

Л.Н.Репетин\*, Ю.П.Ильин\*, В.В.Зима\*\*, В.В.Долотов\*\*

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

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

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ БЕРЕГОВЫХ СТАНЦИЙ**

Разработан действующий макет автоматизированной системы прибрежных гидрометеорологических измерений для морской сети Госгидромета Украины. В течение 2000 – 2004 гг. проведены испытания и опытная эксплуатация метеорологических (ветер, температура воздуха, атмосферное давление) и гидрологических (уровень, температура и соленость воды) измерительных блоков, установленных в стандартных условиях морской станции «Севастополь». Система включает банк данных, программная оболочка которого предусматривает автоматизированный прием информации, средства контроля и анализа массивов измерений. Приводятся данные о структуре, основных технологических принципах автоматизированной системы и некоторые результаты квазинепрерывных метеорологических и гидрологических измерений.

На украинском побережье Черного и Азовского морей регулярно производятся гидрометеорологические наблюдения на 22 метеорологических станциях и 19 гидрологических постах морской сети Гидрометслужбы [1]. Средства и методы измерений на этой сети не обновлялись на протяжении последних 30 – 40 лет. Однако возрастающие запросы гидрометеорологического обеспечения морехозяйственного комплекса, задачи Государственного мониторинга вод Украины и необходимость интеграции действующей системы морских гидрометеорологических наблюдений Украины в Черноморский блок *GOOS* требуют обеспечения высокого качества измерений. Решение этих задач невозможно без внедрения в практику действующей системы морских наблюдений уже созданных и апробированных за рубежом и в Украине измерительных средств, технологий и информационных систем, которые способны обеспечить современные международные требования к качеству наблюдений, способам обработки и представления, хранения и распространения оперативной и режимной гидрометеорологической информации. В настоящее время Государственная гидрометслужба Украины приобретает новые метеорологические измерители, которые разработаны и изготовлены рядом украинских приборостроительных фирм (ОАТ «ИРВА», АО «Миррад» и др.), а также Морским гидрофизическим институтом НАН Украины (МГИ) в рамках «Программы научно-технического переоснащения системы гидрометеорологических наблюдений и базовой сети наблюдений за загрязнением окружающей природной среды», утвержденной Кабмином Украины в 1996 г. [2, 3]. Для использования этих измерительных комплексов на морской сети необходимо внедрение новых для гидрометслужбы Украины технологий измерений с квазинепрерывной регистрацией информации на ПЭВМ. В данной автоматизированной системе наблюдений для береговой

© Л.Н.Репетин, Ю.П.Ильин, В.В.Зима, В.В.Долотов, 2005

гидрометеорологической станции использованы созданные в МГИ измерительные комплексы и практический опыт их применения в мореведческих учреждениях Национальной Академии наук Украины [4, 5].

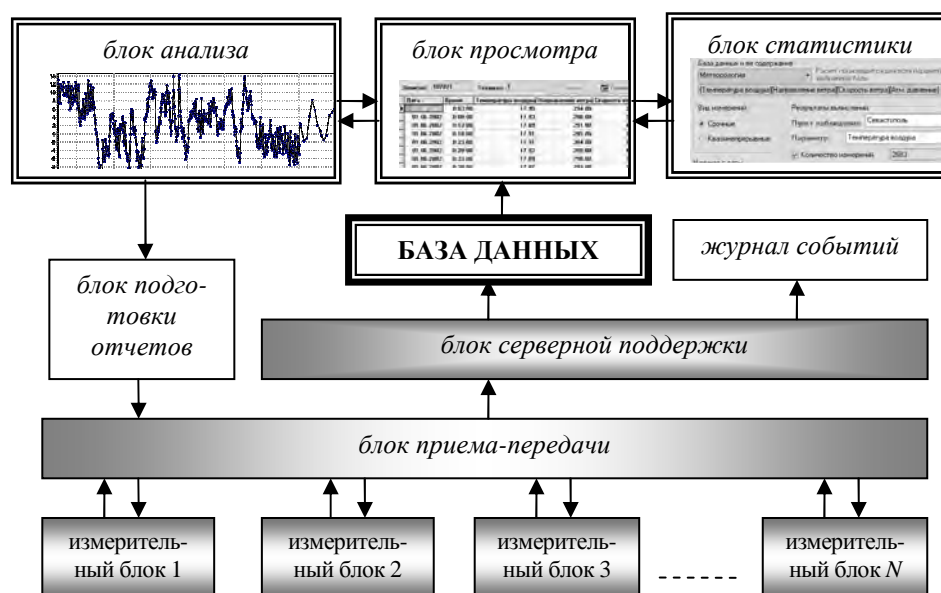
Экспериментальные работы на станции «Севастополь» по апробированию блоков автоматизированной системы были начаты в 2000 г. совместными усилиями Морского отделения Украинского научно-исследовательского гидрометеорологического института (МО УкрНИГМИ) и МГИ при поддержке Центра по гидрометеорологии в Автономной республике Крым (КрымЦГМ) и Госгидромета Украины. Отработка методики измерений и эксплуатация измерительных комплексов на этой станции продолжают до настоящего времени.

**Автоматизированная система прибрежных гидрометеорологических измерений (АСПГИ)** – это комплекс технических и программных средств, предназначенных для регулярных измерений метеорологических и гидрологических параметров в прибрежной зоне моря, а также для обработки, контроля и передачи данных по каналам электросвязи, накопления больших массивов информации, их хранения и анализа в специализированном банке данных. В основу *структурной схемы* АСПГИ положены следующие принципы:

- система измерений и сбора информации объединяет отдельные серийно выпускаемые средства измерений, а также экспериментальные измерительные комплексы, доработка которых возможна в ходе испытаний и подготовки к рабочей эксплуатации;
- система является открытой, т.е. позволяет производить расширение номенклатуры и количества средств измерений без изменения аппаратной части путем наращивания ее стандартными блоками;
- основным интерфейсом обмена для средств измерений принят последовательный асинхронный интерфейс RS-232;
- отключение отдельных средств измерений для проведения профилактических, ремонтных работ или метрологической аттестации и поверки не приводит к нарушению общей работоспособности системы;
- система выполняет функции первичной обработки данных измерительных комплексов на ПЭВМ и обеспечивает передачу обработанной информации с помощью электронных каналов связи;
- массивы обработанных квазинепрерывных инструментальных измерений и стандартных наблюдений, выполненных персоналом станции "Севастополь", поступают в банк данных, программное обеспечение которого позволяет автоматизировать процесс приема и усвоения информации, передаваемой одной или несколькими гидрометстанциями на сервер системы;
- банк обеспечивает входной контроль данных, возможности статистической обработки рядов, их визуализации в скалярном и векторном (вектор) изображениях, комплексный анализ различных параметров, а также экспорт информации для оперативного использования или обработки с помощью специализированных программ.

Структурная схема автоматизированной системы прибрежных гидрометеорологических измерений, которая реализована на станции «Севастополь», представлена на рис.1.

**Приборы измерительного блока** устанавливались на метеоплощадке и в прибрежной зоне станции «Севастополь», расположенной на Павловском



Р и с . 1 . Схема структуры и взаимодействия основных модулей автоматизированной системы прибрежных гидрометеорологических измерений.

мысе, омываемом водами Южной и Севастопольской бухт. Гидрологические измерители устанавливались в зоне уреза воды в колодце мареографа или в прибрежной зоне станции в зависимости от измеряемых параметров и технических условий используемого измерителя.

