

В.В.Зима\*, Л.Н.Репетин\*\*

\* *Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

\*\* *Морское отделение Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института, г.Севастополь*

### **ОПЫТ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЯ МОРЯ НА ОСНОВЕ СТАНДАРТНОЙ ПОПЛАВКОВОЙ СИСТЕМЫ «СУМ» ГИДРОМЕТСТАНЦИИ СЕВАСТОПОЛЬ**

Усовершенствована методика регистрации измерений колебаний уровня моря стандартной поплавковой системой самописца уровня моря, широко используемой Гидрометслужбой Украины. Создан цифровой адаптер (преобразователь) к мареографу «СУМ», который апробирован на морской станции Севастополь в течение 5 лет. Приведены результаты сравнения с традиционными способами регистрации уровня моря. Обсуждаются возможности обработки квазинепрерывных рядов измерений уровня воды, результаты и перспективы улучшения качества информации.

В мировой практике используется большое количество устройств, измеряющих колебания уровня моря, которые построены на различных принципах. К ним относятся: акустические мареографы с измерительными трубками и без измерительных трубок, пневматические системы гидростатического давления и системы непосредственного отсчета, радарные измерители и поплавковые измерители. Из всего разнообразия методов и средств измерений колебаний уровня в практике гидрометслужбы Украины в настоящее время широко применяются измерители колебаний уровня моря типа «СУМ» с датчиком (поплавком) расположенным в успокоительном колодце. На действующей сети морских наблюдений такие измерители уровня установлены на 16 водомерных постах и успешно используются на протяжении 30 – 50 лет. Эти измерители представляют собой самопишущие приборы с записью результатов измерений чернилами на бумажную ленту и до настоящего времени являются одной из наиболее надежных модификаций устройств, применяемых для измерений колебаний уровня моря не только в странах СНГ, но и за рубежом. Например, система измерений колебаний уровня моря США переходит на акустические измерители, тем не менее, поплавковые измерители будут в течение нескольких лет функционировать параллельно с новыми системами. К достоинствам поплавковых измерителей следует также отнести отсутствие инструментального дрейфа нуля, что особенно важно с точки зрения оценки долгосрочных тенденций изменения уровня моря. К явным недостаткам этих измерителей относится способ регистрации результатов измерений. В свое время был разработан ряд систем для дистанционной передачи данных о колебаниях уровня моря. К ним, в частности, относятся приставка ГМ-39 к самописцу колебаний уровня моря «Валдай» (СУВ-М), предназначенная для непрерывной дистанционной передачи и регистрации показаний [1, 2]. Приставка использовала частотный датчик на герконах. Системами дистанционной передачи данных были оснащены и из-

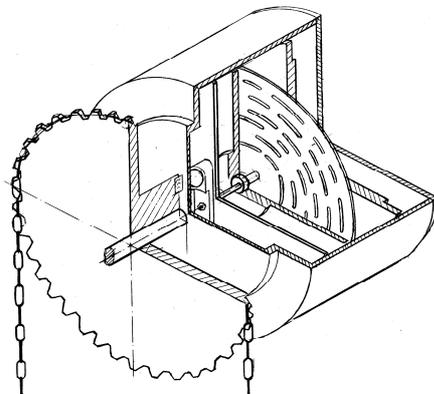
мерители уровня типов ТС.ТСФ.БС (ГДР), ЛПА-10 (Польша) и самописцы 501, 511 (ЧССР). Эти системы отличались малой надежностью и не получили широкого распространения. В связи с этим в 1999 г. в отделе гидрофизики шельфа Морского гидрофизического института (МГИ) НАН Украины был разработан и изготовлен цифровой адаптер для мареографа «СУМ». В 2001 г. в отделе автоматизации океанографических исследований МГИ по заказу Госгидромета Украины разработан новый измеритель уровня моря, принцип работы которого основан на измерении разности атмосферного и гидростатического давления на фиксированном горизонте под поверхностью воды [3]. Из-за сравнительно высокой стоимости этот современный измеритель уровня до настоящего времени не внедрен на морской сети Украины.

**Конструктивные принципы цифрового адаптера для поплавковой системы «СУМ».** Современная элементная база позволила создать недорогой и надежный цифровой адаптер, обеспечивающий дистанционную передачу результатов измерений уровня моря в цифровом виде. При этом удалось сохранить все достоинства поплавкового датчика и обеспечить современный уровень регистрации, обработки и представления информации.

