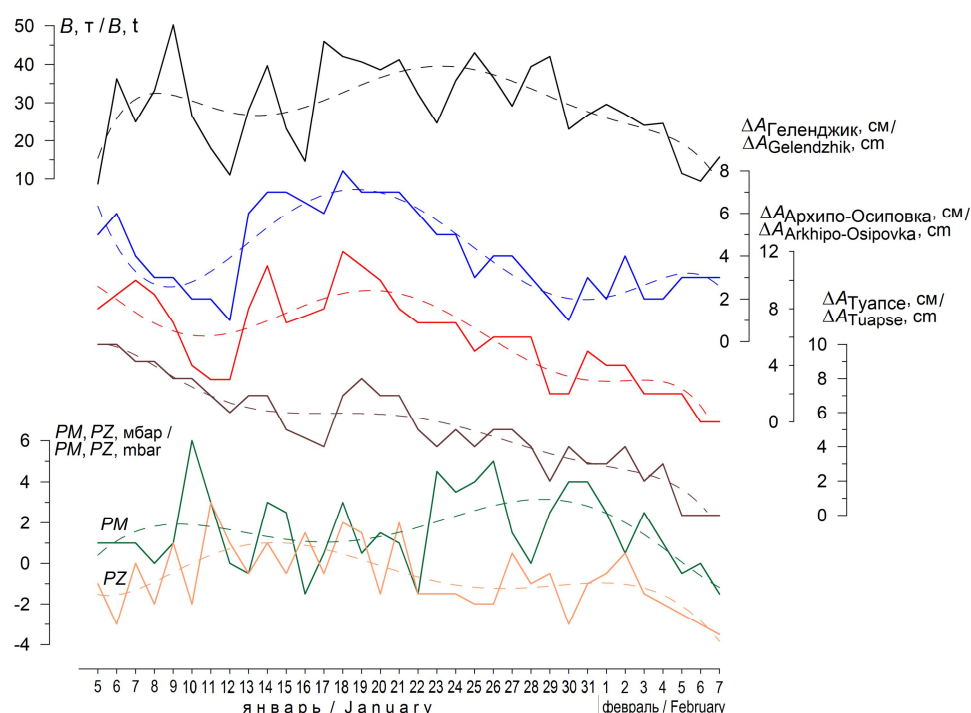
Таблица 1. Средние значения и дисперсия рядов гидрометеорологических показателей у Черноморского побережья Краснодарского края

Table 1. Average values and dispersion of series of hydrometeorological indicators near the Black Sea coast of the Krasnodar Territory

Показатели / Indicators	Разрезы района 1 (5 января – 7 февраля 2019 г.) / Sections of area 1 (January 5 – February 7, 2019)			Разрезы района 2 (2 февраля – 13 марта 2019 г.) / Sections of area 2 (February 2 – March 13, 2019)	
	Геленджик / Gelendzhik	Архипо- Осиповка / Arkhipo- Osipovka	Туапсе / Tuapse	Туапсе / Tuapse	Сочи / Sochi
A_1	2.53 (11.71)	3.26 (10.26)	3.29 (3.18)	1.95 (2.87)	1.75 (6.45)
A_2	-1.66 (2.98)	-2.69 (4.21)	-1.90 (3.94)	0.82 (2.76)	0.24 (3.05)
ΔA	4.19 (4.09)	5.96 (10.40)	5.19 (7.39)	1.13 (5.19)	1.51 (3.22)
PM		1.62 (3.73)		-0.36 (3.27)	
PZ		-0.71 (2.70)		0.57 (4.02)	

Примечание: в скобках указана дисперсия.

Note: dispersion is given in brackets.