На метеорологической площадке были установлены измеритель скорости и направления ветра, измеритель температуры воздуха и измеритель атмосферного давления из состава автоматизированного метеорологического комплекса, разработанного в МГИ (МГИ 6505).

Измеритель скорости и направления ветра располагался на одной стойке со штатным датчиком скорости и направления ветра анеморумбографа М-63. Этот датчик на станции «Севастополь» установлен на крыше стоящего рядом с площадкой здания, что обеспечивает минимальную затененность измерителей ветра на всех направлениях. В анеморумбографе комплекса МГИ 6505 первичные преобразователи скорости и направления разделены. В качестве датчика скорости применен чашечный анемометр, в качестве датчика направления использован малогабаритный флюгер с преобразователем угол-код. Эти первичные преобразователи размещены на одной горизонтальной траверзе, закрепленной на 1,5 м ниже датчика анеморумбометра М-63. Измеритель температуры воздуха располагался на метеоплощадке, на отдельной стойке вблизи штатной метеорологической будки. Высота установки измерителя была выбрана так, чтобы первичный преобразователь температуры находился на одном уровне с термометрами в метеобудке. Измеритель атмосферного давления конструктивно объединен с центральным прибором и был размещен на рабочем месте оператора.

Автоматизированный метеокomплекс МГИ 6505 представляет собой многоканальную измерительную систему, состоящую из отдельных измерителей, объединенных общей информационной магистралью, и центрального

Т а б л и ц а 1. Технические характеристики метеорологических измерителей.

измеряемый параметр	диапазон измерений	погрешность, не более	разрешающая способность
температура воздуха	от – 40 до 50 °С	± 0,2 °С	0,05 °С
скорость ветра	от 1,0 до 50 м/с	± (0,5 + 0,05·V)	1 м/с
направление ветра	от 0 до 360°	6°	3°
атмосферное давление	от 800 до 1100 ГПа	± 1 ГПа	0,1 ГПа

прибора, управляющего работой комплекса и обеспечивающего интерфейс связи с информационными системами более высокого уровня. Связь центрального прибора с отдельными измерителями осуществляется по двухпроводной токовой линии с оптоэлектронной развязкой линии связи от измерительных блоков. Технические характеристики используемых измерителей приведены в табл.1.

Кроме перечисленных приборов система предусматривает возможность включения в состав метеорологического комплекса анеморумбометра «МАРК-60», измерителей количества и интенсивности атмосферных осадков «ВОА-1», атмосферного давления «БАР», температуры точки росы, суммарной солнечной радиации, гололедных отложений и дальности видимости, которые разработаны по заказу Госгидромета Украины, а также в рамках научной и опытно-конструкторской тематики МГИ.

Для *гидрологических измерений* использовались измерители уровня моря, температуры и солености воды. Поскольку морская сеть гидрометслужбы оснащена надежно работающими поплавковыми самописцами уровня моря СУМ, в МГИ был разработан цифровой адаптер (преобразователь) к этому мареографу (рис.2) с целью получения данных об уровне моря в цифровой форме для автоматизированной обработки [6]. Внедрение такого цифрового преобразователя позволит, не нарушая работы действующих мареографов, постепенно перейти к автоматизации процесса регистрации и обработки уровня наблюдений с обеспечением необходимого качества и минимальными финансовыми и трудовыми затратами. Система предусматривает также использование разработанного в МГИ по заказу Гидрометслужбы прибора, который одновременно с уровнем, измеряет температуру и электропроводность (соленость) морской воды [3]. Этот прибор в 2003 г. был установлен в колодце мареографа станции «Севастополь» и успешно проработал на протяжении 7 месяцев.

Для измерения температуры и солености морской воды использовался комплекс МГИ 1201, который в течение многолетней практики МГИ показал высокую надежность и стабильные метрологические характеристики.



Р и с . 2. Цифровой преобразователь к мареографу.

Погружаемое устройство этого комплекса было размещено на глубине около 2 м на расстоянии 15 м от уреза воды в непосредственной близости от станции «Севастополь». Для установки на дне комплекс был помещен в специальную металлическую раму, которая обеспечивала механическую защиту комплекса, фиксацию положения датчиков комплекса на необходимом удалении от дна. Глубина места постановки выбиралась так, чтобы она превышала величину максимальной высоты волны, возможной в этом районе, во избежание оголения датчиков прибора. Погружаемое устройство с помощью герметичного грузонесущего кабель-троса подключено к блоку сопряжения бортового устройства, который обеспечивает питание погружаемого устройства, прием и преобразование информации, а также формирование сигналов стандарта RS-232C для обмена с внешними устройствами. Комплекс МГИ 1201 обеспечивает измерение температуры и относительной электрической проводимости морской воды, а также гидростатического давления. В данном случае для проведения измерений использовались лишь каналы измерения температуры и относительной электрической проводимости, которая пересчитывается в соленость морской воды. Технические характеристики этих каналов приведены в табл.2.

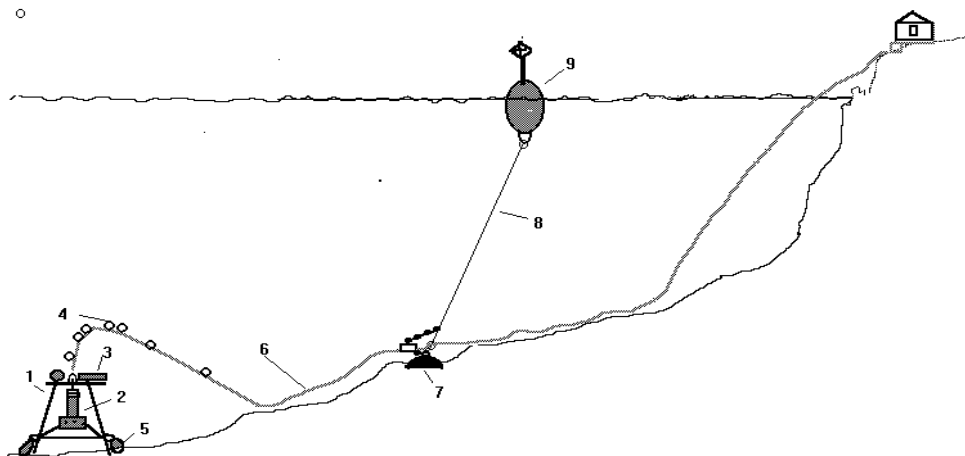
В качестве первичного измерительного преобразователя (датчика) температуры воды используется термометр сопротивления, с номинальным сопротивлением 100 Ом. Измерительный преобразователь электрической проводимости представляет собой пару экранированных трансформаторов, связь между которыми осуществляется за счет электрической проводимости наружного объемного витка, роль которого выполняет морская вода. Измеренные значения электрической проводимости и соответствующие им значения температуры воды пересчитываются в значения солености в единицах шкалы практической солености. Схема постановки комплекса МГИ 1201 приведена на рис.3.

Для измерения температуры, солености и других характеристик морской воды (например, кислорода, других показателей химического состава или загрязнения морских вод) в систему могут быть включены погружные устройства упрощенных модификаций STD-зондов «Исток» и «ШИК», а также новых гидрозондов, разработанных в МГИ.

В состав информационно-обрабатывающего оборудования АСПГИ, кроме измерительных приборов и комплексов, входит рабочая станция приема данных от средств измерения, выполненная на базе ПЭВМ. Рабочая станция осуществляет прием первичной информации, ее контроль, отображение теку-

Т а б л и ц а 2. Технические характеристики гидрологического измерительного комплекса МГИ 1201.

