

7. Cheban, Anton Jur'evich, G. V. Sekisov, and N. P. Khrunina. "Structural analysis of the machinery and equipment fleet for construction rock mining in the southern part of the Far East Region." *Mining Industry Journal* 4(110) (2013): 26.
8. Cheban, Anton Ju., I. Ju. Raskazov, and V. S. Litvintsev. "Analysis of the Amur region mining enterprises machinery park." *Mine surveying and subsurface use* 2 (2012): 41–50.
9. Adamov, Evgenij Ivanovich, N. S. Otdelkin, and S. N. Sikarev. "Device reduces losses in bulk cargo reloading grabbing crane." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 129–133.
10. Alekseev, Anton Vladimirovich. "Analysis of structure of modern warehouses of bulk cargo." *Science and Technology in Transport* 3 (2013): 84–87.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Чебан Антон Юрьевич —
кандидат технических наук, доцент.
Институт горного дела ДВО РАН
chebanay@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Cheban Anton Yurievich —
PhD, associate professor.
Mining Institute
chebanay@mail.ru

Статья поступила в редакцию 10 февраля 2016 г.

УДК 528.472; 528.475; 551.461

А. А. Елагин,
А. Л. Демидов

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ УРОВНЯ МОРЯ ПРИ ГИДРОГРАФИЧЕСКИХ РАБОТАХ

В статье рассматриваются методы определения колебаний уровня моря, используемые при производстве гидрографических работ. Приведен детальный анализ каждого метода. Для каждого метода представлены аппаратные средства, используемые для определения колебаний уровня моря. Раскрываются особенности, преимущества и недостатки каждого метода. На основе проведенного анализа предложена классификация методов определения колебаний уровня моря при гидрографических работах. Обобщен новый материал по исследуемой теме с учетом последних достижений научно-технического прогресса. Предложенная классификация дает возможность выбора наиболее рационального способа определения колебаний уровня моря с учетом характеристик окружающей среды и технических возможностей при производстве работ. Выбор рационального метода приводит к уменьшению материальных затрат и получению данных, удовлетворяющих по точности и качеству действующим нормативным документам, что обладает огромной практической значимостью и актуальностью при планировании и производстве морских инженерных изысканий.

Ключевые слова: гидрографические съемки, ноль глубин, уровень моря, мареограф, спутниковая альтиметрия, кинематика реального времени.

Введение

При выполнении промерных работ глубины измеряются от поверхности воды, положение которой по высоте непрерывно изменяется. Поэтому для получения глубин в одной системе счета их приводят к определенному отсчетному горизонту воды. В связи с этим для производства промерных работ необходимо в исследуемой акватории организовать и провести уровенные наблюдения (установка постоянных и временных уровенных постов, их привязка и наблюдение за уровнем) для приведения измеряемых глубин к поверхности, принятой за отсчетную (ноль глубин). В настоящее время существуют несколько методов учета колебаний уровня моря, которые имеют

различный алгоритм производства наблюдений и расчета поправок в измеряемую глубину. В существующих научных публикациях не представлен детальный анализ методов определения колебаний уровня моря при производстве гидрографических работ, в особенности остаются не освещенными технологии, в основе которых лежат последние достижения научно-технического прогресса. В связи с этим создание классификации методов производства уровенных наблюдений позволит упростить выбор необходимого варианта реализации поставленной задачи при наименьших материальных затратах и получить данные, удовлетворяющие по точности и качеству нормативным документам [1] – [6].

Основная часть

В основе наиболее простого метода измерения колебаний уровня моря для введения поправок в измеренную глубину лежит использование уровенных постов *речного и свайного типа* [7]. Результаты измерений снимаются вручную и регистрируются в специальном журнале. В укрытом от волнения месте и при пологом профиле можно устраивать свайный пост, состоящий из ряда свай, устанавливаемых в створе перпендикулярно береговой линии. Наблюдения на свайном посту ведутся при помощи переносной рейки. В некоторых случаях, когда условия местности затрудняют организацию устройства свайного или речного поста, можно устраивать комбинированный (свайно-речный) уровенный пост. В зимних условиях при сплошном не дрейфующем ледовом покрове и отсутствии сильных течений можно устраивать уровенный пост на льду. Главным преимуществом данного метода является низкая стоимость организации уровенных наблюдений, а также простота в установке и использовании, а его недостатком является невозможность получения данных о приливах в реальном времени.

