

УДК 551.462

**ГЕОГРАФО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ МАРИКУЛЬТУРЫ НА ПРИБРЕЖНЫЕ ВОДЫ
ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧЕРНОГО МОРЯ**

© 2007 г. Д. Я. Фащук*, В. Б. Муравьев**, О. А. Петренко***

*Институт географии Российской академии наук

109017 Москва, Старомонетный пер., 29

**ООО “Экофиш”

354349 Сочи, ул. Эпроневская, 1

***Южный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии

98300 Керчь, ул. Свердлова, 2

Поступила в редакцию 17.02.2006 г.

Исследованы тенденции развития марикультуры в России. Проанализирован мировой опыт контроля последствий функционирования рыбоводных ферм для морской среды. Выполнена статистическая обработка данных полевых океанографических наблюдений 1957–1989 гг. в прибрежной одномильной зоне восточной части Черного моря. Систематизированы результаты исследования природных факторов, определяющих поступление и интенсивность биогеохимической трансформации органических загрязнений, а также условий накопления осадков и аэрации вод в российской зоне черноморского побережья. Установлено, что вдоль побережья Северного Кавказа в море активно действуют мощные природные механизмы самоочищения водной среды. Сделано заключение о практически полной экологической безопасности морской подводной фермы по разведению рыбы, строящейся в районе Сочи (пос. Хоста). Обращено внимание на необходимость учета высокой динамической активности вод района при закреплении на якоря рыбоводных садков фермы.

С древних времен океан был важнейшим источником пищи для человека. На протяжении многих тысячелетий существования цивилизации его биологические ресурсы считались неисчерпаемыми. В XVII в. голландский ученый-юрист Гуго Гроций при разработке принципов экономического освоения Мирового океана наивно полагал, что “море не может истощиться ни вследствие плавания по нему, ни вследствие рыбной ловли, то есть ни одним из способов, которыми оно может быть использовано”. Однако, вскоре мир убедился в несостоятельности этой концепции. Уничтожив всего за несколько лет запасы морских котиков, главы ведущих держав (США, России, Японии, Великобритании, Канады) в 1911 г. заключили первое в истории морского права соглашение об охране ресурсов океана [17].

Стремительный рост населения планеты сопровождался активизацией его деятельности по освоению морских биологических ресурсов. Темпы прироста мирового вылова рыбы с 1950 по 1970 г. ежегодно увеличивались на 10%, превышая темпы прироста населения Земли. Если в середине XIX в. суммарная мировая добыча рыбы и морепродуктов составляла всего 17 млн. т, то к 1970-м гг. она выросла в пять раз, к 1990-м гг. этот показатель стабилизировался на уровне 95 млн. т. Стало очевидно, что промысловые запасы рыбы и других морепро-

дуктов ограничены и истощены, а объем их добычи достиг предельно допустимого [14].

В начале XXI в., несмотря на стабилизацию объема промышленного лова морских объектов, его величина, тем не менее, превысила 130 млн. т. Такой рост определился активным развитием аквакультуры. Объем ее мировой продукции сегодня составляет 35 млн. т или >30% суммарного мирового производства морепродуктов. Развитие управляемых морских аквахозяйств по производству белковой пищи, начавшееся во всем мире с 1980-х гг., является в настоящее время наиболее перспективным направлением в использовании биологических ресурсов Мирового океана [14].

В 2006 г. в Черном море на траверзе пос. Хоста (Сочи) на удалении 2,6 мили от берега, на глубине 40 м начата установка подводной фермы для разведения черноморского лосося, форели и стального американо-русского лосося. Подводные автоматизированные рыбоводные садки фермы (ПАРС) состоят из верхней и нижней шестиугольных рам с регулируемой плавучестью, выполненных из стальных труб, между которыми закрепляется сетная камера. В центре верхней рамы расположен бункер для корма, кормораздатчик и система управления садком. Рабочее положение садка – подводное. К верхнему каркасу садка пристыкованы заменяемые балластные пластиковые (металлические) цистер-

ны, обеспечивающие погружение и всплытие конструкции при заполнении их по мере необходимости водой или сжатым воздухом.

Архитектура садка ПАРС-2500 позволяет расширять объем сетной камеры от 1200 до 4000 м³. В подводном положении он выдерживает шторм с максимальной высотой волны (для Черного моря) и течения до 2.0 м/с. В положении на плаву система обслуживается при волнении до 3 баллов. ПАРС удерживается на грунте тремя гравитационными якорями, расположенными в вершинах равностороннего треугольника со стороной 100 м, при глубине акватории до 50 м. Общая площадь фермы составляет 6 га (ширина 100, длина 600 м).

Бункер, вмещающий 1.5–2.5 т гранулированного корма, обеспечивает автономность конструкции до 25 сут. Программа контролирует процесс кормления, погружение и всплытие садка. Автоматически устанавливается время кормления, обеспечивается дозировка и частота подачи корма. В момент кормления открывается нижний люк бункера, корм сбрасывается, а люк закрывается. При повышении скорости течения до критических величин (2 м/с) подача корма прекращается для избежания потерь. Производительность фермы 300–500 т рыбы в год.

Авторы поставили цель исследовать пригодность района пос. Хоста для размещения фермы и оценить возможность неблагоприятного ее воздействия на окружающую морскую среду.

ОСОБЕННОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МАРИКУЛЬТУРЫ В РОССИИ

Систематизация данных о развитии марикультуры в России [2] позволила установить, что его первый этап относится к 1970–1990 гг., когда вслед за мировыми тенденциям, в морях, омывающих берега бывшего СССР на севере, Дальнем Востоке и других районах (Балтийское, Баренцево, Белое, Охотское, Японское, Черное, Азовское, Каспийское) начались исследования и производственные разработки по новому в отечественной научной и рыбохозяйственной деятельности направлению – искусственному выращиванию рыбы, моллюсков и водорослей.

До 1980 г. продукция аквакультуры СССР в мировой статистике не отражалась. Тем не менее, к 1991 г. она достигла 438 тыс. т (1.1–1.3% мировой). При этом ее основу составляли карповые (пресноводные) рыбы. После распада СССР (отсоединения Украины, Эстонии, Латвии, Грузии) этот показатель в России снизился до 78 тыс. т (1994 г.) из которых на долю марикультуры (выращивания в море) приходилось всего 6–7 тыс. т (в основном водоросли в Японском море). По последним данным, доля искусственного выращивания рыбы в нашей стране составляет 2% общего объема морепро-

дуктов. В мировом же объеме она сегодня достигла 35, а в Китае – 50%.

В связи с особенностями физико-географических и климатических условий российских морских побережий (открытость для ветров и волнения, относительно низкие температуры, высокая изменчивость солености воды) при организации здесь марихозайств не всегда удается использовать технологии других стран (опыт лососеводства в защищенных от ветра фьордах Норвегии или выращивания креветок и тилапий в теплых морях Юго-Восточной Азии). Кроме традиционных направлений развития марикультуры в России (разведение осетров и лососей) объектами ее стали виды-акклиматизанты, завезенные из других морей: дальневосточная горбуша – в Белом и Баренцевом морях, дальневосточный пиленгас – в Черном и Азовском, камчатский краб – в Баренцевом, полосатый окунь из Америки – в наших южных морях.

Приоритетным направлением в развитии марикультуры в России в середине 1990-х гг. стало разведение мидий в Белом и камбалы-калкан в Черном морях. Кроме того, в Белом море ведутся работы по выращиванию зубатки, водоросли ламинарии, сельди и по акклиматизации горбуши. В заливах Белого моря можно выращивать до 15 лососевых рыб, 10 мидий и 5 тыс. т водорослей [2].

В Баренцевом море представляется перспективным товарное выращивание лососевых (форель, семга, кижуч), акклиматизация дальневосточных вселенцев (горбуша, терпуг, краб), разведение морских рыб-аборигенов (треска, камбала и др.), культивирование промысловых водорослей и моллюсков.

В 50-мильной прибрежной зоне Охотского и Японского морей в Приморском крае, на Сахалине и Курильских о-вах можно получать до 5–6 млн. т продукции марикультуры – рыбы (лососевые, кефалевые, частичковые), моллюсков (гребешок, мидии), беспозвоночных (трепанг, морские ежи, кукумария, травяная креветка, крабы и др.) и водорослей [2].

В Азово-Донском бассейне планируется разведение и искусственное воспроизводство проходных и полупроходных рыб, а в настоящее время успешно разводится и выращивается дальневосточная кефаль-пиленгас. В Черном море, несмотря на резкое (80–90%) сокращение продукции марикультуры в 1990-х гг., остается надежда на ее восстановление за счет садкового выращивания лососевых (форель, стальноголовый лосось), осетровых, культивирования мидий и устриц, камбалы-калкана, кефалей видов-аборигенов (лобана, сенгиля).

Все эти планы позволили в конце XX в. оценить перспективный рост продукции марикультуры в России до 200–300 тыс. т, из которых 1/3 составят ценные виды рыб [2]. Сегодня в этом направлении работают 115 рыбопроизводных частных и государственных компаний страны, выращивающих 25 ви-

дов рыб и морепродуктов – в первую очередь карпа, форели и осетровых. В 2005 г. весь рынок аквакультуры в России оценивался в 200 млн. дол. США (в мире – 35 млрд.). По заключению Экспертного института при Российском Союзе Промышленных Предпринимателей при увеличении вылова и выращивания рыбы во внутренних водоемах в 5–6 раз (до 1.3–1.5 млн. т или 30–50% общего объема) этот рынок можно увеличить до 500 млн. дол. [16].

МИРОВОЙ ОПЫТ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МОРСКИХ РЫБОВОДНЫХ ФЕРМ

При разведении лососевых рыб в морских садках основными источниками воздействия на окружающую среду являются продукты их жизнедеятельности и потери корма. Характер загрязнения вод и донных осадков, таким образом, зависит в основном от технологии кормления, качества и вида корма. В Швеции, например, при товарном выращивании лососей в районе установки рыбоводных ферм (обычно это тихие чистые фьорды и заливы, защищенные от ветра) из-за неполного использования в морскую среду попадает 1–5 сухого, 5–10 пастообразного и 10–30% влажного корма [10].

В Англии в процессе выращивания 15 тыс. т лососевых рыб в 1990 г., при среднем количестве корма 1 кг на 1000 кг рыбы в сутки, т.е. кормовом коэффициенте (КК), равном 1.5, в окружающую среду попало >300 т фосфора. После анализа технологии процесса было выяснено, что при переходе на высокоэнергетичные корма с низким содержанием фосфора (~1%) и при КК = 1.2 фосфорное загрязнение можно снизить на 75%.