измеряемый параметр	диапазон измерений	погрешность, не более	разрешающая способность
температура воды	от - 2 до 35 °С	± 0,5 °С	0,01 °С
относительная электрическая проводимость	от 0 до 09	± 1,25·10E-3	25·10E-4
гидростатическое давление	от 0 до 1,5 МПа	± 0,04 МПа	4·10E-3 МПа

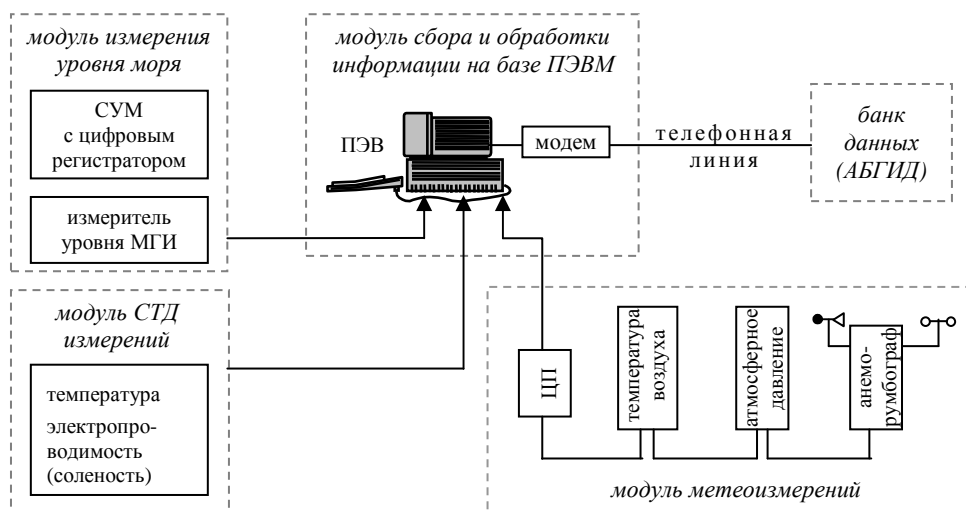


Р и с . 3 . Схема постановки датчиков СТД-комплекса МГИ 1201: металлический каркас (1); измерительный комплекс МГИ 1201 (2); узел присоединения к прибору кабель-троса с поплавками (кухтылями) для защиты измерителей и кабеля от повреждений при волнении (4); якорная система с 2 каплевидными грузами весом по 30 кг (5); кабель-трос КГ-3-60-180 (6); якорь сигнального буйа весом 100 кг (7); буйреп сигнального буйа из металлического троса  $\varnothing$  5 мм (8); сигнальный буй с проблесковым фонарем и пассивным радиолокационным отражателем (9).

шей информации и ее регистрацию на магнитных носителях. Структурная схема всего блока измерений и регистрации информации приведена на рис.4.

**Система сбора информации** построена на устройствах широкого применения. В качестве интеграционного элемента был использован стандартный мультиплексор последовательных асинхронных каналов, выполненный в виде встраиваемого ISA контроллера типа *GRAN-ME4COMRS*.

В режиме мультиплексора данное устройство обеспечивает прием информации по четырем независимым последовательным асинхронным каналам связи. Прием всех четырех каналов обслуживает одно прерывание, ка-



Р и с . 4 . Блок-схема средств измерений и первичной обработки данных автоматизированной системы прибрежных гидрометеорологических измерений.

ждый канал приема имеет отдельный *FIFO*-буфер объемом 64 байта каждый. Скорость приема информации устанавливается независимо для каждого из каналов в пределах от 75 до 115200 Бод.

В настоящее время, в связи с широким внедрением стандарта универсальной последовательной шины *USB*, наметилась тенденция к исключению коммуникационных портов *RS-232C* из комплектации как портативных, так и стационарных компьютеров широкого применения. Это обстоятельство следует учитывать при дальнейшем формировании системы сбора и регистрации гидрометеорологической информации. Спецификация шины позволяет подключать к ней одновременно до 127 устройств при общей скорости обмена 12 Мбит/с, что позволяет использовать эту шину в качестве концентратора для измерительных гидрометеокомплексов любой сложности. К её достоинствам следует отнести также возможность подключения и отключения устройств при работающей системе. При этом обеспечивается не только электрическая безопасность коммутации, но и автоматическая реконфигурация системы. Кроме этого, шина может обеспечивать электрическим питанием (5 В, 500 мА) некоторое количество подключенных к ней приборов, что упрощает построение измерительных систем и повышает их надежность. Использование существующих приборов с интерфейсом *RS-232C* совместно с шиной *USB* облегчается тем, что серийно выпускаются как специализированные микросхемы, обеспечивающие преобразование сигналов *RS-232C* в сигналы формата *USB*, так и преобразователи этих форматов, выполненные в виде отдельного внешнего устройства. Таким образом, может быть решена задача формирования многофункциональных измерительных гидрометеорологических комплексов без использования дополнительного оборудования.

Прием, обработка и отображение информации на мониторе ПЭВМ выполняются под управлением специализированного программного обеспечения. В случаях сбоев электропитания программная оболочка обеспечивает рестарт системы без участия оператора.

Полученные значения физических величин фильтруются и приводятся к требуемым значениям временных интервалов. Из полученных таким образом данных формируются массивы информации, предназначенные для включения в базу данных морских прибрежных наблюдений на сервере АСПГИ. В состав информационного стенда системы входят коммуникационные средства, в том числе модемы, обеспечивающие режим работы по выделенной линии для связи с базовым сервером.

Обработанная информация может передаваться не только на сервер АСПГИ, но и другим внешним пользователям, например, в Госгидромет, Гидрометцентры, ГМБ, учреждения экологического контроля Минэкоресурсов Украины, службы безопасности мореплавания, в морехозяйственные учреждения, нуждающиеся в гидрометеорологическом обеспечении.

**Система передачи информации** основана на использовании телефонных сетей, которыми располагает любая станция. Подобная принципиальная схема достаточно отработана в глобальной сети Интернет, однако в АСПГИ была использована специализированная коммуникационная программа *Quick Modem Pro* фирмы *Mustang Software, Inc.*, которая не является уникальной и может быть заменена любой другой с аналогичными функ-

циями. Испытания показали, что такая схема связи получается наиболее простой, так как, в отличие от каналов Интернет, её надежность определяется только качеством телефонного соединения и не зависит от надежности работы Интернет-провайдера.

К достоинствам использованной схемы следует отнести простоту построения аппаратной настройки и высокую надежность. Подобная программа *T-mail (B-mail)*, применяется большинством банковских учреждений в системах БАНК-КЛИЕНТ. Именно большой положительный опыт эксплуатации таких систем позволяет рекомендовать их и для передачи гидрометеоинформации. Основными достоинствами программы связи являются:

- возможность автоматического дозвона компьютера-передатчика до компьютера-приемника информации – центрального сервера (ЦС), находящегося в режиме ожидания;
- возможность передачи информации в обе стороны;
- возможность подтверждения принятия информации приемником и повторной передачи в случае любых повреждений, как аппаратных, так и на линии связи;
- простота настройки, как со стороны ЦС, так и со стороны передатчика;
- нетребовательность к ресурсам (работает в *OC DOS* и *MS Windows* даже на ПК типа *XT*);
- возможность надежного шифрования данных.