Р и с. 2. Изменения средней промысловой нагрузки (B) четырех судов типа СРТМ, показателей интенсивности северо-западных течений (ΔA) на трех альтиметрических разрезах и атмосферной циркуляции в 12:00 UTC в районе Геленджик – Туапсе в январе – феврале 2019 г. (сглажены полиномиальной функцией 6-й степени)

Fig. 2. Changes in the average fishing load (B) of four vessels of SRTM type, indicators of the intensity northwest currents (ΔA) on three altimetric sections, and atmospheric circulation at 12:00 UTC in the Gelendzhik – Tuapse area in January – February 2019 (smoothed by the sixth-degree polynomial function)

График вылова характеризует достаточно высокую его изменчивость с периодом колебаний 3–7 сут. Амплитуда колебаний, значительная в первой половине периода, постепенно убывает по мере роста уловов и последующего их уменьшения, что может являться сначала следствием уменьшения подвижности хамсы, а затем уменьшения ее биомассы в данном районе.

Вид сглаженных кривых изменений показателя интенсивности северо-западных течений (особенно на двух северных разрезах) соответствует сглаженным изменениям вылова с опережающим ходом первого показателя на 3–5 сут. При этом рост промысловых нагрузок совпадает с усилением северо-западных течений (в большей степени в северо-западной части района). Во второй половине января – начале февраля по всему району наблюдалось ослабление северо-западных течений, сопровождающееся уменьшением вылова.

Амплитуды колебаний показателя интенсивности северо-западных течений были максимальны на среднем разрезе (район Архипо-Осиповки) и минимальны в районе Туапсе, что свидетельствует о повышенной активности меандрирования течений в рассматриваемый период на участке Геленджик – Архипо-Осиповка, где в это время был сосредоточен промысел.

Вид сглаженных кривых показателей атмосферных переносов и интенсивности северо-западных течений соответствует изменениям уловов. Увеличение вылова наблюдалось после усиления южных и западных составляющих атмосферных переносов. Устойчивое усиление северо-восточных атмосферных переносов в конце января – начале февраля сопровождалось устойчивым ослаблением северо-западных течений и уменьшением вылова.

Результаты корреляционного анализа исследуемых показателей для района 1, подтверждающие результаты графического анализа, представлены в табл. 2–3, из которых следует, что:

1. Объем вылова хамсы на данном участке шельфа в январе и начале февраля зависел прежде всего от интенсивности северо-западных течений в районе Геленджик – Архипо-Осиповка. Увеличение интенсивности течения улучшало показатели промысла, причем рост этих показателей следовал за увеличением интенсивности через 1–4 сут, что позволяет использовать эту связь в прогностических целях.

Таблица 2. Коэффициенты корреляции (уровень доверительной вероятности ≥ 0.95) среднего суточного вылова четырех судов типа СРТМ (предиктант) и абиотических показателей (PZ и ΔA разреза – предикторы)*

Table 2. Correlation coefficients (confidence level ≥ 0.95) of an average daily catch of four vessels of SRTM type (predictant) and abiotic indicators (PZ and ΔA of the section are predictors)*

Предиктор / Predictor	Упреждающий сдвиг предиктора (сут) / Predictor preemptive shift (day)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
PZ	–	–	–	–	–	–	0.48	0.39
ΔA_{23-24}	0.34	0.39	0.41	0.51	0.56	0.42	0.37	0.35
ΔA_{25-26}	0.52	0.62	0.43	0.39	0.36	–	–	0.33

* Достоверная связь объема вылова с показателями ΔA_{27-28} и PM отсутствовала.

* There was no proved relation between a catch size and ΔA_{27-28} and PM indicators.

Таблица 3. Коэффициенты корреляции (уровень доверительной вероятности ≥ 0.95) показателя ΔA (предиктант) и показателя PZ (предиктор)*

Table 3. Correlation coefficients (confidence level ≥ 0.95) of the ΔA indicator (predictant) and the PZ indicator (predictor)*

Разрез / Section	Упреждающий сдвиг предиктора (сут) / Predictor preemptive shift (day)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
ΔA_{23-24}	0.33	–	0.53	0.41	0.55	0.43	0.46	–
ΔA_{25-26}	0.42	–	0.40	0.36	0.36	0.38	0.38	0.43
ΔA_{27-28}	0.38	–	–	–	–	–	–	–

* Достоверная связь ΔA и показателя PM отсутствовала.

