

# **СУБМАРИННАЯ РАЗГРУЗКА И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ЭКОСИСТЕМУ В АКВАТОРИИ МЫСА АЙЯ**

**V.M. Савоськин, V.B. Мельников\*,  
V.B. Семёнов**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины

Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail:* sv78@ua.fm

\* Институт биологии южных морей  
НАН Украины

Севастополь, проспект Нахимова, 2  
*E-mail:* dr.melnikov.v@gmail.com

*В статье приводятся результаты со-  
поставления нахождения мест разломов и  
мест субмаринной разгрузки с областями, в  
которых свечение моря в безлунные ночи  
наиболее ярко, а также с местами, в кото-  
рых хорошо ловится рыба. Данные по положению  
мест разломов взяты из отчета [1],  
данные по положению мест выхода пресной  
воды взяты из [2]. Положение мест лова  
рыбы и областей яркого свечения моря но-  
чью определялись визуально в ходе много-  
летних натурных наблюдений в районе мыса  
Айя за происходящими там уникальными  
природными явлениями.*

**Введение.** Изучение субмаринной разгрузки подземных вод на побережье Крыма – один из наиболее важных вопросов региональной гидрогеологии и гидробиологии. Этим вопросом наиболее активно занимались на протяжении всей второй половины XX века. Однако до настоящего времени еще не определены состав и структура гидрогеологической системы, зависимость объемов разгрузки от времени года и паводков в крымских горах, состав и распределение гидробионтов, а также влияние этого феномена на функционирование экосистемы.

Наиболее интенсивные исследования субмаринной разгрузки на шельфе Крыма проводились в 1960 – 1985 гг. [3, 4]. Было показано, что доля субмаринного стока, оцениваемая только в районе Ба-

лаклавы, составляет около 5 млн. м<sup>3</sup>/год. Первое упоминание о субмаринном стоке на мысе Айя в научной литературе относится к 1982 году [5]. В 1982 – 1984 гг. сотрудниками Института минеральных ресурсов под руководством Ю.Г. Юровского был впервые определен химический состав и примерный объем разгружающихся пресных вод в одной из наибольших карстовых полостей берегового обрыва [6]. Скорость определялась по запускам трассера, фиксируемым с помощью подводной киносъемки на фоне масштабной сетки (табл. 1). Позднее исследования в окрестностях мыса Айя были дополнены рядом новых публикаций [7, 8]. В 1993 г. Морским гидрофизическими институтом были возобновлены исследования субмаринных родников в гротах м. Айя. Была опробована методика обнаружения пресных вод по гидрохимическим показателям [9, 10, 11]. В итоге было выявлено около десятка гротов и тектонических трещин с различной степенью проявления субмаринного стока, локализующихся вблизи мыса Айя [9]. Было подтверждено существование субмаринного источника солоноватых (минимальное значение солености 5,5 %) вод в пещере «Большой Грот» и определены некоторые гидрологические особенности его функционирования [9]. Сотрудниками НИПИ Океанмаш (г. Днепропетровск) велись изыскания по разработке различных вариантов проектной документации для строительства капитальных сооружений в этом гроте. В июне 1993 г. при анализе изображений спутниковой съемки в тепловом диапазоне над акваторией у мыса Айя были четко выделены области пониженных температур, которые с учетом отсутствия апвеллинговых процессов могут рассматриваться как индикация субмаринной разгрузки подземных вод. Перенос донных осадков за счет слабонелинейных внутренних и захваченных топографических волн рассматривается в работе [12].