Развитие средств наблюдений шло в направлении создания самописцев для автоматической регистрации уровня моря. Наиболее простым автоматическим мареографом является *поплавковый мареограф*, принцип работы которого основан на преобразовании вертикальных перемещений поплавка в пропорциональные перемещения пера, записывающего их на диаграммной ленте (мареограмме). Преимуществом данного метода является высокая точность измерений, недостатком — использование успокоительного колодца.

Следующим, принципиально отличающимся от рассмотренного ранее, способом является метод определения колебаний уровня моря с помощью *гидростатических мареографов*, в конструкции которых заложен принцип хорошо известного барометра-анероида [8]. Чувствительные датчики таких приборов реагируют на колебания гидростатического давления, которые происходят при изменениях уровня моря. Существует два типа гидростатических датчиков. Первый тип основан на применении тензорезисторных датчиков, когда при изменении гидростатического давления происходит изменение емкостного сопротивления. Второй тип основан на применении кварцевых элементов, в которых при изменении давления происходит изменение резонансной частоты, после чего результирующий сигнал с частотой, пропорциональной приложенному давлению, передается по сигнальному кабелю в блок управления, где происходит его конвертация в единицы измерения давления. Переход от давления к линейным величинам осуществляется по следующей формуле [9]:

$$h = \frac{P - P_a}{\rho g}, \quad (1)$$

где P — измеренное давление; P_a — атмосферное давление; ρ — плотность воды; g — ускорение свободного падения.

Согласно данным источника [10], для более точной конвертации необходимо рассчитать ускорение свободного падения для места, где установлен мареограф, которое является функцией от широты φ . Гидростатические мареографы используются при производстве уровенных наблюдений как на берегу (стационарно), так и в условиях открытого моря. Датчики стационарных моделей мареографов устанавливаются в колодцах или на подводных конструкциях гидротехнических сооружений, а регистрирующая часть прибора размещается в будке водомерного поста. Примером

такого типа мареографов являются Valeport 740 Portable Water Level Recorder, разработанные английской компанией Valeport Ltd. В состав данного устройства входит датчик и регистрирующий блок со встроенными элементами электропитания, а также программного обеспечения TideLog, с помощью которого осуществляется программирование прибора и скачивание собранных данных. Опционально возможно подключение к радиомодему и радиоантенне для передачи данных об уровне моря удаленному пользователю.

В гидростатических донных мареографах измеряющие и регистрирующие устройства смонтированы в одном водонепроницаемом корпусе, и конструкция-связка, состоящая из мареографа, акустического размыкателя, груза и поплавков, устанавливается на дне. Примером таких регистраторов уровня моря могут служить гидростатические мареографы Valeport miniTide Self Recording Tide Gauge, RBR Duo, разработанные канадской компанией RBR Ltd, и гидростатический мареограф Seaguard WLR, разработанный норвежской компанией AANDERAA. Основные технические характеристики указанных мареографов приведены в табл. 1. Данные устройства спроектированы таким образом, чтобы они могли обеспечивать автономные непрерывные измерения колебаний уровня моря в течение длительного промежутка времени.

Таблица 1

Технические характеристики гидростатических мареографов

Название	Тип	Точность измерения давления, %	Диапазон глубин, м	Наличие датчика температуры
Valeport 740	Стационарный	±0,01	До 20	Нет
Valeport miniTide	Открытого моря	±0,01	До 6000	Нет
RBR Duo	Стационарный / Открытого моря	±0,05	До 50	Да
Seaguard WLR	Открытого моря	±0,02	До 6000	Да

Гидростатические мареографы широко используются при организации уровенных наблюдений, так как позволяют полностью автоматизировать данный процесс и получить высокоточные данные. Различные типы мареографов позволяют выполнять наблюдения за уровнем как в прибрежной зоне на водомерных постах, так и на большом удалении от берега. Однако необходима регистрация изменений атмосферного давления для корректной конвертации гидростатического давления столба воды в глубину моря.