Основным недостатком используемой системы, в отличие от решений на базе Интернет, является невозможность передачи информации на ЦС несколькими станциями одновременно. Это накладывает естественные ограничения, обусловленные тем, что во время приема информации от одной передающей станции остальные выйти на связь с сервером не могут. Однако они могут сделать это непосредственно после завершения процесса приема-передачи, который, как правило, не занимает много времени. Опыт применения программы *Quick Modem Pro* показывает, что мощности сервера, построенного даже на базе IBM AT-286, достаточно для обеспечения надежного обслуживания нескольких десятков клиентов при продолжительности связи с каждым из них в течение нескольких минут. В этом случае сервер должен постоянно находиться в режиме ожидания связи, т.е. постоянно «занимать» выделенную телефонную линию. В заданные моменты времени передатчик набирает номер телефона ЦС-приемника и автоматически осуществляется передача информации. В случае получения сигнала «занято» передатчик продолжает попытки соединения до первой успешной. В завершение процесса передатчик ожидает подтверждения приема со стороны ЦС, что исключает какие-либо «случайные» информационные потери. В программах связи существуют специальные каталоги *<In>* (вход) и *<Out>* (выход), в которые может быть помещена любая дополнительная информация для обратной связи, причем информация с ЦС может поступать на указанную передающую станцию или на все одновременно. Поступающая информация может шифроваться и обрабатываться по-разному, в зависимости от ее вида, который, в свою очередь, определяется файловым расширением. Обязательным является ведение протоколов передачи данных, что позволяет анализировать статистику работы системы в целом, а также выявлять возможные нарушения.



Для **Автоматизированного банка гидрометеорологических данных** (АБГИД) было разработано специальное программное обеспечение, позволяющее полностью автоматизировать процесс приема и усвоения гидрометеорологической информации (получаемой как традиционными способами, так и с помощью автоматизированных измерителей), передаваемой гидрометстанциями на ЦС сети с обеспечением ее входного контроля, возможностей анализа, а также подготовки и передачи массивов информации. Стандартные отчеты по результатам анализа могут также формироваться автоматически.

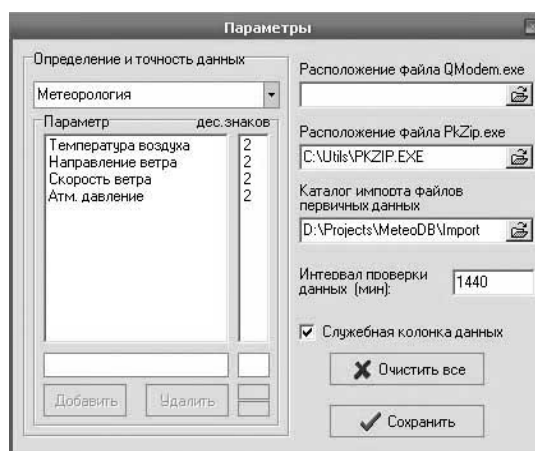
Таким образом, АБГИД предусматривает следующие возможности:

- 1) работа в автоматическом режиме, в том числе в качестве сервиса на компьютерах с операционной системой *Windows-NT*;
- 2) постоянное ведение журнала операций, выполняемых системой в автоматическом режиме с отметкой времени;
- 3) организация двух или более отдельных баз данных для хранения:
- 4) результатов измерения гидрологических параметров;
- 5) результатов измерения метеорологических параметров;
- 6) поддержка внутри каждой базы двух категорий измерений: срочных (интервал несколько часов) и квазинепрерывных (интервал несколько минут);
- 7) периодическая (через заданный интервал времени) автоматическая проверка наличия вновь поступившей информации с подключением ее к существующей базе данных и ведение архива усвоенных данных;
- 8) обеспечение входного контроля данных с возможной автоматической корректировкой и записью нарушений и внесенных исправлений в журнал событий;
- 9) возможность визуализации рядов измерений в графическом и табличном представлении;
- 10) возможность автоматического поиска заданной информации, а также ее редактирования с учетом прав доступа;
- 11) автоматическое сохранение журнала событий за каждый день работы с архивированием по результатам месяца;
- 12) поддержка двух языков программного интерфейса – украинского и русского;

13) обеспечение необходимых ревизионных и аналитических возможностей программы без прерывания работы основного сервиса;

14) автоматизированная система приема запросов информации из банка данных, подготовка и рассылка ответов с использованием программы *Quick Modem Pro* или *E-mail*.

При первом запуске программа АБГИД предлагает установить параметры ее функционирования (рис.5). При этом



Р и с . 5 . Определение параметров программы.

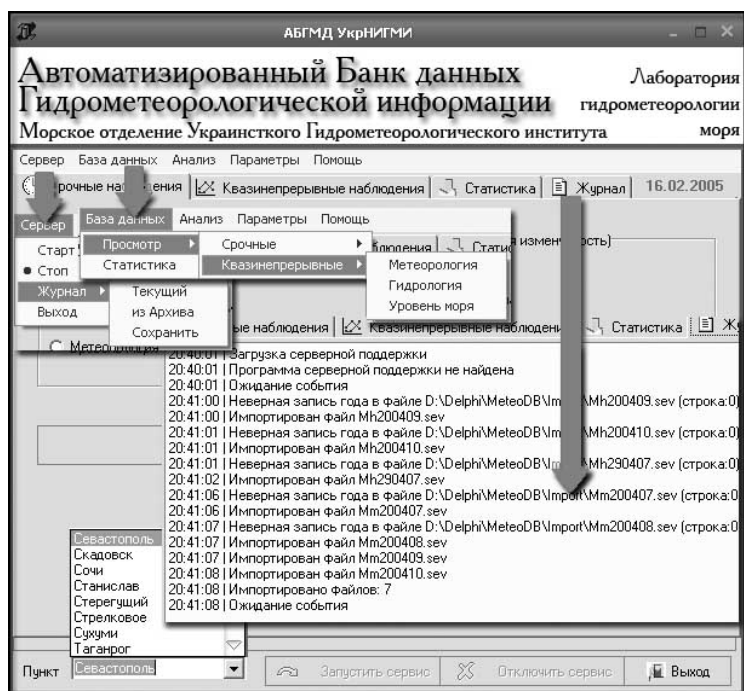


Рис. 6. Внешнее представление общих возможностей программной оболочки банка данных.

определяются рабочие параметры, сохраняемые в базе данных по каждому из четырех разделов с указанием точности их представления: метеорология; гидрология; уровень моря; гидрохимия.

Указанные направления выбраны, исходя из характера информационного наполнения входных (импортируемых) файлов первичных данных. Максимальное количество параметров в каждом разделе в настоящей версии ограничено десятью, после чего система перестает принимать вводимые данные. Здесь же указываются и некоторые другие параметры программы, в частности, расположение необходимых каталогов, а также задается интервал времени проверки поступления новых данных.

Визуальное представление режимов работы программы АБГИД представлено на рис.6. Управление программой осуществляется традиционно через меню, либо с помощью соответствующих кнопок и переключателей. Одним из важных моментов работы программы является автоматическое ведение и сохранение журнала событий, поскольку основное назначение программы – работа в автоматическом режиме. Журналы событий имеют ежесуточную структуру, автоматически сохраняются и архивируются по результатам работы за месяц. При этом оператор имеет возможность просмотра журнала за любые сутки работы системы. Все события системы имеют временной отсчет и подразделяются на «заданные» и «обязательные». Первые выполняются по истечении заданного интервала времени, который по умолчанию составляет 1440 сек, т.е. 24 часа. «Обязательные» события выполняются при смене часов, суток и месяцев. К «заданным» собы-

тиям относится проверка наличия новых файлов первичных данных и, в случае их наличия – подключение последних к базе данных. «Обязательные» события предусматривают выполнение следующих операций:

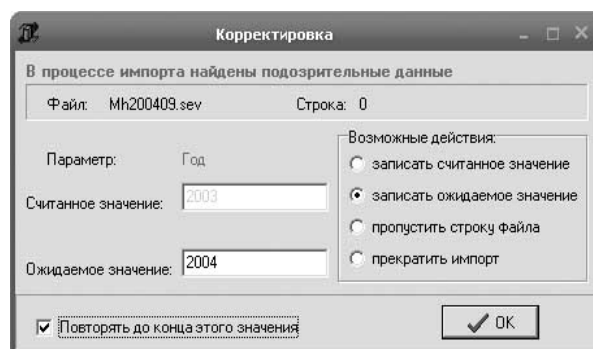
- ежечасную проверку наличия запросов на выдачу данных, подготовку данных на основании запросов, формирование исходящей корреспонденции и ее отправку;

- ежесуточное архивирование и обновление файлов журналов;

- ежемесечное архивирование файлов журналов и первичных данных.