* There was no proved relation between ΔA and PM indicator.

2. Влияние атмосферных переносов на вылов проявилось слабо, присутствовала только статистически достоверная связь активизации восточных атмосферных переносов с уменьшением уловов спустя 6–7 сут.

3. Интенсивность северо-западных течений значимо зависела только от зональной компоненты атмосферных переносов и ослабевала на всех трех разрезах при усилении восточных переносов.

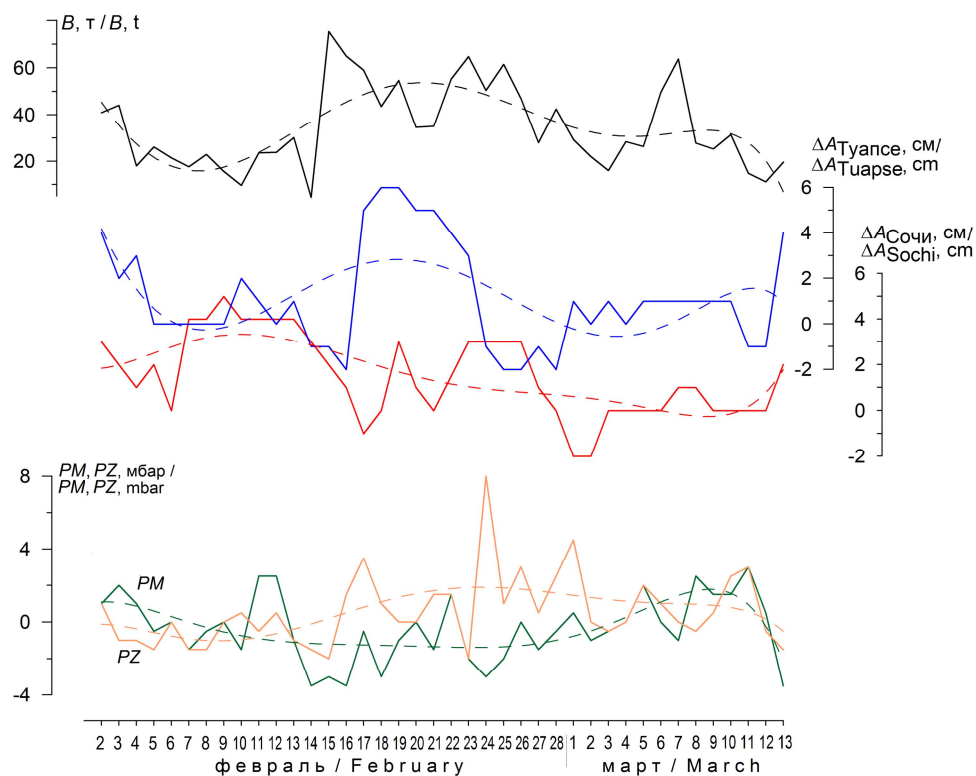
Учитывая эти связи, можно заключить, что до 20 января усиление южных и западных атмосферных переносов обеспечивало в районе 1 усиление северо-западных течений, что способствовало уплотнению скоплений хамсы. Средние суточные уловы медленно повышались, но практически не превышали 40 т для судов типа СРТМ. В конце января в результате повышения активности северо-восточных атмосферных переносов началось ослабление северо-западных течений, плотность скоплений хамсы снизилась, а средние уловы к началу февраля уменьшились до 10–20 т. Хамса продолжила миграцию на юго-восток, где на участке шельфа южнее Туапсе (район 2) 2–3 февраля промысловая обстановка улучшилась и в первой декаде февраля средний суточный вылов судов типа СРТМ был почти в два раза выше вылова в районе 1.

На участок шельфа в районе Туапсе – Хоста (район 2) основной промысел переместился 2–7 февраля. На рис. 3 представлены графики изменения средней промысловой нагрузки, показателей интенсивности вдольбереговых течений на двух альтиметрических разрезах и атмосферных переносов в пределах промыслового района 2.