Таблица 1

Расходы пресной воды из карстовых полостей у скалы Пелекето,  
мыс Аия [10]

год	1982	1983	1984	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Дебит. $m^3/\text{сут}$	Карстовая полость № 5								
	3780	1770	2380	7500	5500	6500	10000	9500	10000
	Карстовая полость № 3								
	-	-	860	-	-	25040	-	-	-

Было осуществлено профильное зондирование (определялись значения солености и температуры) по всему побережью до изобаты 40 м. Затем зондирование проводилось выборочно, в районах, где на дне предполагались тектонические нарушения. На всех выполненных станциях определялось содержание кремнекислоты (как индикатора пресных вод) на поверхности. Распределение  $[\text{SiO}_3]_2$  – весной и летом показало, что фоновая концентрация в мае (2,6 мкмоль) ко второй съемке в июне возросла до 3,9 мкмоль.

При обнаружении очагов разгрузки эффективным оказалось использование оптико-гидрохимического зонда (ОГХ), который зафиксировал не только распределенный поверхностный слой с соленостью 10 – 12 ‰, но и слои пресной воды на глубинах 5 – 9 м [13]. Разгружающиеся пресные воды были прозрачнее морских. В зоне распреснения ослабление коротковолнового участка спектра составило  $0,08 - 0,10 \text{ m}^{-1}$ , что близко по значению к артезианским водам вблизи г. Севастополя ( $0,07 \text{ m}^{-1}$ ) и не свойственно фону морских вод ( $0,2 \text{ m}^{-1}$ ).

В ходе исследований 1995 г. также определялся расход пресных вод в пещере «Большой Грот». В отличие от предыдущих способов для расчета скорости течения была использована микрорвертушка гидрометрическая (МГ) и измеритель скорости течений «Шист» [14]. Приборы показали, что по вертикали скорости существенно изменяются. Течение на всех верхних горизонтах до глубины 3 м (соленость 5 – 8,4 ‰) на-

правлено из грота, при этом в верхнем слое (0 – 30 см) оно составило 9 – 10 см/с, в слое 30 – 50 см – 8 см/с. Глубже трех метров наблюдалось движение морской воды внутрь полости со скоростью около 0,03 м/с и соленостью 18,1 ‰ [9, 10]. Кроме этого методическим новшеством по расчету дебита было использование уравнения смешивания пресной и соленой воды. С его помощью, зная скорость течения воды в гроте, соленость смеси пресной и морской воды и фоновой солености морской воды, рассчитывался дебит субмаринного источника. Замеры расходов пресной воды в других гротах побережья в мае 1995 г. неожиданно выявили аномально высокую обводненность полости № 3. Она оказалась примерно в 4 раза выше, чем в гроте № 5, считавшемся главным фокусом субмаринной разгрузки. Это подтверждалось высокими (34 – 42 мкмоль) значениями изосиликат при фоновой величине 2,3 – 2,6 мкмоль. Повторные замеры, выполненные в сентябре, майскую картину не подтвердили.

В 1997 г. при изучении субмаринной разгрузки в юго-западном Крыму применялся буксируемый комплекс МГИ 9201М "Галс" [15]. При постоянной глубине погружения 2,5 – 2,6 м, на расстоянии 200 – 300 м от берега были четко зафиксированы выходы пресных вод в виде отдельных струй, выделяющиеся по параметрам электрической проводимости, солености и условной плотности. Величины изменения солености составляли 0,57 ‰, что считается хорошим результатом при таком удалении от берега.

После 2000 г. работы по изучению субмаринного стока в юго-западном Крыму практически не проводились. Лишь в 2004 г. вышла обзорная сводка Е.Ф. Шнюкова и А.П. Зиборова «Минеральные богатства Черного моря» [16], характеризующая географическое распределение, гидрогеологические условия разгрузки и возможности перехвата субмаринного стока в акватории Черного моря, в том числе на Южном берегу Крыма.

Недавние исследования Крымских пещер [17] показали, что подводные карстовые полости являются практически не изученными и их фауна является своеобразным биологическим индикатором состояния окружающей морской среды и требует безотлагательного сохранения. В них обнаружены виды с природоохранным статусом «увязанный» или «исчезающий», их находки на территории Украины крайне редки и многие из них относятся к потомкам древней Понто-Каспийской фауны, которая теперь сохранилась лишь в устьях рек или в пещерах.