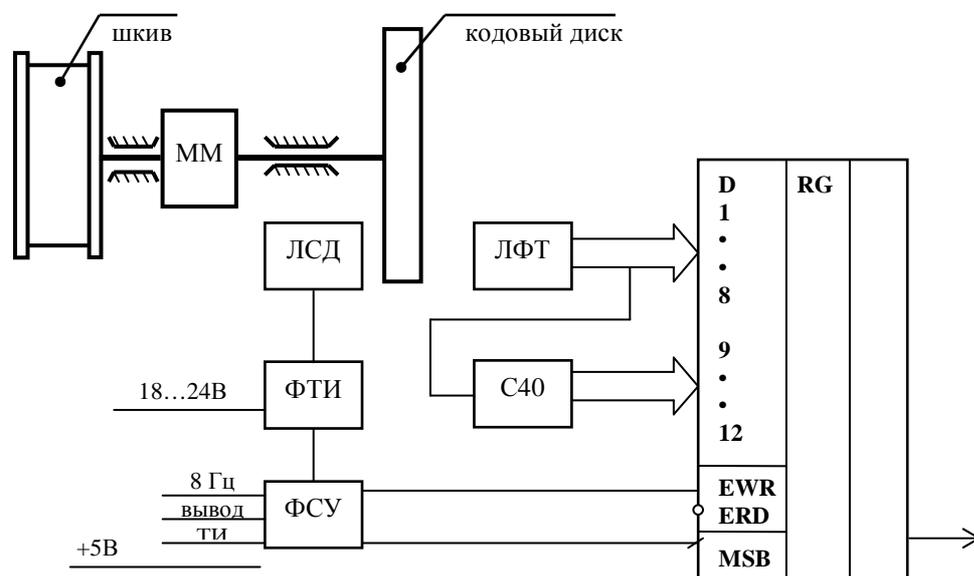
В устройстве поплавкового измерителя колебаний уровня положение поплавка СУМ на первом этапе преобразуется в угол поворота барабана пишущего механизма. Поэтому для создания цифрового регистратора поплавкового измерителя уровня был изготовлен оптический преобразователь угол-код. Этот преобразователь сочленяется с валом барабана с помощью магнитной муфты, что минимизирует влияние цифрового преобразователя на измерительную систему СУМ и упрощает монтаж преобразователя на корпусе мареографа. Устройство преобразователя угол-код представлено на рис.1.

Адаптер содержит кодовый 8-разрядный диск с кодом Грея, линейку излучающих светодиодов, линейку приемных фототранзисторов, формирователь токовых импульсов питания светодиодов, счетчик числа оборотов кодового диска и выходной 12-разрядный регистр с параллельной записью и последовательным считыванием. Структурная схема цифрового преобразователя представлена на рис.2.

Формирователь сигналов управления (ФСУ) вырабатывает управляющие сигналы, необходимые для работы схемы под действием внешних сигналов меток времени (8 Гц), «Вывод» и «ТИ». Излучающие светодиоды, соединенные последовательно, периодически запитываются короткими импульсами тока, во время действия которых на выходах линейки фототранзисторов формируются сигналы с логическими уровнями, соответствующими коду углового положения диска. Значения этого кода записываются в 8 младших разрядов регистра. Кроме того, для расширения динамического диапазона преобразователя в нем производится подсчет числа полных оборо-



Р и с . 1 . Преобразователь угол-код.