Эффективность промысла на этом участке шельфа в первой декаде февраля, как и в районе 1, имела тенденцию к уменьшению. Однако с 15 февраля уловы резко возросли, а затем (в колебательном режиме) в течение месяца уменьшались до конца путины. Учитывая то, что резкое увеличение уловов произошло в районе Адлер – Хоста, можно утверждать, что оно связано с подходом в территориальные воды РФ значительных скоплений черноморской хамсы с юго-востока. Суточные уловы судов типа СРТМ увеличились до 80 т. К 24–25 февраля наиболее эффективный промысел сместился на северо-запад в район пос. Головинка – Сочи, в начале марта – в район пос. Совет-Квадже, а к середине марта (конец путины) – в район Туапсе. Вероятнее всего, до конца февраля велся промысел черноморской хамсы, а мартовский промысел на участке шельфа от пос. Совет-Квадже до пос. Ольгинка обеспечивали скопления азовской хамсы.

Периодичность изменений средних суточных уловов в районе 2 (как и в районе 1) составляла 3–7 сут и совпадала с изменениями интенсивности северо-западных течений. Смещение скоплений черноморской хамсы к северо-западу и увеличение уловов были обусловлены усилением течений, которые на Сочинском альтиметрическом разрезе отмечались 7–13 февраля и 23–26 февраля, на Туапсинском разрезе – 17–23 февраля и на обоих разрезах – в начале марта. Периоды ослабления северо-западных течений и появление юго-восточных 14–16 февраля и 24–29 февраля приводили к рассеиванию хамсы, смещению ее на юго-восток и ухудшению промысловой обстановки.

Это свидетельствует о том, что даже в период зимней пониженной подвижности рыба использует периоды ослабления течений для перемещения и активизации питания.



Р и с. 3. Изменения средней промысловой нагрузки (B) четырех судов типа СРТМ, показателей интенсивности северо-западных течений (ΔA) на двух альтиметрических разрезах и показателей атмосферной циркуляции в 12:00 UTC в районе Туапсе – Хоста в феврале – марте 2019 г. (сглажены полиномиальной функцией 6-й степени)

Fi g. 3. Changes in the average fishing load (B) of four SRTM vessels, indicators of the intensity northwest currents (ΔA) at two altimetric sections, and atmospheric circulation indicators at 12:00 UTC in the Tuapse – Khosta area in February – March 2019 (smoothed by the sixth-degree polynomial function)

Сопоставление графиков средней промысловой нагрузки и показателей атмосферных переносов (см. рис. 3) демонстрирует в масштабе синоптической изменчивости наличие прямой связи уловов с показателем зональных переносов и более слабой обратной связи с показателем меридиональных переносов. Устойчивое преобладание северо-западных переносов в середине второй декады и в середине третьей декады февраля приводило к повышению уловов.

Связь интенсивности течений с атмосферными переносами на графиках выглядит неоднозначно. Устойчивое усиление северо-западных течений в районе Сочи 7–13 февраля сопровождалось усилением юго-западных атмосферных переносов, а 23–26 февраля – северо-западных. При этом 23–26 февраля в районе Туапсе установились обратные юго-восточные течения. Усиление северо-западных течений в районе Туапсе 17–23 февраля наблюдалось при активизации юго-восточных атмосферных переносов, при этом в районе Сочи течения ослабевали. 10–12 марта ослабление течений

на обоих разрезах совпало с усилением северо-восточных переносов, а 13 марта усилилось при смене атмосферных переносов на юго-западные.

Корреляция ежедневных значений анализируемых показателей подтверждает наличие статистически достоверной связи величины уловов с усилением северной составляющей атмосферных переносов (табл. 4), причем максимальный коэффициент корреляции наблюдался при упреждающем сдвиге показателя *PM* на одни сутки.