Файлы данных измерений записываются автоматически или вручную в каталог импорта данных. При правильной настройке программы *Quick Modem Pro* это происходит автоматически. Формат файлов результатов наблюдений – *ASCII (American Standard Code for Information Inter Exchange)* в структуре «числа, разделенные пробелами».

Функции входного контроля данных реализованы в минимальном, но достаточно эффективном варианте. Отладка программы на реальных файлах первичных данных показала, что наиболее частая ошибка при ручной под-

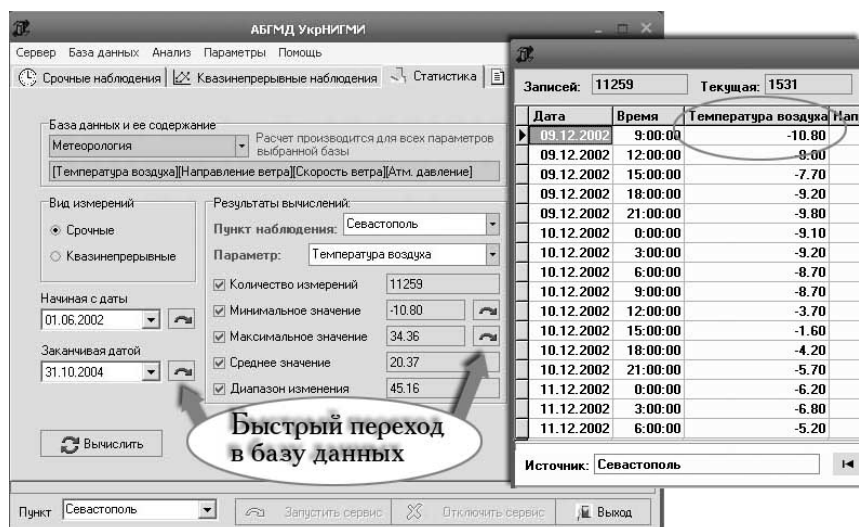


Р и с . 7 . Возможности автоматической коррекции данных при ручной загрузке.

готовке данных заключается в неверной записи даты. Поскольку даты есть упорядоченный массив данных, то его контроль представляет собой простую задачу, которая и была реализована (рис.7). Информация о всех исправленных ошибках заносится в журнал. Что касается данных измерений, то в процессе импорта осуществляется проверка их на вхождение

в заданный диапазон значений. Все замеченные отклонения записываются в журнал событий для последующего контроля оператором. Дополнительный контроль данных осуществляется с помощью модуля статистики (рис.8). Как показала практика работы с базами данных, наиболее часто встречающейся ошибкой является неверный ввод десятичного разделителя, при этом значение параметра становится на порядок большим или меньшим. Анализ экстремальных значений параметров с помощью расчета статистики позволяет оперативно выявлять такие ошибки, а быстрый переход к ошибочному значению в базе данных обеспечивает возможность его оперативного исправления.

Статистические характеристики базы рассчитываются по запросу пользователя, поскольку база данных постоянно пополняется. Для расчета необходимо указать наименование базы, а также вид измерений (срочные или квазинепрерывные, рис.8). При этом можно задать период, а также указать конкретный пункт наблюдений. Расчет производится после нажатия кнопки "Вычислить" для всех параметров выбранной базы одновременно, т.е. в результате расчета, например метеопараметров, можно получить значения для



Р и с . 8 . Модуль статистики и его возможности.

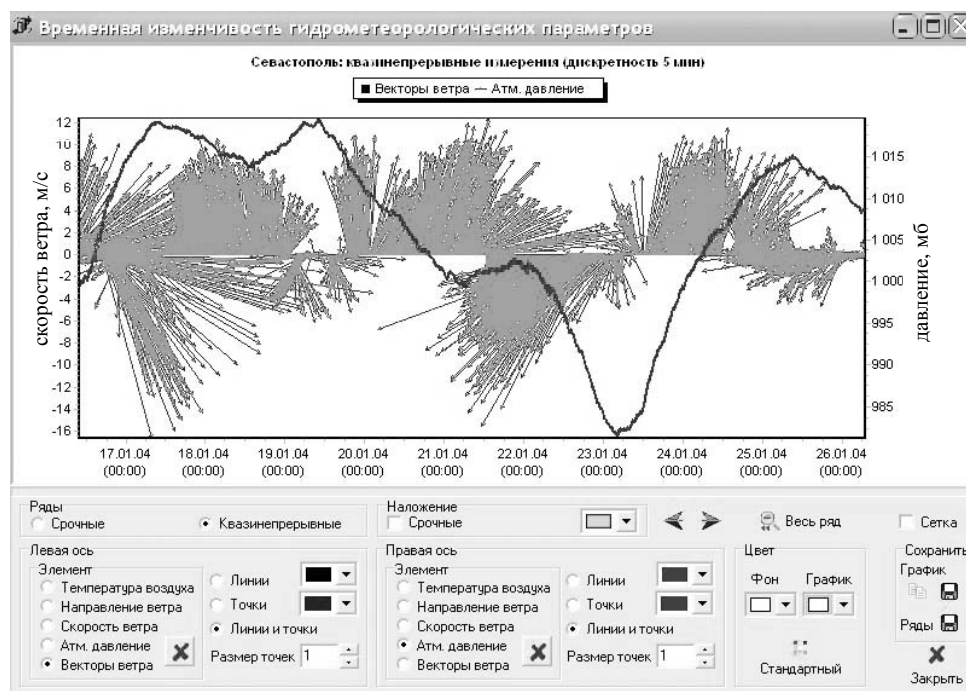
температуры воздуха, направления и скорости ветра, атмосферного давления без дополнительного пересчета. Однако при переходе к другой базе, например гидрологической, пользователю предлагается выполнить расчет заново. Статистические функции представлены основными характеристиками (рис.8), список которых при необходимости может быть расширен.

База импортированных данных предоставляет три основных сервиса:

- 1) просмотр содержимого базы в таблице;
- 2) графическая визуализация рядов измерений;
- 3) коррекция данных.

В режиме просмотра пользователь должен указать наименование базы и вид дискретности измерений (срочные или квазинепрерывные). Алгоритм визуализации данных в виде временного графика позволяет представлять как срочные, так и квазинепрерывные данные по каждому метеорологическому или гидрологическому параметру в хронологическом порядке (рис.9). Панель настройки графиков позволяет получать один или два графика временной изменчивости выбранных параметров с возможностью изменения цветов и размеров точек.