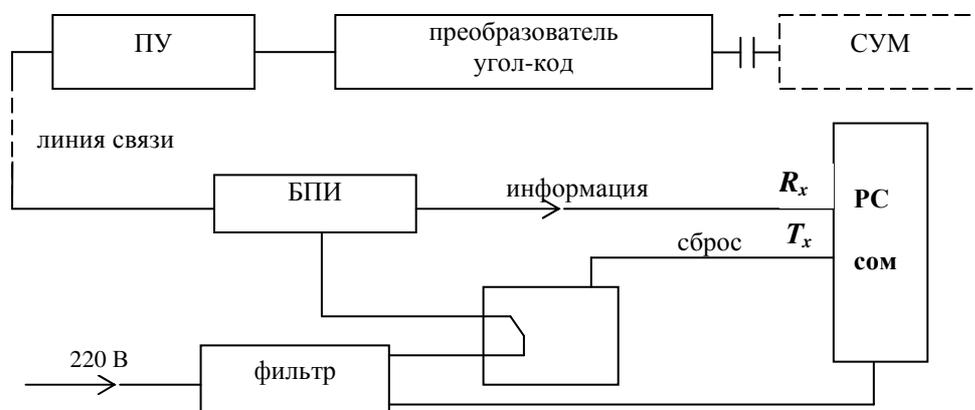


Р и с . 2 . Структурная схема цифрового адаптера к мареографу «СУМ»: ММ – магнитная муфта; ЛСД – линейка светодиодов; ЛФТ – линейка фототранзисторов; ФТИ – формирователь токовых импульсов; ФСУ – формирователь сигналов управления; СЧО – счетчик числа оборотов.

тов кодового диска с учетом знака направления вращения. Эту функцию выполняет 4-х разрядный реверсивный счетчик «СЧО».

При поступлении от внешнего устройства сигнала «Вывод» информация из счетчика приписывается в 4 старших разряда регистра и под действием 12 тактовых импульсов из регистра выводится последовательно в виде 12-ти разрядного кода, в котором четыре старших разряда определяют число полных оборотов кодового диска, а 8 младших соответствуют долям оборота диска с разрешением  $1/256$ . При диаметре шкива поплавкового мареографа около 80 мм квант по уровню равен 1 см, а для измерителя типа «СУМ» это значение составляет 0,23 см.

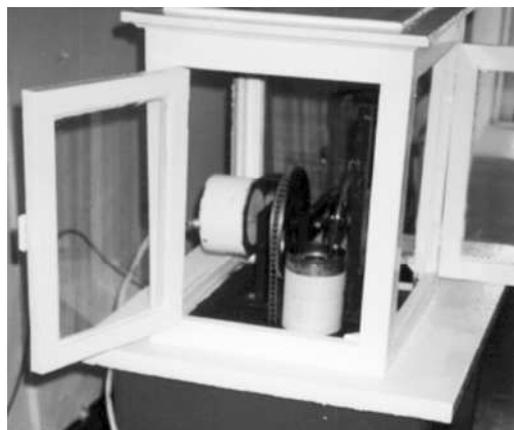
Модернизированный вариант цифрового адаптера содержит в корпусе преобразователя микропроцессорную схему управления, выполненную на AVR процессоре типа 2313. Схема управления содержит также таймер типа 135D и формирователь MAX232. Схема опрашивает состояние преобразователя угол-код с периодом 1 мин и выдает его значение в линию в формате RS-232C. Кроме этого, схема осуществляет накопление текущей информации в течение часа, затем вычисляет среднее значение уровня за час и запоминает его во внутренней памяти с датой и временем. Всего в памяти хранится 24 значения. Эта информация выдается в линию по команде, поступающей от компьютера. Другие команды позволяют установить дату и время, используемые в работе преобразователя. Прибор обеспечивает питание преобразователя от своего блока аккумуляторных батарей, управление работой, считывание и промежуточное хранение информации, поступающей от преобразователя. Считывание информации может производиться с интервалом 1; 5; 30 и 60 мин. Выбор нужного интервала производится с



Р и с . 3 . Схема соединений цифрового адаптера.

помощью переключателя, расположенного на верхней крышке. В зависимости от режима использования полученная информация может либо записываться во внутреннюю память прибора либо передаваться по двух проводной линии связи на расстояние до 1 км. При передаче информации по линии связи ее прием осуществляется блоком приема информации. Этот блок принимает информацию, индицирует её в виде десятичных кодов и преобразует для передачи по последовательному асинхронному каналу связи в формате RS-232 на персональный компьютер. В этом случае накопление и обработка информации ведется специальной программой персонального компьютера в зависимости от выбранного режима проведения измерений. Схема соединений блоков для измерения колебаний уровня моря приведена на рис.3.

**Технические испытания и опытная эксплуатация цифрового адаптера.** Регистрация измерений уровня моря с помощью цифрового адаптера проводилась в течение 5 лет (2000 – 2004 гг.) на морской гидрометеорологической станции (МГ) Севастополь, расположенной в Севастопольской бухте на м.Павловский. На рис.4 показано размещение блока цифрового адаптера на каркасе мареографа «СУМ».



Р и с . 4 . Размещение цифрового преобразователя на каркасе мареографа «СУМ».