Интенсивность северо-западного течения на Туапсинском разрезе имеет статистически значимую корреляцию с уловами при упреждающем сдвиге показателя ΔA на пять суток. Эти связи дают определенные возможности краткосрочного прогнозирования эффективности промысла.

Интенсивность течений в районе Туапсинского альтиметрического разреза была статистически значимо связана с изменениями меридиональной составляющей атмосферных переносов с упреждающим сдвигом показателя *PM* на 3–4 сут (табл. 5), а в районе Сочинского разреза – с зональной компонентой *PZ* (наиболее тесная связь при сдвиге на 5 сут). На северо-западе района 2 северо-западное течение усиливается через 3–4 дня после усиления северных атмосферных переносов, а на юго-востоке района – через 4–5 дней после усиления восточных.

Т а б л и ц а 4. Коэффициенты корреляции (уровень доверительной вероятности ≥ 0.95) среднего суточного вылова четырех судов типа СРТМ и абиотических показателей (*PM* и ΔA)*

Table 4. Correlation coefficients (confidence level ≥ 0.95) of the average daily catch of four vessels of SRTM type and abiotic indicators (*PM* and ΔA)*

Предиктор / Predictor	Упреждающий сдвиг предиктора (сут) / Predictor preemptive shift (day)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
<i>PM</i>	-0.29	-0.49	-0.39	-	-	-	-	-
ΔA_{27-28}	-	-	-	-	-	0.37	-	-

* Достоверная связь вылова с показателями *PZ* и ΔA_{29-30} отсутствует.

* There was no proved relation between *PZ* and ΔA_{29-30} indicators.

Т а б л и ц а 5. Коэффициенты корреляции (уровень доверительной вероятности ≥ 0.95) показателя ΔA с показателями *PZ* и *PM*

Table 5. Correlation Coefficients (confidence level ≥ 0.95) of the ΔA indicator with the *PZ* and *PM* indicators

Связи / Relations	Упреждающий сдвиг предиктора (сут.) / Predictor preemptive shift (day)							
	0	1	2	3	4	5	6	7
ΔA_{27-28} с <i>PM</i> / ΔA_{27-28} with <i>PM</i>	-	-	-	-0.44	-0.44	-	-	-
ΔA_{29-30} с <i>PZ</i> / ΔA_{29-30} with <i>PZ</i>	-0.30	-0.28	-	-	-0.44	-0.49	-0.35	-

Таким образом, усиление северо-западных течений и увеличение уловов хамсы в районе Туапсе – Хоста происходили после усиления северо-восточных атмосферных переносов, то есть когда в районе Геленджик – Туапсе интенсивность северо-западных течений и эффективность промысла уменьшались.

Причины этих различий, на наш взгляд, заключаются в том, что усиление северо-западных течений в зоне альтиметрических разрезов района 2 в феврале – марте 2019 г. было связано с активизацией антициклонической завихренности течений в прибрежной зоне при усилении северо-восточных атмосферных переносов, которые в районе 1 в январе приводили к ослаблению северо-западных течений.

Выводы

Обобщая результаты мониторинга промысла хамсы на двух промысловых участках в районе Геленджик – Туапсе и в районе Туапсе – Хоста с начала января до середины марта 2019 г., следует особо выделить одну общую закономерность – рост среднего суточного вылова хамсы в периоды усиления северо-западных течений. Причем на первом участке в январе эта связь была выражена лучше, так как северо-западные течения были в этом районе в 3–4 раза интенсивнее, чем на втором участке в феврале – марте, который в это время находился в зоне прибрежного антициклонического меандра.

На втором участке эффективность промысла зависела от атмосферных переносов больше, чем от вдольбереговых течений. Уловы увеличивались при усилении северных атмосферных переносов.

На первом участке эффективным для промысла хамсы фактором являлся зональный атмосферный перенос (при позитивной роли западной составляющей).