**Результаты исследований.** Работа [2] натолкнула авторов на возможность приближенно оценивать объема  $V$  выходящей пресной воды в районе мыса Аия по формуле:

$$V = V_{oc} - V_{ic} - V_p,$$

где  $V_{oc}$  – объем осадков, выпавших в долинах р. Черной и р. Бельбек,  $V_{ic}$  – объем испарившейся воды с этих же склонов;  $V_p$  – объем воды, попадающей в море через русла р. Черной и р. Бельбек. Значения  $V_{oc}$  и  $V_{ic}$  можно рассчитать по формулам, приведенным в работе Богомолова [18].

В работе [1] было проведено обследование подводных пещер и субмаринной разгрузки подземных вод мыса Аия на участке Мегало Яло – «Затерянный Мир», которое включало геолого-карстологические наблюдения известнякового клифа со стороны моря; выявление участков "латеральной" разгрузки

через нарушения и полости в клифе путем; кондуктометрического зондирования вдоль клифа в приповерхностном (10 см) слое воды; спелеоподводное обследование и картирование подводных пещер; опытная кондуктометрическая съемка в акватории мини-бухты «Большого Гнота» интенсивной разгрузки; термокондуктометрическое профилирование во внутренней акватории наиболее крупной затопленной пещеры «Большой Гнот» до глубины 4 м; исследования фауны в районе пещеры «Большой Гнот» и прилегающей акватории.

Интересным и потенциально важным в плане интерпретации путей движения подземных вод к очагам разгрузки является то, что серия фрагментов линеаментов и разломов, начинающиеся линеаментом у зоны разгрузки, выстраивается в субширотную линию, примерно параллельную проходящему южнее известному Биюк-Синорскому сбросо-сдвигу. Эта линия потенциально может контролировать поток подземных вод от юго-западного контура Байдарской котловины к известным очагам субмаринной разгрузки в клифе. Термо- и кондуктометрия (измерение удельной электропроводности и солености) осуществлялись прибором EC300 фирмы YSI с 4-х метровым зондом, оперируемым с надувной лодки в условиях близким к штилевым. Зоны распреснения хорошо фиксировались по пониженным по отношению к фоновому (около 26 мS/см) значениям электропроводности.

Линейное (вдоль клифа) зондирование в приповерхностном слое в октябре 2007 г. показало, что субмаринная разгрузка на мысе Аия контролируется конкретным тектоническим блоком, ограниченным разломными нарушениями субмеридионального простираания, выходящим к морю между пещерами «Фонтан» и «Большим Гнотом». В прочих сегментах профиля, в том числе в непосредственной близости от остальных пещерных входов, видимых над урезом воды, рас-

преснения не обнаруживалось. Большинство этих входов являются лишь расширенными волноприбойной активностью "устьями" разломных нарушений. Детальное обследование и топосъемка пещеры «Большой Грот» показали, что приток пресных вод, хорошо фиксируемый галоклинами и пониженной температурой, происходит по закарстованным трещинам.

Эти наблюдения подтверждают предположение о повышенной обводненности блока и согласуются с высказанными выше предположениями о контроле подтока подземных вод субширотными линеаментами-разломными нарушениями. Опытная кондуктометрическая съемка в акватории мини-бухты "Большого Грота" по профилям, перпендикулярным клифу, показала наличие пятен распреснения в приповерхностном слое на удалении до 30 – 50 м от клифа.