Еще одним способом определения колебаний уровня моря является метод с использованием радиолокационных мареографов [11] – [13], работающих в К-диапазоне электромагнитных волн (диапазон частот сантиметровых волн 18 – 26,5 ГГц, что соответствует длине волн от 1,67 см до 1,13 см). Из-за особенностей этого диапазона (высокая степень атмосферного поглощения и небольшая длина волны), радиолокационные мареографы способны работать на малых расстояниях и производить измерения сверхвысокого разрешения. Одной из отличительных особенностей данных мареографов является то, что приемно-передающая антенна устройства устанавливается над водной поверхностью, что упрощает процесс установки прибора и уменьшает отрицательное влияние окружающей среды. По принципу действия радиолокационные мареографы разделяются на две категории: в основе первой лежит принцип *динамической рефлектометрии*, т. е. измерение времени прохождения сигнала от фазового центра антенны до поверхности воды и обратно (время прохождения сигнала пропорционально расстоянию). Принцип частотно-модулируемого сигнала непрерывного колебания используется в мареографах второй категории и вычисление высоты фазового центра антенны над водой, согласно данным источников [14], [15], производится исходя из измерения разности частот df между излученным и отраженным сигналами (рис. 1).

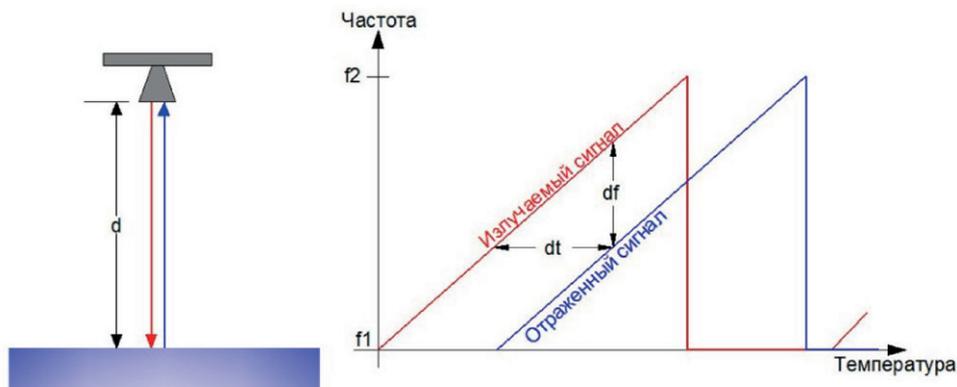


Рис. 1. Принцип работы радиолокационного мареографа, основанного на принципе частотно-модулируемого сигнала непрерывного колебания

Примером радиолокационных мареографов являются OTT RLS и CS 475-L, разработанные американскими компаниями OTT Hydromet и Campbell Scientific, а также VRS20 Radar Level Gauge компании Valeport Ltd. В табл. 2 приведены технические характеристики данных устройств.

Таблица 2

**Технические характеристики
радиолокационных мареографов**

Название	Частота	Диапазон, м	Точность	Ширина луча, град.
OTT RLS	24 ГГц (CE) 25 ГГц (FFC)	0,4 – 35	0,4 – 2,0 м – ±10 мм 2,0 – 30 м – ±3 мм 30 – 35 м – ±10 мм	12
CS 475-L	~26 ГГц	0,05 – 20	±5 мм	10
VRS20	25 ГГц	0,8 – 20	±10 мм	12

Благодаря высокой точности измерений и простоте установки данный метод получил широкое распространение при организации уровневых наблюдений на нефтегазопромысловых платформах и других гидротехнических сооружениях. В отличие от гидростатических мареографов, для конвертации данных нет необходимости учета поправок за давление морской воды и атмосферное давление, что упрощает их обработку и интерпретацию. Единственным недостатком является отсутствие возможности организации наблюдений в условиях открытого моря.