Наличие максимальных значимых связей при сдвиге факторов, определяющих промысловые показатели, на 1–7 сут дает возможность осуществлять краткосрочное прогнозирование эффективности промысла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Данилевский Н. Н.* Миграции черноморской хамсы и факторы их обуславливающие // Труды АзЧерНИРО. 1958. Вып. 17. С. 51–71.
2. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Т. IV : Черное море. Вып. 2 : Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Под ред. А. И. Симонова, А. И. Рябиной, Д. Е. Гершановича СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 219 с. URL: http://ipk.meteorf.ru/images/stories/literatura/hydro/gidrometeo_himiya_morei_04_2.pdf (дата обращения: 20.02.2021).
3. *Панов Б. Н., Чащин А. К.* Особенности динамической структуры вод в юго-восточной части Чёрного моря как предпосылки формирования зимовальных скоплений хамсы кавказского побережья // Океанология. 1990. Т. 30, вып. 2. С. 328–334.
4. *Попова В. П.* Черноморский период жизни азовской хамсы // Труды ВНИРО. 1954. Т. XXVIII. С. 65–74.
5. *Шульман Г. Е.* Физиолого-биохимические особенности годовых циклов рыб. М. : Пищевая промышленность, 1972. 367 с.
6. *Луц Г. И., Пряхин Ю. В.* Закономерности миграций и зимовок пелагических рыб Азовского моря – хамсы и тюльки // Рациональное использование и охрана природных ресурсов бассейнов Черного и Азовского морей. Издательство Ростовского университета, 1988. С. 78–85.

7. Состояние сырьевой базы в Азово–Черноморском рыбохозяйственном бассейне в 2013 г. и ее использование промыслом / У. Н. Александрова [и др.] // Труды ВНИРО. 2016. Т. 160. С. 12–25.
8. *Панов Б. Н., Спиридонова Е. О.* Гидрометеорологические предпосылки формирования промысловых скоплений и миграций черноморской хамсы в юго-восточной части Черного моря // *Океанология*. 1998. Т. 38, № 4. С. 573–584.
9. *Стафикопуло А. М., Горбатюк Я. И.* Промысловая нагрузка судов различной мощности при траловом промысле хамсы в Азово-Черноморском бассейне в 2017 г. // *Водные биоресурсы и среда обитания*. 2018. Т. 1, № 2. С. 51–69. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_2_51
10. Результаты мониторинга температурных условий миграции и промысла азовской хамсы / Б. Н. Панов [и др.] // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион*. 2020. № 1. С. 71–77. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2020-1-71-77>
11. *Панов Б. Н., Спиридонова Е. О.* Особенности сезонной и межгодовой изменчивости приземных атмосферных переносов в северной части Черного моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2010. Вып. 23. С. 47–60.
12. *Ефимов В. В., Анисимов А. Е.* Климатические характеристики изменчивости поля ветра в Черноморском регионе – численный реанализ региональной атмосферной циркуляции // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*. 2011. Т. 47, № 3. С. 380–392.
13. *Белокопытов В. Н.* Сезонная и межгодовая изменчивость завихренности поля ветра над Черным морем по данным архивных синоптических карт // *Системы контроля окружающей среды*. 2007. Вып. 10. С. 176–178.
14. *Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Смирнов С. С.* Многолетние и сезонные изменения приземной атмосферной циркуляции в Черноморском регионе // *Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. География*. 2009. Т. 22, № 2. С. 80–87.
15. *Иванов В. А., Белокопытов В. Н.* *Океанография Черного моря*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2011. 209 с.
16. Восстановление климатической сезонной циркуляции Черного моря на основе модели в σ -координатах с использованием ассимиляции данных о температуре и солёности / В. В. Кныш [и др.] // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2008. Вып. 16. С. 243–265.
17. *Kubryakov A. A., Stanichny S. V.* Mean dynamic topography of the Black Sea, computed from altimetry, drifters measurements and hydrology data // *Ocean Science*. 2011. Vol. 7, iss. 6. P. 745–753. <https://doi.org/10.5194/os-7-745-2011>
18. *Каримова С. С.* Вихревые течения в Черном море // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2008. Т. 5, № 2. С. 95–101.
19. *Григорьев А. В.* Моделирование динамики вод прибрежной зоны Черного моря // *Труды ГОИН. Обнинск : Артифлекс*. 2015. № 216. С. 221–239.