Это можно было бы трактовать как наличие "факелов" пресных вод, поднимающихся от источников в подножье клифа. Дайверы, регулярно погружающиеся у мыса Аяя, сообщали о мощных источниках выходящей из щелей пресной воды. Работы с применением буссированного комплекса МГИ 9201М "Галс" показали выходы пресных вод в виде отдельных струй, выделяющиеся по параметрам электрической проводимости, солености и условной плотности, на расстоянии 200 – 300 м от берега. Для выявления стратификации воды во внутренней акватории наиболее крупной затопленной пещеры «Большой Грот» – грот № 5 по номенклатуре предшествующих работ) было выполнено термо-кондуктометрическое профилирование до глубины 4 м. Поверхностное течение распресненных вод в спокойную погоду направлено из грота вдоль восточного берега, что наглядно представлено в отчете Иванова В.А. [19, стр. 24]

Предварительные данные обработки гидробиологических проб, выполненные в отделе биофизической экологии Ин-

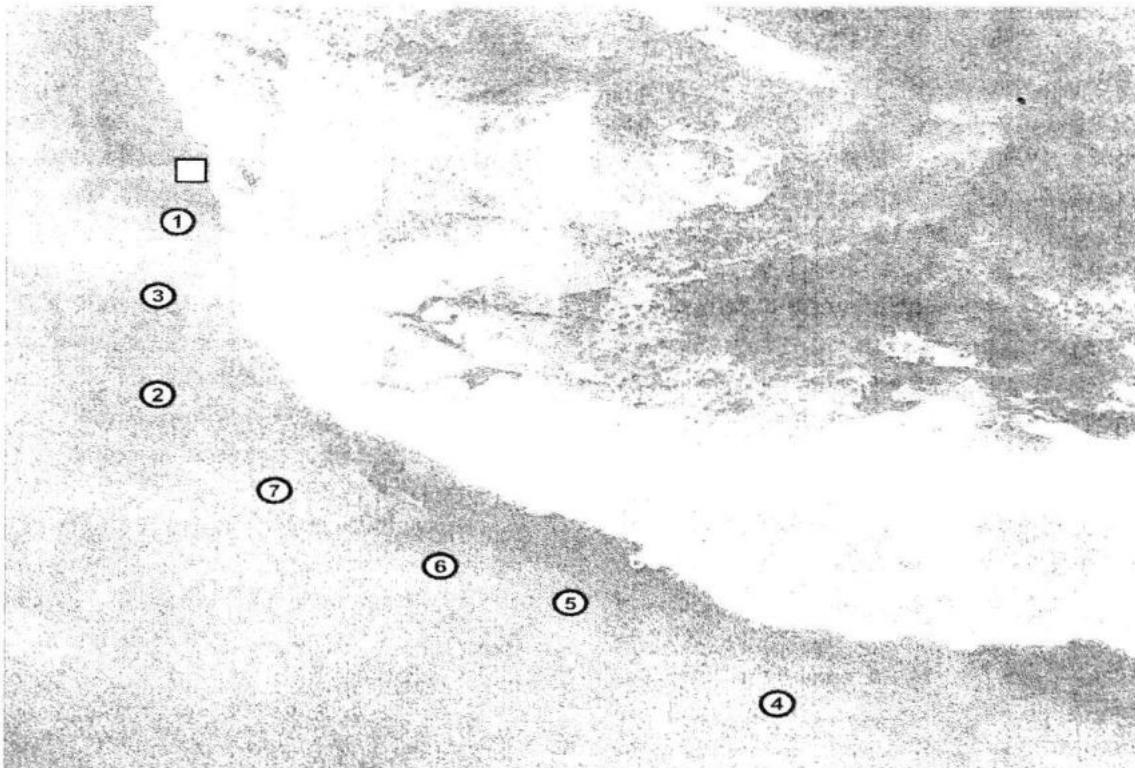
БЮМ, показали, что внутри пещеры «Большой Грот» встречаются мизиды реликтовой понто-каспийской фауны, которые живут в трещинах скалы, редкие виды креветок и актиний (детальная информация о составе фауны пещеры будет опубликована в виде отдельной публикации). Кроме того, полигонная съемка в акватории, прилегающей к пещере показала, что в районе деформации поля пресных вод наблюдается уникальная картина чередований областей с разным биоразнообразием и высокой концентрацией организмов.