Самые строгие требования к качеству воды, вытекающей с морской рыбоводной фермы, предъявляются в Дании. Она должна содержать здесь не более 1 мг/л органического вещества, 3 мг/л взвешенных веществ, 5 фосфора, 40 аммиака, 60 мг/л общего азота.

Подводные садки ПАРС-2500, которыми предполагается оборудовать ферму, имеют объем 2500 м³ и будут содержать в процессе выращивания 60–100 т рыбы. Для крупных особей (последняя стадия выращивания) при 15°C прирост массы тела в сутки может составить 0.9% общего веса или в пересчете на весь садок – до 150 кг. При КК = 1.2 для этого потребуется 170 кг корма в сутки, а при КК = 1.5 – 225 кг.

В предполагаемых к использованию кормах содержится ~1% фосфора, а в теле самой рыбы – 0.4. Таким образом, при скармливании 225 кг корма из 2.25 кг содержащегося в нем фосфора 0.9 усвоится рыбой, а 1.35 кг – выделится в море. Аналогичные расчеты легко провести и для азота, которого в

корме содержится 7.5, а в рыбе – 2.7%. Водная среда в этом случае получит >10 кг азота. При производстве 1000 кг лосося расходуется ~1200 кг сухого гранулированного корма и в окружающую среду попадает ~12 кг фосфора, 65 азота и 500 кг органических веществ.

Продукты метаболизма рыб и остатки корма, накапливающиеся в местах расположения фермы, после растворения в воде становятся источником питательных веществ для микроорганизмов низших трофических уровней (бактерии-, фито- и зоопланктона), а также скапливаются на дне в нерастворенной форме. В зависимости от используемой биотехники кормления в среднем при производстве 1 кг лосося или радужной форели под садком накапливается 0.5–0.7 кг отходов в виде фекалий и остатков корма. В начальной стадии работы фермы на этих органических осадках под садками развивается ряд бентосных организмов [2].

Для исследования возможности развития таких явлений в районе пос. Хоста были проанализированы природные факторы, определяющие поступление и скорость биогеохимической трансформации органических соединений, а также условия накопления осадков и аэрации прибрежных вод.

ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА

Протяженность морских берегов на территории России от Керченского прол. до границы с Грузией (р. Псоу) составляет ~400 км – менее 10% общей длины (4431 км) береговой черты Черного моря. Из них 309 км подвержено абразионно-оползневому, скально-обвальному, обвальному процессам и характеризуются аналогичными типами берегов. Только 60 км российского берега Черного моря представлены аккумулятивными формами рельефа – косами, пересыпями, баррами, аккумулятивными террасами. Все большее распространение получают здесь и техногенные берега [27].

Район строительства морской рыбоводной фермы расположен в зоне Большого Сочи, занимающей полосу побережья длиной ~150 км, простирающийся с юга на север от р. Псоу до р. Шепси. Между этими реками непосредственно на территории Большого Сочи (поселки Макопсе, Аше, Лазаревское, Мацеста, Хоста, Адлер, Веселое) в море впадают малые реки (Мзмыта, Кудепста, Хоста, Дагомыс, Псахе и др.). Кроме того, в Грузии, расположенной к югу от Краснодарского края, в Черное море впадают более крупные реки (Риони, Чорохи, Ингури, Кодори, Бзыби, Супса и др.), вносящие в сумме до 43 км³ пресной воды в год (12.7% суммарного речного стока в Черное море) и, безусловно, влияющие на состояние морской среды в районе установки морской рыбоводной фермы (табл. 1).

Таблица 1. Характеристики основных рек Кавказского побережья Черного моря [25] (прочерк – отсутствие данных)

Река	Длина, км	Средний сток, км ³ (минимальный-максимальный)	Площадь водосбора, (км ²)	Период максимального стока (источник питания)
Риони	228	12.8 (9–17.3)	13 300	март–май (смешанное)
Чорох	500	8.69 (5–13)	22 000	апрель–июль (дожди)
Ингури	221	4.63 (0.36–7.75)	4060	июнь–июль (смешанное)
Кодори	84	4.08 (2.73–5.67)	2030	май (смешанное)
Бзыбь	–	3.07 (1.94–4.94)	1410	май (смешанное)
Супса	–	1.45 (0.93–2.38)	1100	равномерно (паводочное)
Мзмыта	–	1.33 (0.82–2.14)	798	май
Все реки	–	43.2 (34–58.9)	75 000	май

Таблица 2. Средняя/наибольшая продолжительность, ч, сильных ветров (>10 м/с) в Кавказском районе побережья Черного моря [13]

Месяц												Год
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
40/96	44/125	34/65	20/49	11/24	7/27	8/13	4/12	4/8	31/55	50/95	31/68	291/637

Ширина шельфа (до изобаты 200 м) в зоне Большого Сочи составляет 4–12 км. Здесь он имеет плоскую ровную поверхность с уклоном в сторону бровки 0.2–0.6 град. Береговой (прибойный) участок шельфа простирается от береговой линии до изобат 25–30 м, центральная шельфовая платформа располагается между изобатами 30–70, а внешняя часть шельфа (зона перегиба) занимает изобаты 80–105 м [1].