Об авторах:

Панов Борис Николаевич, ведущий научный сотрудник, Азово-Черноморский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («АзНИИРХ») (344002, Россия, Ростов-на-Дону, ул. Береговая, 21в), старший научный сотрудник, кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0001-6875-8713**, panov_bn@mail.ru

Спиридонова Елена Олеговна, доцент кафедры экологии моря, Керченский государственный морской технологический университет (298309, Россия, Керчь, ул. Орджоникидзе, 82), кандидат географических наук, **ORCID ID: 0000-0003-1029-6565**

Заявленный вклад авторов:

Панов Борис Николаевич – существенный вклад в концепцию статьи, идею, анализ и интерпретацию данных, руководство исследованием, написание статьи, работа над черновой версией

Спиридонова Елена Олеговна – вклад в концепцию статьи, анализ и интерпретацию данных, весомые поправки при пересмотре версий рукописи

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Danilevsky, N.N., 1958. [Migrations of the Black Sea European Anchovies and their Conditioning Factors]. In: AzCherNIRO, 1958. *Trudy AzCherNIRO* [Proceedings of AzCherNIRO], Iss. 17, pp. 51–71 (in Russian).
2. Simonova, A.I., Ryabinin, A.I. and Gershanovich, D.E., eds., 1992. [*Hydrometeorology and Hydrochemistry of Seas. Vol. 4. The Black Sea. Iss. 2: Hydrochemical Conditions and Oceanological Basics of Formation of Biological Productivity*]. Saint-Petersburg: Hydrometeoizdat, 219 p. (in Russian).
3. Panov, B.N. and Chashchin, A.K., 1990. [Features of the Dynamic Water Structure in the South-Eastern Part of the Black Sea as a Prerequisite for the Formation of Winter Accumulations of European Anchovy on the Caucasian Coast]. *Oceanology*, 30(2), pp. 328–334 (in Russian).
4. Popova, V.P., 1954. [The Black Sea Period of Life of the Azov European Anchovy]. In: VNIRO, 1954. *Trudy VNIRO*. Vol. 28, pp. 65–74 (in Russian).
5. Shulman, G.E., 1972. [*Physiological and Biochemical Features of Annual Cycles of Fish*]. Moscow: Pishchevaya Promyshlennost. 367 p. (in Russian).
6. Luts, G.I. and Pryakhin, Yu.V., 1988. [Regularities of Migration and Wintering of Pelagic Fish of the Azov Sea European Anchovy and Black Sea Sprat]. In: Yu. P. Khrustalev, ed., 1988. [*Rational Use and Protection of Natural Resources in the Black and Azov Seas*]. Rostov University press, pp. 78–85 (in Russian).
7. Alexandrova, U.N., Ignatenko, A.S., Perevalov, O.A., Poverennaya, A.A., Rogov, S.F., Leontiev, S.Yu. and Bondarenko, M.V., 2016. The status of Fishery Resources and Fish Harvest in the Azov and Black Sea Basin in 2013. *Trudy VNIRO*, 160, pp. 12–25 (in Russian).
8. Panov, B.N. and Spiridonova, E.O., 1998. Hydrometeorological Prerequisites of the Formation of Commercial Aggregations and Migrations of the Anchovy in the Southeastern Part of the Black Sea. *Oceanology*, 38(4), pp. 518–529.
9. Stafikopulo, A.M. and Gorbatyuk, Ya.I., 2018. Fishing Pressure for Vessels of Different Power Capacity during Anchovy Trawling in the Azov and Black Seas Basin in 2017. *Aquatic Bioresources and Environment*, 1(2), pp. 51–69. https://doi.org/10.47921/2619-1024_2018_1_2_51 (in Russian).
10. Panov, B.N., Spiridonova, E.O., Pyatinsky, M.M. and Arutyunyan, A.S., 2020. Results of Monitoring of Temperature Conditions of Migration and Fishing of the Azov Hamsa. *Bulletin of Higher Education Institutions. North Caucasus Region. Natural Sciences*, (1), pp. 71–78. <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2020-1-71-77> (in Russian).