На рис. 1, полученным с помощью программы Google Earth квадратиком показано место лова султанки, которая добывается стоящей у дна сетью раболовецкой бригадой.

Место, где ловится пикша, обозначено на рис. 1 кружком с цифрой 1. Кружками с цифрами 2 – 7 отмечены районы лова ставриды, луфаря и окуня. Пикша ловится у дна круглый год за исключением дней, когда температура поверхности моря становится больше 24 °С. Ставрида ловится в мае, июне и с сентября по ноябрь. Луфарь ловится в мае, июне, сентябре и октябре. Окунь попадается на крючок с наживкой в апреле, мае, ноябре, декабре.

Следует отметить, что в районе мест, отмеченных на рис. 1 квадратиком и кружочками, неоднократно в темное время суток наблюдалось люминисцентное свечение моря.

Выезжая с улицы Капитанской, 2 через Балаклаву на мыс Аяя в пятницу вечером после восьми часового рабочего дня для проведения натурных наблюдений одному из авторов статьи приходилось преодолевать на каяке участок пути по морю в темное время суток. Добираясь на мыс Аяя безлунными ночами, удалось обнаружить участки моря, при движении через которые возбуждалось очень яркое свечение от носа каяка, нырков и крупной рыбы, в страхе шарахающейся от лодки.



Р и с. 1. Обнаруженные места скопления рыбы у мыса Аия

Анализ опубликованных данных позволяет сделать следующие заключения:

1. Исследованиям субмаринных источников на побережье мыса Аия не хватает комплексности и завершенности. Очерченный выше круг проведенных научных изысканий касался лишь узко-специализированных направлений изучения подводных источников (отработка методик выявления очагов разгрузки, определение расхода, химического состава, температуры и т.п.). Они рассматривались в отрыве от общей структуры питающей гидрологической системы. Субмаринные источники – это конечное звено карстово-водоносной системы, верхние звенья которой (области питания и транзита) предположительно находятся в пределах Айпетринской яйлы, Байдарского и Варнаутского польев. В современной литературе нет прямых доказательств связи субмаринного стока на мысе Аия с подземными водами предполагаемых областей питания (яйла) и транзита (Байдарская и/или Варнаутская котловины). О такой связи свидетельствуют только косвенные данные (водобалансовые расчеты, распределение экви-потенциальных полей в скважинах и др.).

2. Материалы физического обследования основных подводных пещер с очагами разгрузки страдают крайней схема-

тичностью и не отражают их действительной морфологии и конкретных условий выхода пресных вод. Это отражается как на обоснованности использованных методов оценки объемов разгрузки из конкретных пещер, так и на обоснованности предложений по ее использованию.

3. К существующим данным об объемах и динамике разгружающихся в затопленных гротах пресных вод следует относиться осторожно, так как они получены с помощью различных методов, характеризуют режим субмаринного стока только за теплый период года (причем указанные в работах оценочные годы существенно отличались по водности) и не учитывают конкретных условий выхода пресных вод из массива.

4. Предварительные результаты гидробиологических съемок в районе пещеры «Большой Грот» в 2011 г. [20] показали, что наличие подводных разгрузок в районе мыса Аия обеспечивает существование уникальной реликтовой фауны внутри пещер и обеспечивает сложную систему экологических взаимосвязей, влияющей на видовое богатство и биоразнообразие всей прибрежной акватории Юго-западной части горного Крыма. Любое техногенное вмешательство в этой зоне может повлечь безвозвратное и необратимое изменение прибрежного

биоразнообразия и серьезные экосистемные перестройки, которые могут затронуть состояние всей прибрежной зоны Южного Крыма. Исследования экологического воздействия субмаринных стоков на прибрежные экосистемы необходимо выполнять на основе новой методики синхронной буксировки минизондов с одновременным отбором биологических данных.