На участке р. Псоу – м. Константиновский (14 км к югу от пос. Хоста) располагаются реликтовые природные галечные пляжи. В зоне строительства рыболовной фермы в районе пос. Хоста в прибрежной полосе моря до глубин 10–12 м грунт представлен галькой, которая на 25–30 м сменяется алевроитовым песком, переходящим на глубине 40 м в пелитовый (илистый) песок. Толщина слоя песка под галькой на глубине до 7 м составляет 2.1–2.8, на глубинах 11–15 м она возрастает до 6–8, а мощность илов на глубинах 80–100 м не превышает 2–3 м [9].

ВЕТЕР И ВОЛНЕНИЕ МОРЯ

Ветровой режим над российским побережьем Черного моря определяется, как и над всей акваторией моря, типом синоптических процессов. Особенности их внутригодовой изменчивости определяют преобладание в течение всего года на северном побережье Кавказа ветров северо-восточных направлений и очень малую повторяемость северных, западных и северо-западных переносов. На юго-восточном побережье моря наибольшую повторяемость в течение года имеют юго-западные ветры.

Зимой особенно редко наблюдаются северо-западные и северные ветры, а летом – юго-восточные.

Большой Сочи расположен между двумя зонами с разнонаправленными воздушными переносами, поэтому в теплые периоды года здесь преобладает местная бризовая циркуляция: западный и юго-западный (морской) бриз днем и северный, северо-восточный (береговой) бриз днем и северный, северо-восточный (береговой) бриз ночью. В течение всего года над экваторией Черного моря преобладают ветры северо-восточной четверти. Их среднегодовая повторяемость составляет 25–40, а в зимние и осенние месяцы в северо-восточной части моря – 40–50%. В результате сгонных ветров у побережья Кавказа высота уровня моря может изменяться на 20–30 см.

Типичное для зимы северо-восточной части Черного моря явление бора – порывистый штормовой ветер (от 14 до 40 м/с), вызываемый перепадами давления через горы холодным воздухом, развивается в зоне побережья от Анапы до Туапсе. Южнее этой границы в районе Сочи бора не прослеживается. Показатели ветровой деятельности, характерные для черноморского побережья Кавказа южнее Туапсе, представлены в табл. 2.

Штормовое волнение. В литературных и справочных источниках нет информации о состоянии поверхности моря в исследуемом районе по прямым наблюдениям береговых станций. Косвенно о ветровом волнении здесь можно судить по результатам теоретических расчетов, выполненных по синоптической информации для характерной точки в северо-восточной части

Таблица 3. Элементы ветрового волнения в северо-восточной части Черного моря, возможные 1 раз в n лет [13]

Элемент волнения	Период	Количество лет n					
		1	5	10	20	30	50
Средняя высота, м	I–III	2.4	2.8	3.1	3.3	3.3	3.4
	IV–VI	1.7	2.0	2.1	2.2	2.2	2.3
	VII–IX	1.6	1.9	2.0	2.1	2.1	2.2
	X–XII	2.2	2.5	2.7	2.8	2.8	2.9
	Год	2.4	2.8	2.9	3.2	3.3	3.9
Средний период, с	I–III	6.8	7.5	7.8	8.0	8.1	8.3
	IV–VI	6.2	6.7	6.9	7.2	7.3	7.4
	VII–IX	5.9	6.4	6.6	6.7	6.8	6.9
	X–XII	6.9	7.4	7.7	7.9	8.0	8.1
	Год	7.3	8.0	8.2	8.5	8.6	9.4
Скорость ветра, м/с	I–III	20.0	23.0	25.0	26.0	27.0	27.0
	IV–VI	14.0	16.0	17.0	17.0	18.0	18.0
	VII–IX	14.0	16.0	17.0	17.0	18.0	18.0
	X–XII	17.0	19.0	20.0	21.0	21.0	21.0
	Год	20.0	23.0	25.0	25.0	25.0	29.0

Таблица 4. Среднемноголетние гидрологические характеристики прибрежных территориальных вод России в Черном море на удалении 1 мили от берега

Горизонт, м	Весна			Лето			Осень			Зима		
	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$\text{O}_2, \text{мл/л}$	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$\text{O}_2, \text{мл/л}$	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$\text{O}_2, \text{мл/л}$	$T, ^\circ\text{C}$	$S, \text{‰}$	$\text{O}_2, \text{мл/л}$
0	17.99	16.60	6.75	24.50	17.17	5.57	13.78	17.61	6.48	8.66	17.64	7.34
10	14.98	17.64	6.99	23.62	17.53	5.54	13.97	17.93	6.47	8.55	17.99	7.35
20	11.56	17.92	7.14	20.10	17.79	6.07	13.79	17.99	6.43	8.57	18.10	7.25
30	9.37	18.11	7.20	14.69	18.05	6.73	13.41	18.06	6.41	8.60	18.13	7.20
50	7.68	18.29	6.91	8.58	18.29	6.69	10.81	18.28	6.41	8.25	18.25	7.04

Черного моря ($44^\circ 00' \text{ с.ш.}$, $37^\circ 00' \text{ в.д.}$). Эти расчеты репрезентативны для всего района, включая и прибрежную зону (табл. 3).