Пользователь может быстро переключаться между срочными и квазинепрерывными данными, а также накладывать один ряд на другой (рис.9). При этом предусмотрена возможность непосредственного перехода из графика в таблицу, причем курсор в таблице автоматически позиционируется на выбранное значение параметра. При наличии явно неверных значений параметров исправление значения в таблице приводит к автоматическому перестроению графика. Характеристики ветра могут быть представлены в виде скалярных или векторных временных рядов. Для корректировки графиков предусмотрены средства изменения масштаба вертикальных осей и их надписей, копирования графика в буфер обмена. Предусмотрена также возможность экспорта заданных интервалов рядов представленных на графике параметров для их обработки, анализа и дополнительных расчетов с использованием специализированных программных продуктов.

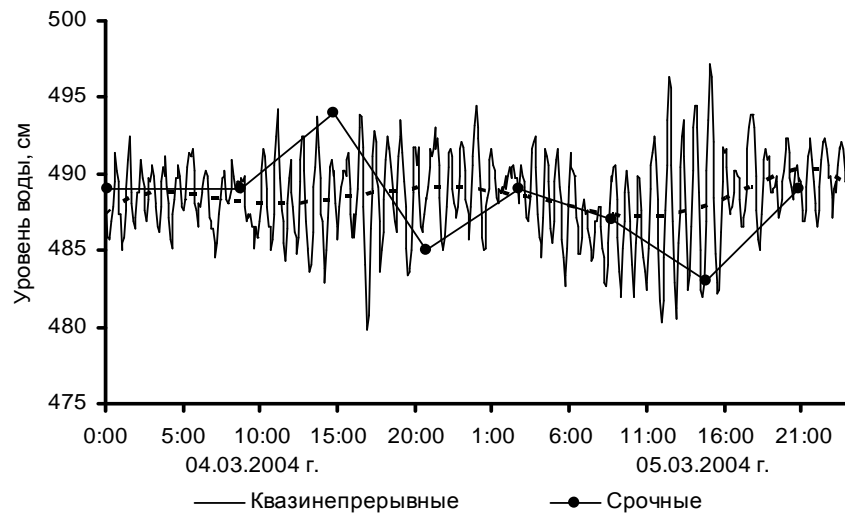


Р и с . 9 . Пример визуализации рядов метеорологических параметров в виде совмещенного графика временной изменчивости атмосферного давления и векторного изображения скорости и направления ветра.

**Полученные результаты.** В течение пяти лет экспериментальной эксплуатации АСПГИ на станции «Севастополь» были получены следующие объемы информации:

- цифровая регистрация уровня моря с ноября 2000 г. по декабрь 2004 г. (всего 210018 измерений);
- измерения температуры и солёности морской воды: ноябрь 2000 г., апрель – июнь 2001 г., июль – октябрь 2002 г. (всего 15376 измерений);
- измерения метеорологических параметров (температура воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление) с июня 2002 г. по декабрь 2004 г. (всего 195905 измерений каждого параметра).

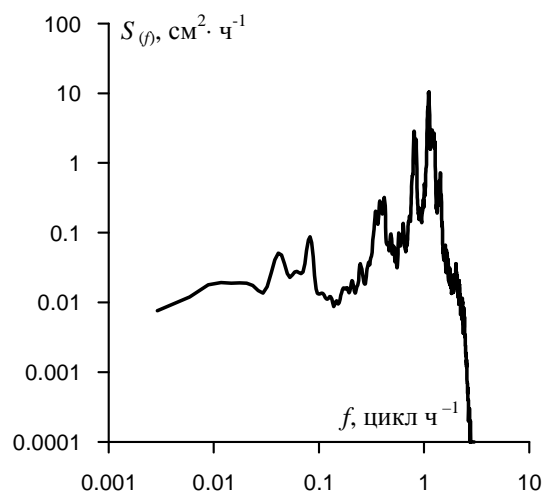
В начале обрабатывались методики измерений уровня (цифровая регистрация), температуры и солёности воды (МГИ 1201) в колодце мареографа. Синхронные измерения этих характеристик показали, что помимо воды Севастопольской бухты, втекающей через основную трубу, в колодец мареографа через стены поступают грунтовые воды, которые часто распресняют поверхностный слой воды в колодце до 1 ‰, когда в придонном слое удерживается солёность до 17,0 – 17,5 ‰. Столь существенные изменения плотности воды в колодце мареографа могут влиять на заглупление поплавка самописца, следовательно, на его показания. Этот факт подтверждает целесообразность одновременного измерения уровня, температуры и солёности воды, предусмотренного измерителем уровня МГИ [3] для введения соответствующих поправок на изменения плотности воды. С учетом этого, измерения температуры и солёности для режимных исследований в дальней-



Р и с . 1 0 . Пример цифровой реализации уровня воды (дискретность 5 мин) с 4-х срочными измерениями по водомерной рейке.

шем проводились в прибрежной зоне моря (бухты), поэтому СТД-комплекс и был установлен в 15 м от уреза воды (рис.3).

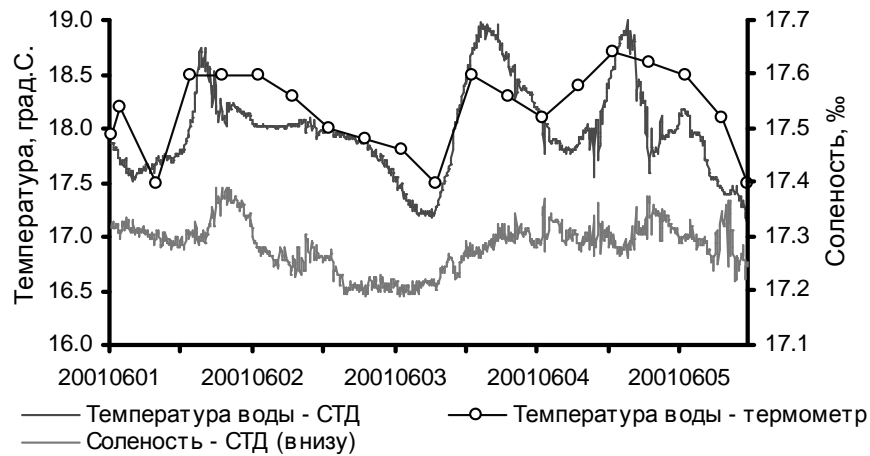
Реализации автоматизированных измерений уровня и записи СУМ на лентах показали, что в Севастопольской бухте непрерывно наблюдаются сейшевые колебания уровня с периодом, близким к 1 ч (рис.10). Амплитуда этих колебаний изменяется от 2 – 3 до 20 – 30 см. Поэтому 4-х срочные измерения по водомерной рейке, как и ежечасные значения, снятые наблюдателем с ленты мареографа, случайно попадают в различные фазы сейшевых колебаний и дают искаженную картину изменений уровня с погрешностью от 1 – 2 до 10 – 15 см [6]. При методически корректной обработке лент мареографа по средней линии (пунктир на рис.10) получить цифровую информацию о высокочастотных колебаниях уровня практически невозможно. Поэтому автома-



Р и с . 1 1 . Спектр колебаний уровня моря в Севастополе (2 мая – 30 июля 2001 г.) [7]

тизированные измерения уровня с малой дискретностью (5 мин) и регистрацией на ПЭВМ являются насущной необходимостью, особенно в бухтах, заливах и лиманах [6].

Наличие цифровых реализаций позволило впервые выполнить расчет средних энергетических спектров колебаний уровня в Севастопольской бухте, которые подтвердили, что наиболее энергонесущей зоной спектра является частота сейшевых колебаний с периодами 54 мин и 1 ч 15 мин (рис.11). Интенсификация этих колебаний до 25 – 30 см



Р и с . 1 2 . Пример реализаций температуры и солености воды на станции «Севастополь» в период с 1 по 5 июня 2001 г.