Магнитная муфта цифрового адаптера закреплена с помощью цианакрилового клея на конце вала зубчатого колеса, преобразующего вертикальное перемещение поплавка во вращательное движение. Корпус цифрового адаптера был закреплен с помощью винтовых зажимов на каркасе штатного мареографа «СУМ» и соединен одножильным кабелем длиной 30 м с блоком приема и персональным компьютером, расположенными в помещении станции. Информация, поступающая от цифрового адаптера после передачи

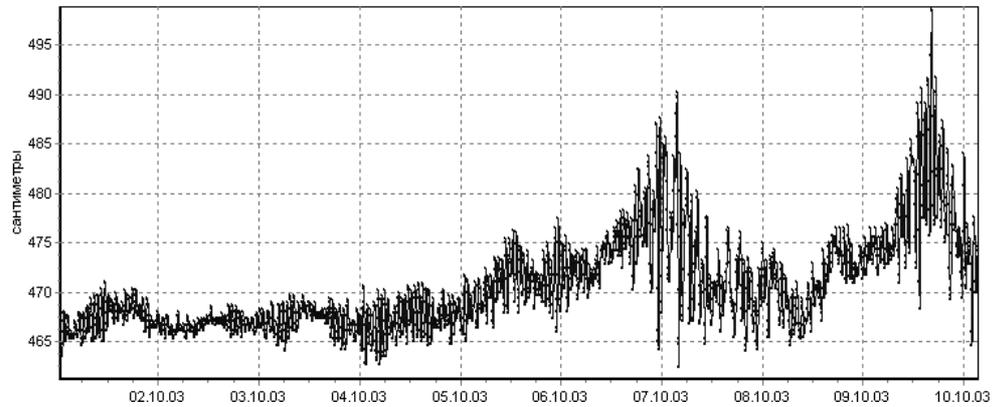
по линии связи, преобразуется в формат *RS-232C* с восемью информационными байтами и скоростью 9600 Бод. По последовательному асинхронному каналу она поступает в персональный компьютер. Темп выдачи информации на компьютер определяется темпом поступления информации от измерительного преобразователя. В нашем случае был установлен интервал измерений равный 5 мин.

При проведении испытаний была выявлена зависимость работы блока приема и индикации от наличия помех в сети 220 В. Периодически прекращалась передача информации от блока приема и индикации на персональный компьютер, которая восстанавливалась после выключения и повторного включения сетевого питания. Для устранения перерывов в регистрации информации был установлен сетевой фильтр фирмы *APS* и изготовлена специальная приставка питания блока приема и индикации измерителя колебаний уровня. В целях повышения надежности хранения информации при программных и аппаратных сбоях в компьютере, принятая информация регистрировалась в двух *ASCII*-файлах и одном бинарном файле, полностью сохранявшем информацию, поступающую на вход компьютера. После первичной обработки информации результаты месячных измерений формировались в отдельный файл.

В дальнейшем планируется разработка малогабаритного блока связи и индикации, который должен обеспечивать работу преобразователя на удалении до двух километров от источника питания. При этом питание и передача информации производится по одной и той же паре проводов. В качестве обратного провода может быть использована земля. Кроме устройства дистанционного питания, блок содержит схему индикации данных на жидкокристаллическом индикаторе, а также схему сопряжения с компьютером. Введение в состав цифрового адаптера подобного блока позволит сделать более гибкой систему использования цифрового адаптера в различных условиях эксплуатации.