Северо-восточный район Черного моря практически во все сезоны года характеризуется пониженной ветровой активностью над морской акваторией. В среднем за год повторяемость слабых ветров ($< 5 \text{ м/с}$) составляет здесь 63.3%. В апреле-июне она максимальна 77.5, в июле-сентябре снижается до 68.1, а зимой и весной составляет 49–57%. В эти же сезоны вероятно максимальная высота волнения, которая ежегодно может составлять 2.4 м, один раз в 5 лет – 2.8, один раз в 10 лет – до 3 и один раз в 50 лет – до 4 м.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

По осредненным данным многолетних (1957–1989 гг.) сезонных наблюдений, проведенных сотрудниками Южного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии на разрезах по нормали к

берегу от Геленджика, Сочи и Сухуми, вдоль Кавказского побережья России на удалении от берега 1 мили среднесезонная температура воды в поверхностном слое весной может изменяться от 12.98 до 21.35 $^\circ\text{C}$, соленость – от 14.79 до 17.77‰, содержание в воде кислорода – от 5.94 до 7.36 мл/л. Летом диапазоны изменения этих величин составляют соответственно: 21.92–26.90 $^\circ\text{C}$, 16.05–17.79‰ и 5.12–6.16 мл/л; осенью: 11.26–17.53 $^\circ\text{C}$, 16.06–18.34‰, и 6.05–6.89 мл/л; зимой: 7.29–10.05 $^\circ\text{C}$, 16.17–18.28‰ и 6.82–8.31 мл/л. Изменение среднемноголетних сезонных величин гидрологических показателей по горизонтам представлено в табл. 4.

По данным регулярных ежесрочных наблюдений за температурой воды поверхностного слоя (тепловой фон) в районе расположения морской рыбной фермы (Большой Сочи) самая холодная вода на поверхности у берега наблюдается в феврале (6.4–7.1 $^\circ\text{C}$), а самая теплая – в августе (26.9–27 $^\circ\text{C}$). При этом весной тепловой фон в 1 миле от берега на

Таблица 5. Средняя месячная температура воды на поверхности на побережье восточной части Черного моря [13]

Район	T, °C	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Сочи	Средняя	9.5	8.6	8.9	10.9	14.8	19.6	23.7	24.8	22.9	19.2	15.3	11.7
	Максимальная	11.2	10.6	10.4	13.4	18.2	22.5	25.7	26.9	25.8	21.7	17.3	13.3
	Минимальная	7.7	6.4	6.5	8.1	12.3	16.2	20.2	23.1	21.3	16.5	12.8	9.5
Гагра	Средняя	10.2	9.2	9.0	10.7	15.0	19.7	23.6	25.0	23.3	19.7	15.7	12.4
	Максимальная	11.8	10.8	10.4	13.4	17.7	23.6	26.5	27.0	25.9	22.0	18.4	14.8
	Минимальная	8.2	7.1	6.8	7.8	12.0	17.3	21.3	23.1	22.1	17.3	12.6	10.3
Пицунда	Средняя	9.8	8.9	9.0	11.4	15.5	20.3	23.7	24.5	23.1	19.4	15.3	12.0
	Максимальная	11.2	9.9	10.4	12.8	17.6	23.1	25.0	26.4	24.3	21.1	17.9	14.5
	Минимальная	8.3	7.6	7.9	9.3	12.9	18.2	22.1	23.0	21.7	17.7	12.9	7.9

2–3°С выше, чем непосредственно у берега (из-за большей тепловой инерции моря по сравнению с сушей). Летом эти показатели выравниваются, а зимой температура воды на поверхности в 1 миле от берега ниже прибрежной на 3–5°С – результат зимней активизации циклонического круговорота в восточной открытой части моря, вызывающей поступление в зону конвергенции (схождения) на его периферии в прибрежной части моря более холодных глубинных вод (табл. 5).

ДИНАМИКА ВОД

Динамика прибрежных территориальных вод России в Черном море определяется как общими

для водоема особенностями морских течений, так и региональными (местными) факторами.

Основное черноморское течение и синоптические вихревые образования (СВО). Вдоль Кавказского побережья Черного моря на удалении 15–25 км от берега (район Кодори-Бзыбь – 3–5 км) располагается поток основного черноморского течения (ОЧТ), шириной до 40 миль, направленный на северо-запад [21]. На его прибрежной периферии регулярно развиваются антициклонические вихри с вращением вод по часовой стрелке (рис. 1, 2).

Инструментальные наблюдения за течениями на стационарных буйковых станциях [6, 7, 12, 18–23], полевые экспедиционные исследования [24], наблюдения за дрейфтерными поплавками [4] и анализ космических снимков [5] позволили установить и

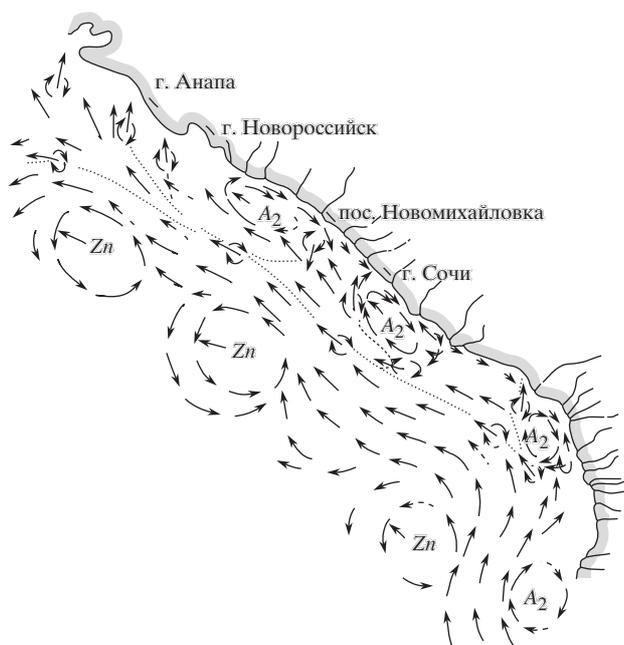


Рис. 1. Схема течений в поверхностном слое восточной части Черного моря [24].