связана с перепадами атмосферного давления и штормовыми усилениями приводного ветра [7]. В спектрах выделяются также приливные флуктуации суточных (24,5 ч) и полусуточных (12,3 ч) периодов с размахом до 3 – 4 см.

При сопоставлении данных измерений температуры воды в прибрежной зоне, полученных с помощью СТД-комплекса (дискретность 5 мин, на глубине 1,75 м) и стандартного ртутного термометра (дискретность 6 ч, в слое 0,5 м), выявлены существенные различия (рис.12). Коэффициент корреляции синхронных значений оказался  $< 0,5$ . Различия в показаниях связаны с тем, что измерения производились в разных слоях, с разной дискретностью и с различным метрологическим обеспечением измерителей. Несмотря на естественный более высокий температурный фон измерений ртутным термометром в поверхностном слое, максимальные значения в периоды наибольшего суточного прогрева отмечены СТД-комплексом в промежутках между сроками измерений наблюдателями станции. Расхождения до  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  могут быть следствием не только редких сроков наблюдений, но и низкого качества измерений температуры воды стандартным ртутным термометром в опрае. Реализации учащенных (с дискретностью 5 мин) измерений солености воды свидетельствуют о том, что в течение суток изменения солености, связанные с динамическими причинами, могут достигать  $0,1 - 0,2\text{ }‰$  (рис.12). Следовательно, принятые на морской сети измерения солености с частотой один раз в сутки недостаточны для оценки особенностей режима солености прибрежных вод.

Сравнение данных автоматизированных измерителей температуры воздуха, ветра и атмосферного давления со стандартными 8-срочными наблюдениями показывает вполне удовлетворительную сходимость, хотя экстремальные значения, как правило, не фиксируются 8-срочными наблюдениями. Экстремумы температуры воздуха могут отличаться на нескольких градусах (рис.13, а). Различия по скорости ветра достигают  $2 - 3\text{ м/с}$  даже для величин, осредненных за 10 мин (рис.13, б). Наименьшими оказались расхождения при измерениях атмосферного давления (рис.13, в). Точками на рисунках обозначены данные 8-срочных измерений, выполненных наблю-

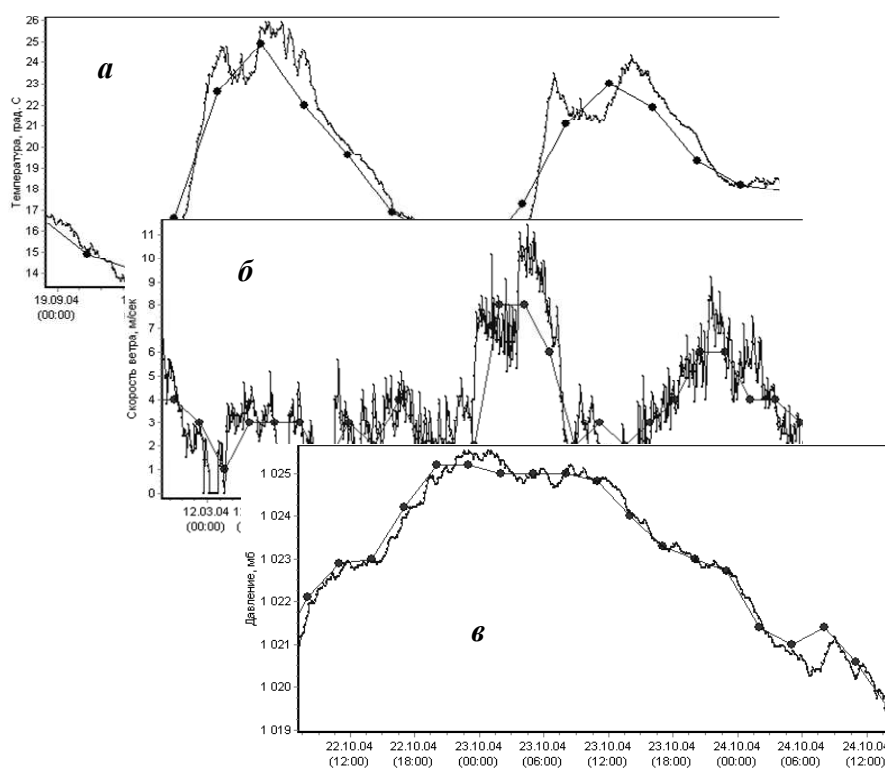


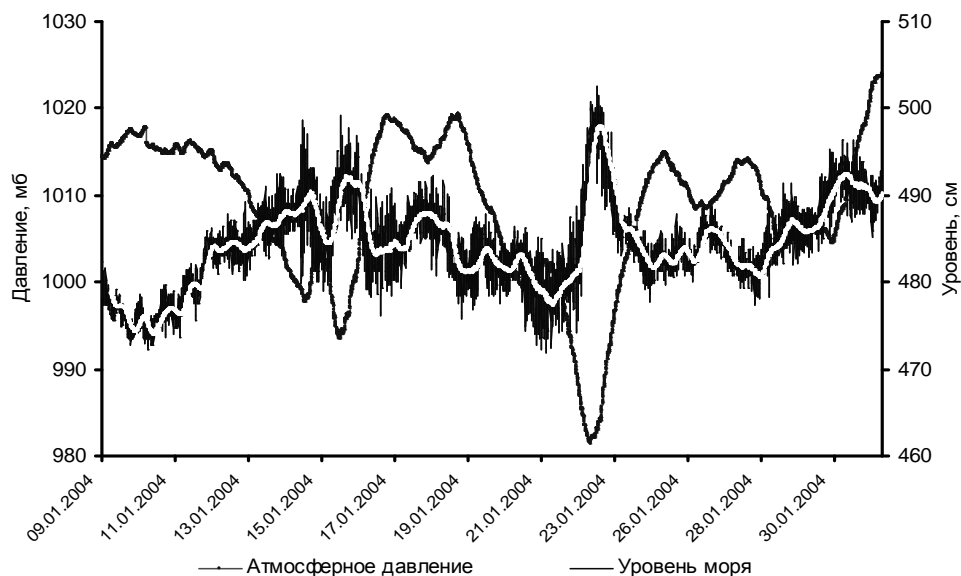
Рис. 13. Совмещенные графики 8-срочных наблюдений и измерений с 5-минутной дискретностью температуры воздуха (*а*), скорости ветра (*б*) и атмосферного давления (*в*).

дателями станции «Севастополь». Графики рис.13 экспортированы непосредственно из окон модуля визуализации АСПГИ.

Несмотря на упомянутые расхождения в показаниях стандартных наблюдений и квазинепрерывных инструментальных измерений, отмечена достаточно высокая сходимость среднесуточных величин, имеющих разную статистическую обеспеченность (соответственно 8 и 288 значений в сутки). Это относится также к данным по уровню и температуре воды, которые измеряются только 4 раза в сутки. Таким образом, среднесуточные значения, полученные на основании выполняющихся на морской сети гидрометслужбы срочных наблюдений, а также среднемесячные и годовые величины, являются достаточно надежной основой полученных ранее режимно-климатических оценок. Тем не менее, совершенно очевидно, что для изучения процессов на масштабах менее суток, исследования механизмов взаимодействия разных гидрометеорологических параметров, а также для оценки характера отклика динамики и структуры морской среды на атмосферные воздействия, целесообразно использовать ряды измерений с малой дискретностью (до нескольких минут).