Рассмотрим также метод определения уровня моря, основанный на использовании акустических мареографов [9]. Приемо-передающая антенна располагается так же, как и у радиолокационных мареографов, над поверхностью воды и измеряет расстояние до её поверхности. Однако основой данного метода является использование акустических преобразователей, требующее дополнительных измерений скорости распространения звука в воздухе. В связи с этим на качество данных оказывает сильное влияние изменение температуры и влажности, что делает необходимым организацию дополнительных измерений этих параметров. Также для уменьшения влияния окружающей среды и калибровки датчика рекомендуется использование зондирующей трубки. Принцип действия акустического мареографа можно рассмотреть на примере акустического мареографа Aquatrak 5000, разработанного американской компанией Aquatrak Corporation (рис. 2).

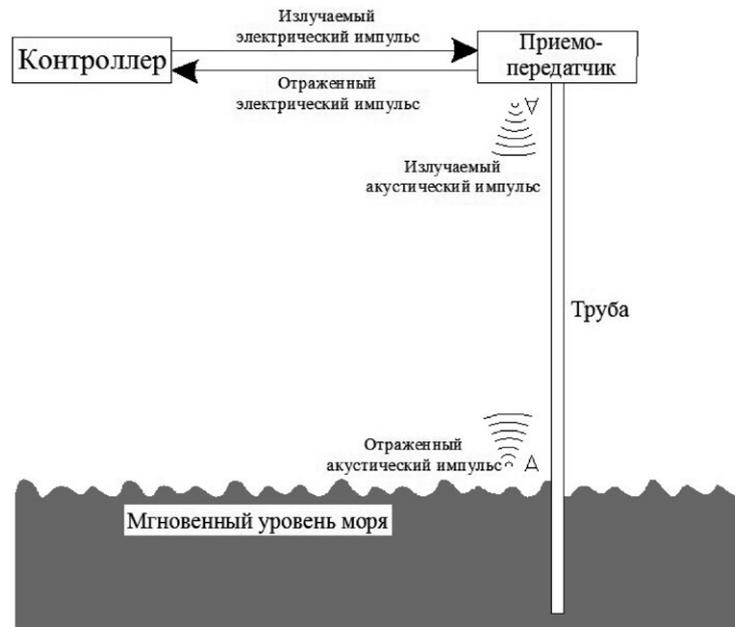


Рис. 2. Принцип работы акустического мареографа

Работа акустического мареографа основана на преобразовании электрической энергии от генератора импульсов в акустическую энергию, которая излучается и отражается от водной поверхности и регистрируется приемопередатчиком. Результирующая наблюдаемая величина временного интервала между моментами излучения и приема t используется для расчета высоты уровня моря по формуле, используемой в источнике [16]:

$$h = 0,5tc, \quad (2)$$

где c — скорость распространения звука в воздухе.

Акустические мареографы позволяют выполнять высокоточные уровенные измерения, однако имеют ряд недостатков относительно радиолокационных мареографов. К таким недостаткам следует отнести высокую подверженность влиянию изменений температуры и влажности воздуха на качество собираемых данных, а также отсутствие возможности организации наблюдений в условиях открытого моря.

В связи с развитием космических технологий у современной науки появилась возможность осуществлять дистанционное зондирование поверхности Земли с борта космического аппарата. Методика измерения расстояний от космического объекта до водной (земной) поверхности получила название спутниковой альтиметрии [8]. Спутниковая альтиметрия – один из важнейших активных методов мониторинга динамической топографии Мирового океана, позволяющий также проводить оценку высоты поверхностных волн и скорости приводного ветра. Данный метод изначально разрабатывался применительно к условиям открытого океана на расстоянии от берега не менее 20 км [17] – [19], где он обеспечивает заявленную точность измерений. Спутниковые альтиметрические наблюдения на регулярной основе проводятся с середины 1980-х гг. XX в. Среди них необходимо выделить следующие программы: серия российских спутников ГЕОИК, спутники Европейского космического агентства ERS-1, ERS-2, ENVISAT, а также спутники TOPEX / Poseidon (T/P) и Jason 1, 2, функционирующие в рамках международной программы мониторинга топографии поверхности Мирового океана. В последние годы активно обсуждаются возможности приложений спутниковой альтиметрии для мониторинга прибрежной зоны, внутренних водоемов и поверхности суши [20] – [22].