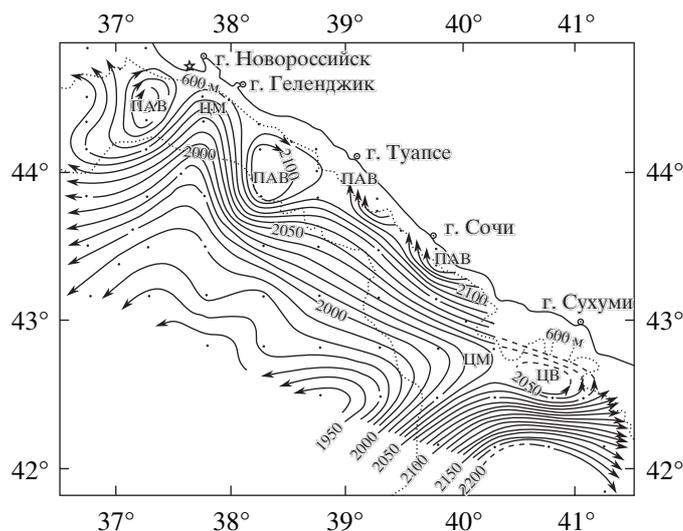


Рис. 2. Циркуляция вод на поверхности восточной части Черного моря по данным съемки НИС “Янтарь” 25.06-06.07. 1996 г. [7]. ЦМ – циклонический меандр; ПАВ – поверхностный антициклонический вихрь. Изолинии – динамические глубины.

Таблица 6. Антициклонические вихри северо-восточной части Черного моря [21]

Показатель	Статистическая характеристика			
	Среднее	σ	max	min
Удаление центра от берега, мили	19	11	60	10
Продольный диаметр, мили	29	8	50	15
Поперечный диаметр, мили	20	7	40	10
Толщина, м	265	68	400	160
Площадь, км ²	1620	911	4308	922
Объем воды, км ³	430	183	861	147
Орбитальная скорости, см/с	28	5417	58	10
Расход через радиальное сечение, м ³ /с	380208	196148	812770	160530

подтвердить характерную особенность циркуляции вод побережья Северного Кавказа и прибрежной зоны Черного моря, которой является периодическое прохождение здесь антициклонических СВО (между стрежнем основного черноморского течения и берегом), а также выход их в открытое море, активное взаимодействие с циклоническим круговоротом ОЧТ и между собой. При этом зимой средняя продолжительность прохождения каждого вихря через точку побережья составляет 3, а максимальная – 6 сут, а летом соответственно 5–6 и 12–14 сут, при максимуме в мае – 21 сут; в течение месяца через район проходит до четырех СВО, а в целом за год от 19 до 46 (в среднем 32 вихря); интервал времени между вихрями (период, когда циркуляция в прибрежной зоне определяется действием струи ОЧТ) в осенне-зимний период составляет 20–22, а в весенне-летний – 13–15 сут; период полного оборота частицы по периферии СВО составляет 1.5–2.5 мес, а скорость горизонтального смещения дрейфера может достигать 0.6–0.8 м/с [4]; за год СВО в северо-восточной части Черного моря переносят от 2560 до 1060 км³ поверхностных вод при средней величине переноса 1780 км³ [22]. Морфометрические показатели антициклонических СВО представлены в табл. 6.

Последствия такой динамической структуры вод оказываются следующими: на участке акватории от Сочи до Анапы прибрежные течения независимо от сезона имеют возвратно-поступательный вдольбереговой характер в двух диаметрально противоположных направлениях (310° и 130°) [12, 18]; повторяемость потока по направлению струи ОЧТ (310°) в 1.5 раз больше, чем в обратном, а максимальные скорости северо-западных течений в 1.5–2 раза выше юго-восточных и могут достигать в отдельные годы (в октябре, декабре) 122–128 см/с, при среднемесячных в период максимумов (зимой) значениях 10–15 см/с [18]; течения северо-западного сектора преобладают здесь с октября по апрель, а юго-восточного – в мае и августе. В остальные месяцы года вероятность таких

направлений потоков примерно одинакова; средняя за год продолжительность северо-западных течений составляет 3.4–5.6 сут, максимальная в теплое время года (май-октябрь) – 7–8, а в холодное (ноябрь-апрель) – 10–12 сут, минимальная сохраняется в течение всего года – 2 сут; средняя за год продолжительность юго-восточных течений составляет 2.2–6.2 сут, максимальная – 9–10 (май-октябрь) и 3–5 сут (ноябрь-апрель), минимальная в течение всего года – 2 сут; расчетное время полной смены воды на шельфе шириной 10 км при прохождении через точку одного антициклонического ВО составляет 35 сут [5].