**Выводы.** Проблема оценки экологической роли подземного стока, идущего на субмаринную разгрузку в юго-западной части Горного Крыма далека от своего разрешения. Имеются косвенные материалы и предположения о субмаринной разгрузке на нескольких участках сектора побережья от мыса Фиолент до мыса Сарыч (районы Балаклавы, мыса Ая и бухты Ласпи). По свечению поверхности моря и расположению мест ловли рыбы, установлены и локализованы очаги субмаринной разгрузки от б. Ласпи до мыса Херсонес. Существующие оценки объемов и динамики разгружающихся на мысе Ая пресных вод следует рассматривать, как весьма предварительные. Они получены с помощью различных методов, характеризуют режим субмаринного стока только за теплый период года (причем указанные в работах оценочные годы существенно отличались по водности) и не учитывают конкретных условий выхода пресных вод из массива. Необходимы дальнейшие исследования, которые бы прямым образом доказывали связь субмаринной разгрузки с названными областями питания и транзита, устанавливали характер и режим межкомпонентных связей системы, уточняли ее границы и целостность, позволили бы дальнейшую идентификацию конкретных очагов разгрузки и осуществление более обоснованной оценки объемов субмаринного стока. Такой комплекс работ должен включать изотопно-геохимические, индикаторные и режимные исследования в различных гидрогеологических ситуациях (паводок, межень) и проводить корреляционный анализ режима подземных вод на мысе Ая с режимами на контурах и в недрах Байдарского полья (по данным наблюдений в скважинах и пещерах, в частности на Родниковско-Чернореченском участке).

Проведенными в рамках работы [1] изыскания существенно уточнили сведения о морфологии известных подводных пещер, разгружающих подземные воды

на мысе Ая, и о конкретных условиях выхода пресных вод. Это позволяет более предметно подойти к планированию мониторинга разгрузки на этом участке. Наиболее перспективно использование автоматических температурных и кондуктометрических датчиков с накопителями данных, типа Star-Oddi (производства Исландии). Режимные наблюдения такого рода позволят интерпретировать полученные сигналы как информацию о дебите источника. Существенно облегчающим задачу мониторинга видится сооружение в выходных створах ключевых пещер («Большой Гrot» и Фонтан) или их внутренних участков защитных стенок, локализующих разгрузку пресных вод, препятствующих проникновению волн и несанкционированным посещениям людьми, с возможностью последующего переоборудования их в капитальные устройства. Выявленная конфигурация пещеры Фонтан особенно благоприятна для локализации этого субмаринного источника в исследовательских и практических целях.

**Заключение.** Для окончательных выводов о роли субмаринной разгрузки у мыса Ая необходимо проведение запланированных на следующий год совместных исследований сотрудниками МГИ и ИнБЮМа и ТНУ этого явления. Однако проводимые ранее наблюдения за жизнедеятельностью морских организмов в районе карстовых подводных полостей Крыма, показывает, что подводные источники пресной воды активно влияют на жизнедеятельность экосистемы. Поэтому откачка субмаринных вод в районе мыса Ая для технических нужд, может привести к необратимым экологическим последствиям и исчезновению большого числа видов микроорганизмов, внесенных в Красную книгу, и значительному уменьшению вылова как промысловых, так и редких видов рыб.

В последние годы во всем мире для проведения натурных наблюдений на море все чаще используются малые плавучие «суда». В связи с сокращением финансирования на научные исследования, целесообразно включать в программу подготовки студентов по специальности физика моря факультативные занятия по преподаванию навыков управления гребными и парусными малыми «судами».