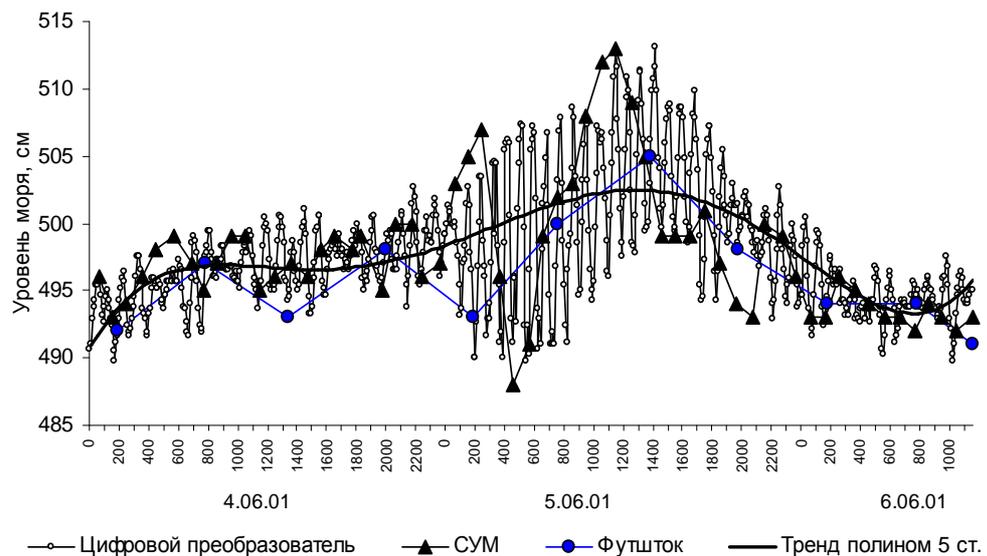
**Результаты измерений уровня в период испытаний.** Проведенные испытания и опытная эксплуатация цифрового адаптера на МГ Севастополь показали его хорошую работоспособность и возможность применения на действующей в Гидрометслужбе сети мареографов (рис.5). Измерения уровня с 5 мин дискретностью продолжались (с небольшими техническими перерывами) с ноября 2000 г. по декабрь 2004 г. За этот период с помощью цифрового адаптера получено 195018 измерений (по водомерной рейке 3179). После первичной обработки этого массива проведено сравнение с данными традиционных измерений, выполненных наблюдателями МГ Севастополь. При этом использовались бумажные ленты с регистрацией (чернилами) измерений мареографа «СУМ», ежечасные значения уровня, вручную снятые с лент в соответствии с действующим Наставлением [1] и занесенные в стандартную «Таблицу ежечасных высот уровня по мареографу» (ТГМ-7), а также данные четырех срочных измерений уровня моря по водомерной рейке (футштоку).

На рис.6 представлен пример с типичной ситуацией развития в Севастопольской бухте цуга интенсивных сейшевых колебаний уровня с амплитудой до 20 см.



Р и с . 5 . Пример квазинепрерывной реализации уровня моря, полученной с помощью цифрового преобразователя мареографа «СУМ».

Анализ таких совмещенных графиков показывает, что срочные измерения по водомерной рейке, как и ежечасные значения, снятые наблюдателем при обработке лент мареографа, случайно попадают в различные фазы сейшевых колебаний и дают искаженную картину изменений уровня с погрешностью от 1 – 2 до 10 – 15 см в зависимости от интенсивности и амплитуды сейш. При формальном снятии ежечасных значений, в результате эффекта эйлиазинга искусственно формируются ложные гармоники колебаний, статистическая или спектральная обработка которых приведет к ошибочным результатам. Это следует учитывать при использовании таблиц ТГМ-7, составленных по данным измерений на Севастопольской и других станциях, расположенных в бухтах, лиманах и глубоко вдающихся в сушу заливах.



Р и с . 6 . Данные измерений уровня воды в Севастопольской бухте 4 – 6 июня 2001 г. на МГ Севастополь, полученные с помощью самописца уровня моря «СУМ» и цифрового адаптера на одной поплавковой системе (в колодце мареографа), а также по рейке футштока за пределами колодца.

Даже при строгом соблюдении требований Наставления [1], снимая значения за каждый час по средней линии (на рис.6 – тренд полинома 5 степени), получить достоверные данные о высокочастотных колебаниях уровня по лентам «СУМ» практически невозможно. При использовании современных методов компьютерного распознавания сканированных изображений реализаций «СУМ» обработка массовой информации мареографов также нереальна.

Данные цифрового адаптера, как и ленты мареографа «СУМ», показали, что в Севастопольской бухте практически непрерывно наблюдаются сейшевые колебания уровня с периодом, близким к 1 ч. Амплитуда таких колебаний изменяется от 1 – 2 до 40 – 55 см, а при экстремальных ситуациях, как, например, 1 апреля 1938 г., может превышать 1 м [4]. Наличие продолжительных цифровых реализаций с дискретностью 5 мин позволило получить достоверные оценки средних и текущих энергетических спектров колебаний уровня в Севастопольской бухте. Спектральные оценки подтвердили, что наиболее энергонесущей зоной спектра колебаний уровня Севастопольской бухты является частота сейшевых колебаний с периодами 54 мин и 1 ч 15 мин, интенсификация которых (до 25 – 30 см) связана с перепадами атмосферного давления и штормовым усилением ветров. В спектрах выделяются также приливные флуктуации суточных (24,5 ч) и полусуточных (12,3 ч) периодов с размахом до 3 – 4 см [5]. Наличие цифровых реализаций измерений уровня моря позволит точно рассчитывать любые статистические и режимные характеристики уровня, а также автоматизировать систему обработки, передачи, контроля, анализа и представления данных в графической и табличной формах (в том числе в стандартной таблице ТГМ-7).