ВЫВОДЫ

Анализ мирового опыта оценок воздействия морских рыбоводных ферм на окружающую среду показал, что они прежде всего являются источником поступления в море избыточного количества соединений фосфора, азота, взвешенных и твердых органических веществ в виде продуктов метаболизма рыб и остатков корма. В замкнутых (застойных) условиях эти факторы, несомненно, вызывают неблагоприятные последствия для окружающей среды. Ухудшаются условия обитания аборигенных видов гидробионтов в результате изменения гидрохимического режима и качества морских вод, а также под влиянием нарушения естественных биогеохимических процессов в донных осадках.

Проанализированные природные механизмы накопления и трансформации в воде и осадках шельфа черноморского побережья России загрязнений, растворенных и взвешенных химических соединений, а также многочисленные выводы исследователей, занимающихся изучением особенностей водообмена прибрежных вод северо-восточной части Черного моря с его открытыми акваториями [3–5, 8, 11, 15, 20, 26], убеждают в том, что в отличие от традиционных зон развития марикультуры в Мировом океане (застойные фьорды Англии, Швеции, Дании), в прибрежных водах Северокавказского

побережья Черного моря существуют мощные природные механизмы самоочищения водной среды. Это с большой вероятностью позволяет сделать заключение о практически полной экологической безопасности будущей рыболовной фермы. При этом следует отметить необходимость учета высокой динамической активности вод черноморского побережья Северного Кавказа при установке на якоря рыболовных садков строящейся фермы.

Основной динамической особенностью района строительства морской рыболовной фермы является развитие и регулярное прохождение вдоль берега по направлению струи ОЧТ, взаимодействующих с ней поверхностных антициклонических вихрей (ПАВ). Во фронтальной части такого вихря течение направлено с открытой части моря к берегу, а в его тыловой части – от берега в сторону моря. Скорости течений могут достигать здесь 70–80 (иногда 100–130) на поверхности моря и 50–60 см/с (80–100) в придонном слое вод шельфа. Поскольку линейные размеры ПАВ (50–60 км) больше ширины шельфа (4–12 км), то перед вихрем происходит поступление на шельф чистой водой из открытого моря, а в его тылу – вынос загрязняющих веществ в море.

Расчетами солевого баланса вод по горизонтали установлено, что характерное время полной замены вод на шельфе шириной 10 км в результате водообмена с открытой частью моря под влиянием ПАВ составляет ~35 сут [5]. Учитывая известную продолжительность прохождения ПАВ через точку (до 6 сут зимой и 14 сут летом при максимуме в мае – 21 сут легко оценить, что полную вентиляцию морской рыболовной фермы зимой производят 5–6, а летом – 2–3 вихря. Это вполне реально, так как в среднем за месяц здесь формируется четыре ПАВ [18].

Математическое моделирование процессов переноса осадочного материала медленно меняющимися (дни или недели) по направлению течениями позволило заключить, что ПАВ прибрежных черноморских вод России с диаметром 30 км и орбитальной скоростью 25.5 см/с способны переносить до 2.9×10^5 т. взвеси с диаметром частиц 7.5 мкм (тонкий алевритовый песок), что в три раза превышает объем твердого стока рек в этом районе моря. Для среднего алевритового песка ($d = 23$ мкм) взвешенная способность такого вихря снижается до 3.8×10^3 т, (всего 3% годового твердого стока рек). Кроме того, при снижении орбитальной скорости в вихре до 17 см/с его взвешенная способность уменьшается в 15.5 раз [26].

Особенности полей ветра и его взаимодействия с водами Черного моря определяют внутригодовые колебания интенсивности генеральной циркуляции в водоеме. Это вызывает, в свою очередь, периодическое изменение интенсивности динамического апвеллинга (подъем вод в открытой части моря) и