Авторы статьи выражают благодарность Пустовойтенко В.В. за высказанные им замечания.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет УИСК по Субматинной разгрузке // Фондовые материалы. – Симферополь, 2011. – С. 64 – 84.
2. Иванов В.А., Прусов А.В., Юровский Ю.Г. Субмаринная разгрузка подземных вод у м. Айя (Крым) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – Киев: НАН Украины. Отделение морской геологии осадочного рудообразования. – № 3. – 2008. – С. 65 – 75.
3. Лялько В.И., Митник М.М., Вульфсон Л.Д. Исследование субмаринных источников геотермическими методами // Геологический журнал. – 1978. – т. 38. – № 1. – С. 46 – 52.
4. Ротарь М.Ф. Подземные воды Украины (формирование и использование в сельском хозяйстве). – Одесса: ОГНЕ, 1986. – 64 с.
5. Кирьяков П.А., Лисиченко Г.В., Емельянов В.А., Митропольский А.Ю. О выявлении зон субмаринной разгрузки подземных вод с помощью радионовой съемки // Водные ресурсы. – 1985. – № 5. – С. 153 – 157.
6. Юровский Ю.Г., Юровская Т.Н. Субмаринная разгрузка трещинно-карстовых вод в юго-западном Крыму // Геологический журнал. – 1986. – т. 46. – № 3. – С. 58 – 43.
7. Поиски субмаринных источников в каньонах материковой окраины Южного берега Крыма // Препринт № 324. – Киев: ИГН, 1989. – 39 с.
8. Поровые и субмаринные воды и методы их изучения. Препринт № 25. – Киев: ИГН, 1986. – 87 с.
9. Щетинин Ю.Т., Кондратьев С.И., Долотов В.В. и др. Субмаринные источники пресной воды Южного берега Крыма // Исследования шельфовой зоны Азово-Черноморского бассейна. – Севастополь: МГИ, 1995. – С. 116 – 124.
10. Юровский Ю.Г., Байсарович И.М., Щетинин Ю.Т., Кондратьев С.И. Мониторинг субмаринных источников в районе мыса Айя // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. – Севастополь, 2000. – С. 46 – 52.
11. Кондратьев С.И., Иванов В.А., Долотов В.В. и Щетинин Ю.Т. Апробирование методики поиска субмаринных пресных вод с использованием гидрохимических показателей в районе м. Айя // Международный научно-технический семинар: Морское и экологическое приборостроение. Севастополь, 1995. – С. 121 – 122.
12. Слепышев А.А. Транспортные свойства слабонелинейных внутренних и захваченных топографических волн // Автореферат докторской диссертации на соискание научной степени доктора физ.-мат. наук. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2010. – 36 с.
13. Моисеев Ю.Г., Перов А.А., Сорокин Н.А. и др. Некоторые результаты испытаний гидролого-оптического комплекса ОГХ // Морское и экологическое приборостроение. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. – С. 95.
14. Кушнир В.М., Гвановский М.В. Стенд для метрологической аттестации и поверки измерителей скорости течения // Морское и экологическое приборостроение. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1995. – С. 73 – 74.
15. Карнаущенко Н.Н., Блинков В.А., Лобачев В.Н., Тютюнов А.Л. Буксируемый, сканирующий на глубине комплекс МГИ 9201 и его использование для высокоразрешающей съемки заливов Черноморского побережья Украины // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 1998. – С. 28 – 47.
16. Шнюков Е.Ф., Зиборов А.П. Минеральные богатства Черного моря. – К., 2004. – 260 с.
17. Ковтун О.А., Макаров Ю.Н. Особенности биологии и морфологии редкой черноморской креветки *Palaemon serratus* Pennant, 1777 (Decapoda: Caridea, Palaemonidae) из карстовых гротов и подводных пещер полуострова Тарханкут (Западный Крым) // Морской экологический журнал, – 2011. – Т. 10, № 3. – С. 26 – 32.
18. Богомолов Г.В. Гидрогеология с основами инженерной геологии // Учебное пособие для студентов геологических специальностей – М.: «Высшая школа», 1975. – 319 с.
19. Иванов В.А., Прусов А.В., Рябцев Ю.Н., Шапиро Н.Б. Физические механизмы смешения морских вод с водами субмаринной разгрузки. – Севастополь: МГИ НАН Украины, 2009. – 90 с.