#### **Выводы.**

1. Цифровой адаптер для мареографа «СУМ», испытанный в течение 5 лет на МГ Севастополь, является компактным, недорогим и достаточно надежным регистратором уровня моря, обеспечивающим дистанционную передачу результатов измерений. При его использовании сохраняются все достоинства поплавкового датчика колебаний уровня моря и обеспечивается современный уровень регистрации, передачи, обработки и представления информации об изменениях уровня моря.

2. Из-за сложности обработки лент использование данных мареографов ограничено, поэтому полученная с большим трудом ценная информация многолетних массовых мареографных измерений уровня на 16 постах побережья Черного и Азовского морей практически не востребована. Учитывая это, очевидна целесообразность внедрения цифрового преобразователя на действующей сети, тем более что никаких конструктивных изменений систем мареографов не требуется.

3. До полномасштабного внедрения на сети Госгидромета Украины новых систем измерителей уровня [3], используя цифровой преобразователь, морские станции смогут освоить новую технологию приема и обработки квазинепрерывной цифровой информации. В перспективе аналогичные ряды данных будут поступать от измерителей ветра, атмосферного давления, температуры воды и воздуха (которые уже проходят испытания на МГ Севастополь), а также от измерителей других гидрологических и метеорологических параметров.

4. Цифровая, автоматически считываемая на ПЭВМ, информация об изменениях уровня с любой дискретностью остро необходима для исследования реальных процессов изменения уровня, в том числе на масштабах менее суток. Эти измерения имеют не только научное, но и сугубо практическое значение, т.к. в мелководных портовых акваториях и подходных каналах положение уровня определяет степень загрузки судов и безопасность мореплавания.

5. Организация цифровой регистрации уровня в наибольшей мере целесообразна в интенсивно используемых для мореплавания прибрежных и портовых акваториях. Прежде всего, это Сухой лиман с портом Ильичевск (мареографы на постах «Ильичевск» и «Паромная переправа»), где сейшевые колебания аналогичны наблюдаемым в Севастопольской бухте; их амплитуда может превышать 30 см. Это Днепро-Бугский лиман (мареограф на посту «Геройское»), где зарегистрированные амплитуды сейшевых колебаний достигали 20 см и более. Интенсивные сейшевые и сгонно-нагонные колебания уровня отмечены также в Одесском заливе (мареограф на станции «Одесса-порт»), Феодосийском заливе (мареограф на станции «Феодосия»), Ялтинском заливе (мареограф на станции «Ялта»), Керченском проливе (мареограф на станции «Опасное») и в Азовском море (мареографы на станциях «Геническ» и «Мариуполь»).

6. Широкое использование цифрового адаптера будет способствовать внедрению современных технологий сбора, обработки, анализа и представления данных и созданию реальной основы значительного повышения качества информации об уровне воды в Черном и Азовском морях.

Авторы выражают благодарность одному из разработчиков цифрового адаптера В.З.Дыкману за полезные замечания и советы при подготовке этой работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наставление* гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 9, часть 1. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 311 с.
2. *Снежинский В.А.* Практическая океанография. – Л.: Гидрометеоздат, 1954. – 671 с.
3. *Гайский В.А., Греков Н.А., Гайский П.В., Забурдаев В.И., Мишуров В.Ж., Пеньков В.Н., Клидзио А.Н., Трофименко В.А.* Измеритель уровня моря // Системы контроля окружающей среды. – Севастополь: МГИ НАНУ, 2001. – С.67-70.
4. *Горячкин Ю.Н., Репетин Л.Н., Фомичева Л.А.* Изменчивость уровня Черного моря в прибрежной зоне юго-западной части Крыма // Тр. УкрНИГМИ. – 2003. – 249. – С.236-245.
5. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н., Хмара Т.В.* Сейши в Севастопольской бухте // Тр. УкрНИГМИ. – 2003. – 250. – С.342-353.

Материал поступил в редакцию 10.02.2005 г.  
После доработки 12.04.2005 г.