даунвеллинга (опускание вод в прибрежной зоне). В результате между прибрежной зоной и открытым морем возникают разнонаправленные сезонные вертикальные колебания изоповерхностей (по типу качель), приводящие к развитию интенсивной поперечной горизонтальной циркуляции вод в этом направлении (шельф–открытое море). Таким образом происходит периодическое самоочищение шельфовых вод в сезонном масштабе времени независимое от вклада в этот процесс синоптических вихревых образований [11, 20].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов Н.А., Говберг М.И., Новиков З.Т., Юркевич М.Г. Геоморфологические и литологические особенности строения шельфа северо-восточной части Черного моря в связи с исследованием процессов современного осадконакопления // *Континентальные и островные шельфы*. М.: Наука, 1981. С. 108–137.
2. Биологические основы марикультуры/Под ред. Душкиной Л.А. М.: ВНИРО, 1998. 320 с.
3. Елецкий Б.Д., Нагалецкий Ю.Я., Тюрин В.Н. Географические аспекты развития промышленной марикультуры в Российской части Черного моря // *География Краснодарского края*. Краснодар, 1994. С. 44–58.
4. Журбас В.М., Зацепин А.Г., Григорьева Ю.В. и др. Циркуляция вод и характеристики разномасштабных течений в верхнем слое Черного моря по дрейтерным данным // *Океанология*. 2004. Т. 44. № 1. С. 34–48.
5. Зацепин А.Г., Гинзбург А.И., Евдошенко М.А. и др. Вихревые структуры и горизонтальный обмен в Черном море // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря*. М.: Наука, 2002. С. 55–81.
6. Кривошея В.Г., Монахов В.В. Роль течений и циркуляции вод в экологии российского шельфа Черного моря // *Динамические процессы береговой зоны моря*. М.: Науч. мир, 2003. С. 148–152.
7. Кривошея В.Г., Москаленко Л.В., Овчинников И.М. и др. Особенности динамики вод и гидрологической структуры северо-восточной части Черного моря осенью 1993 г. // *Океанология*. 1997. Т. 37. № 3. С. 352–358.
8. Кривошея В.Г., Титов В.Б., Овчинников И.М. и др. Влияние циркуляции вод и вихревых образований на глубинное положение верхней границы сероводородной зоны Черного моря // *Океанология*. 2000. Т. 40. № 6. С. 816–825.
9. Лобковский Л.И., Кузин И.П., Ковачев С.А. Сейсмическое микрорайонирование шельфа, континентального склона и прелегающей части восточно-черноморской впадины // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря / Под ред. Зацепина А.Н., Флинта М.В.* М.: Наука, 2002. С. 380–389.
10. Муравьев В.Б. Перспективы развития воспроизводства и товарного рыболовства у Российского берега Черного моря // *Тез. докл. Научно-практи-*

- ческой конф. "Перспективы развития рыбохозяйственного комплекса России – XX век". М.: ВНИРО, 2002. С. 92–97.
11. *Неретин Л.Н., Демидова Т.П., Волков И.И.* Некоторые аспекты пространственной изменчивости поля сероводорода у северо-кавказского побережья Черного моря // *Океанология*. 1997. Т. 37. № 3. С. 365–372.
 12. *Овчинников И.М., Титов В.Б., Кривошея В.Г.* Новые данные о временной изменчивости течений по результатам многолетних измерений со стабилизированного буя на шельфе Черного моря // *Докл. АН СССР*. 1986. Т. 286. № 5. С. 1250–1254.
 13. Проект "Моря СССР". Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Черное море / Под ред. Симонова А.И., Альтмана Э.Н. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. Т. IV. Вып. 1. 430 с.
 14. *Пшеничный Б.П.* Экологические проблемы искусственного подъема глубинных вод океана и пути рационального освоения их биологических ресурсов. Дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 2005. 398 с.
 15. *Пыхов Н.А.* Механизмы переноса загрязняющих веществ и тонкодисперсных осадков из береговой зоны на шельф и континентальный склон // *Динамические процессы береговой зоны моря*. М.: Науч. мир, С. 280–294.
 16. Рыба в инкубаторе // *Секрет фирмы*. 2005. № 47(134). С. 50.
 17. *Слевич С.Б.* Шельф. освоение и использование. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 250 с.
 18. *Титов В.Б.* О роли вихрей в формировании режима течений на шельфе Черного моря и в экологии прибрежной зоны // *Океанология*. 1992. Т. 32. № 1. С. 39–48.
 19. *Титов В.Б.* Сезонная изменчивость термо-, хало-, и пикноклина в северо-восточной части Черного моря (по многолетним данным) // *Вод. ресурсы*. 2005. Т. 32. № 1. С. 28–34.
 20. *Титов В.Б.* Формирование зимней гидрологической структуры Черного моря в зависимости от суровости зим // *Океанология*. 2000. Т. 40. № 6. С. 826–832.
 21. *Титов В.Б.* Характеристики основного черноморского течения и прибрежных антициклонических вихрей в российском секторе Черного моря // *Океанология*. 2002. Т. 42. № 5. С. 668–676.
 22. *Титов В.Б.* Экспериментальные данные о меандрировании основного черноморского течения // *Океанология*. 1993. Т. 33. № 4. С. 521–526.
 23. *Титов В.Б., Овчинников И.М., Кривошея В.Г. и др.* Статистический анализ изменчивости течений и ветра на шельфе Кавказского побережья Черного моря // *Вод. ресурсы*. 1983. № 1. С. 120–129.
 24. *Ткаченко Ю.Ю., Верхунов А.В., Суслов А.В.* Гидрологическая структура и циркуляция вод вод прибрежной зоны Черного моря (июль-август 1989 г.) // *Экология прибрежной зоны Черного моря*. М.: ВНИРО, 1992. С. 17–41.
 25. *Фащук Д.Я.* Оценка антропогенной нагрузки на водосборы Черного и Азовского морей (географо-экологический подход) // *Вод. ресурсы*. 1998. Т. 25. № 6. С. 694–711.
 26. *Шапиро Г.И., Акивис Т.М., Пыхов Н.В.* Моделирование переноса ирнокдисперсных осадков вихрями и течениями на Кавказском шельфе Черного моря // *Комплексные исследования северо-восточной части Черного моря*. М.: Наука, 2002. С. 339–357.
 27. *Шахин В.М., Рыбка В.Г., Ярославцев Н.А.* Современное состояние береговой зоны и берегозащитных сооружений Черного и Азовского морей в пределах Краснодарского края // *Человечество и береговая зона Мирового океана в XXI веке* / Под ред. Айбулатова Н.А. М.: ГЕОС, 2001. С. 423–429.