Выполненные на станции «Севастополь» экспериментальные работы показали, что только такие подробные измерения способны дать достоверное представление о реальной изменчивости уровня моря и термохалинных характеристик в высокочастотной области, о пульсациях метеорологических





Р и с . 1 4 . Совмещенные графики временной изменчивости атмосферного давления и уровня моря (дискретность 5 мин) на станции «Севастополь» в период с 9 по 31 января 2004 г. На реализацию уровня наложен тренд 3-х суточного скользящего осреднения.

параметров, комплексный анализ которых позволит исследовать причинно-следственные связи динамических процессов, необходимые для построения и верификации численных диагностических и прогностических моделей.

В качестве примера приведем фрагменты рядов квазинепрерывных измерений с целью качественного анализа степени вклада колебаний атмосферного давления в изменения уровня моря (бухты). На рис.14 представлены синхронные 20-суточные ряды давления и уровня с 5 мин дискретностью измерений в январе 2004 г. На реализации уровня хорошо выражены цуги сейшевых колебаний, амплитуда которых изменяется от 5 до 20 см. На графике отчетливо видно, что каждый цуг сейш интенсифицируется более или менее резким колебанием тенденции изменения атмосферного давления. При этом большие по амплитуде, но относительно плавные колебания (например, падение давления до 982 мб при прохождении центра циклона 22 января 2004 г.) не вызывают интенсивных сейш.

Тренд 3-х суточного скользящего осреднения реализации уровня показывает, что колебания давления и уровня на масштабах нескольких суток происходят строго в противофазе, а изменения давления на 1 мб приводит к изменению уровня примерно на 1 см. Таким образом, подстройка уровня Севастопольской бухты (и, вероятно, всего Черного моря) происходит, как и в океане, под влиянием эффекта «обратного барометра» [8, 9]. Оценки, полученные на основе стандартных срочных наблюдений, или осредненных на их основе величин, не дают адекватного результата, так как по вышеизложенным причинам и амплитуды и фазы колебаний (в первую очередь уровня воды) искажены. Аналогичные проблемы возможны при анализе тонких эффектов влияния ветрового воздействия на изменения уровня, температуры и солености в прибрежной зоне. Как показали эксперименты, ис-

пользование для подобного анализа рядов среднесуточных величин, рассчитанных по разному числу сроков (метеорологические характеристики – 8 сроков, уровень и температура воды – 4 срока, соленость – 1 срок в сутки) или даже по одинаковому количеству 5-ти минутных измерений, может привести к сдвигу фаз колебаний и, возможно, к некорректным выводам.

Поэтому, при расчетах статистических оценок, спектральных характеристик, анализе фазовых соотношений и когерентности метеорологических и гидрологических параметров наиболее целесообразным представляется использование реализаций квазинепрерывных измерений, или, в зависимости от задач исследований, этих же рядов, сглаженных соответствующими фильтрами.

**Заключение.** Представленная автоматизированная система гидрометеорологических измерений является удобным оперативным инструментом создания надежной информационной основы для океанографических и гидрометеорологических исследований в прибрежной зоне Черного и Азовского морей. Для развития и внедрения в практику подобных современных технологий необходимо дальнейшее углубление сотрудничества в области морской гидрометеорологии между Национальной академией наук, научными и оперативными подразделениями гидрометслужбы Минэкоресурсов Украины.

Полученные в ходе эксплуатации АСПГИ информационные массивы квазинепрерывных измерений могут быть использованы не только для получения обобщенных режимно-климатических характеристик, но и для изучения процессов на масштабах менее суток, исследования механизмов взаимодействия гидрометеорологических процессов, для оценки характера отклика динамики и структуры морской среды на атмосферные воздействия. Детальный анализ полученных за четыре года массивов дискретно-непрерывных данных еще предстоит. Тем не менее, результаты уже выполненного анализа позволили по-новому оценить некоторые динамические процессы в прибрежной полосе Черного моря.

Представленная автоматизированная система может послужить основой для освоения и внедрения на действующей сети береговых станций современной технологии гидрометеорологических измерений, обработки, контроля, анализа данных и является практическим шагом на пути технического переоснащения морской сети Гидрометслужбы Украины. Дальнейшее развитие на базе севастопольских станций разработанного макета автоматизированной системы прибрежных наблюдений позволит завершить отработку всей технологической цепи от измерений, первичной обработки данных до системы сбора, контроля, вторичной обработки и анализа информации. Здесь могут быть отработаны также формы использования данных (как автоматизированных, так и стандартных измерений) в оперативных целях, для режимных исследований и в целях усвоения натуральных данных при численных модельных экспериментах.

Реализация научно-технического переоснащения береговой сети и повышение качества морских наблюдений с помощью поэтапного внедрения новых средств измерения и технологий использования данных позволит Гидрометслужбе Украины существенно повысить уровень гидрометеорологического обеспечения морского промышленно-хозяйственного комплекса и безопасности мореплавания на Азово-Черноморском бассейне.

Авторы выражают благодарность директору МГИ НАН Украины, члену-корреспонденту НАН Украины В.А.Иванову за всестороннюю поддержку работы, а также коллективу морской станции «Севастополь» за активное сотрудничество в ходе установки и эксплуатации измерительных блоков автоматизированной системы наблюдений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ильин Ю.П., Репетин Л.Н.* Система морских наблюдений гидрометслужбы Украины на пути интеграции в Black Sea GOOS // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Глобальная океаническая наблюдательная система Черного моря: контактные измерения. Вклад Украины в Black Sea GOOS.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.2(7).– С.18-30.
2. *Ліпінський В.М., Манукало В.Ш., Крамаренко П.Д.* Основні напрямки науково-технічного розвитку Державної гідрометеорологічної служби України // Матеріали міжнародної конференції "Гідрометеорологія і охорона навколишнього середовища-2002".– Одеса: ОГЕУ, 2002.– С.13-14.
3. *Гайский В.А., Греков Н.А., Гайский П.В., Забурдаев В.И., Мишууров В.Ж., Пеньков В.Н., Клідзио А.Н., Трофименко В.А.* Измеритель уровня моря // Системы контроля окружающей среды.– 2001.– С.67-70.
4. *Щипцов А.А., Зима В.В., Коломойцев М.М., Новичихина А.Н.* Морской гидрографический полигон // Глобальная система наблюдений Черного моря: фундаментальные и прикладные аспекты. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– С.97-108.
5. *Зима В.В., Иванов В.А., Кондратьев С.И., Кузнецов А.С., Лисиченко А.Д., Серебряный А.Н., Чепыженко А.И.* Наблюдательный полигон за гидрологическими, гидрохимическими и гидрооптическими характеристиками вод в прибрежной зоне Южного берега Крыма в 2001 – 2002 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Глобальная океаническая наблюдательная система Черного моря: контактные измерения. Вклад Украины в Black Sea GOOS.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2003.– вып.2(7).– С.49-59.
6. *Зима В.В., Репетин Л.Н.* Опыт цифровой регистрации измерений уровня моря на основе стандартной поплавковой системы «СУМ» гидрометстанции Севастополь // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2005.– настоящий выпуск.
7. *Горячкин Ю.Н., Иванов В.А., Репетин Л.Н., Хмара Т.В.* Сейши в Севастопольской бухте // Труды УкрНИГМИ.– 2003.– 250.– С.342-353.
8. *Лемешко Е.М., Иванов В.А., Белокопытов В.Н., Горячкин Ю.Н.* Локальный отклик уровня Черного моря на атмосферное воздействие в прибрежной зоне // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа.– Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2000.– С.53-62.
9. *Garret C, Majaess F.* Nonisostatic response of sea level to atmospheric pressure in the Eastern Mediterranean // J. Phis. Oceanogr.– 1983.– 14.– P.656-665.

Материал поступил в редакцию 15.03.2005 г.