11. Panov, B.N. and Spirydonova, E.O., 2010. Specifics of Seasonal and Interannual Variations of Atmospheric Transport in the Southern Black Sea. In: MHI, 2010. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 23, pp. 47–60 (in Russian).
12. Efimov, V.V. and Anisimov, A.E., 2011. Climatic Parameters of Wind-Field Variability in the Black Sea Region: Numerical Reanalysis of Regional Atmospheric Circulation. *Izvestiya. Atmospheric and Oceanic Physics*, 47(3), pp. 350–361 <https://doi.org/10.1134/S0001433811030030>
13. Belokopytov, V.N., 2007. Seasonal and Interannual Variability of the Wind Field Vorticity over the Black Sea According to the Data of Archival Synoptic Maps. In: MHI, 2007. *Monitoring Systems of Environment*. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 10, pp. 176–178 (in Russian).
14. Panov, B.N., Spirydonova, E.O. and Smirnov, S.S., 2009. Long-Term and Seasonal Changes in the Surface Atmospheric Motion at the Black Sea Region. *Scientific Notes of Taurida V.Vernadsky National University. Series: Geography*, 22(2), pp. 80–87 (in Russian).
15. Ivanov, V.A. and Belokopytov, V.N., 2013. *Oceanography of the Black Sea*. Sevastopol: MHI, 210 p.
16. Knysh, V.V., Kubryakov, A.I., Inyushina, N.V. and Korotaev, G.K., 2008. Renewal of the Black Sea Climatic Seasonal Circulation Based on the Basis of Model in Sigma-Coordinates with the Use of Temperature and Salinity Data Assimilation. In: MHI, 2008. *Ekologicheskaya Bezopasnost' Pribrezhnykh i Shel'fovykh Zon i Kompleksnoe Ispol'zovanie Resursov Shel'fa* [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones and Comprehensive Use of Shelf Resources]. Sevastopol: ECOSI-Gidrofizika. Iss. 16, pp. 243–265 (in Russian).
17. Kubryakov, A.A. and Stanichny, S.V., 2011. Mean Dynamic Topography of the Black Sea, Computed from Altimetry, Drifters Measurements and Hydrology Data. *Ocean Science*, 7(6), pp. 745–753. <https://doi.org/10.5194/os-7-745-2011>
18. Karimova, S.S., 2008. [Eddy Currents in the Black Sea]. *Sovremennyye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa = Current Problems in Remote Sensing of the Earth From Space*, 5(2), pp. 95–101 (in Russian).
19. Grigoriev, A.V., 2015. Modelling of Dynamics of Waters in the Coastal Zone of the Black Sea. In: V. M. Gruzinov, ed., 2015. *Proceedings of N.N. Zubov State Oceanographic Institute*. Obninsk: Artifeks. Iss. 216, pp. 221–239 (in Russian).

About the authors:

Boris N. Panov, Senior Research Associate, Azov-Black Sea Branch of the FSBSI “VNIRO” (“AzNIIRKH”) (21v Beregovaya St., Rostov-on-Don, 344002, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0001-6875-8713**, panov_bn@mail.ru

Elena O. Spiridonova, Associate Professor, Kerch State Maritime Technological University (82 Ordzhonikidze St., Kerch, 298309, Russian Federation), Ph.D. (Geogr.), **ORCID ID: 0000-0003-1029-6565**.

Contribution of the authors:

Boris N. Panov – significant contribution to the conception of the article, idea, analysis and interpretation of data, user research, writing articles, working on a draft version

Elena O. Spiridonova – contribution to the concept of the article, analysis and interpretation of data, significant amendments to the revision of the manuscript versions

All the authors have read and approved the final manuscript.