Основные программы спутниковой альтиметрии можно условно разделить на два типа. Первые направлены на решение геодезических задач: уточнение формы и высот геоида и гравита-

ционного поля Земли, вторые — на осуществление мониторинга изменчивости высоты морской поверхности. Для решения геодезических задач параметры орбиты подбираются таким образом, чтобы плотность покрытия подспутниковыми трассами (треками) Мирового океана была максимальной в пределах нескольких километров. Изомаршрутные программы предполагают повторяемость трасс в пределах ± 1 км через определенный период времени, позволяя реализовать режим повторных измерений по сетке равномерно расположенных по поверхности Земли треков. Изомаршрутные программы направлены, в первую очередь, на решение задач мониторинга пространственно-временной изменчивости высоты морской поверхности или уровня океана [23]. Геометрия измерений, проводимых альтиметром или радиовысотомером, приведена на рис. 3.

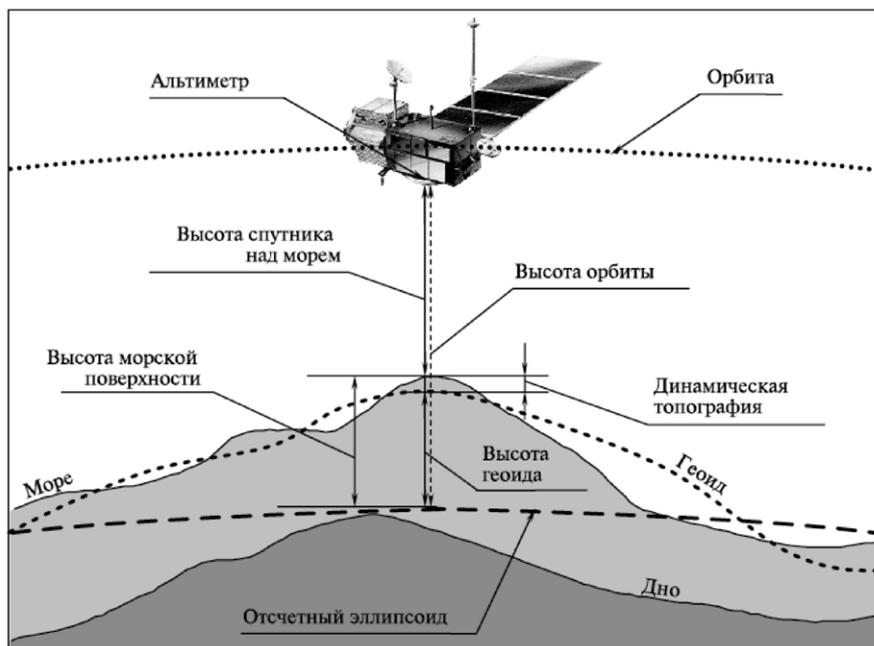


Рис. 3. Схема альтиметрических измерений

Поверхность, относительно которой определяются все остальные, называется отсчетным эллипсоидом, или эллипсоидом вращения, центр которого совпадает с центром тяжести Земли. Высота морской поверхности относительно отсчетного эллипсоида рассчитывается по формуле, приведенной в источнике [23]:

$$h_{\text{ВМП}} = h_{\text{ВОС}} - h_{\text{ВСМ}}, \quad (3)$$

где $h_{\text{ВОС}}$ — высота орбиты спутника; $h_{\text{ВСМ}}$ — высота спутника над морем, полученная в результате обработки данных альтиметрии.

Помимо высоты морской поверхности для решения многих задач используются аномалии высоты морской поверхности:

$$h_{\text{АВМП}} = h_{\text{ВМП}} - h_{\text{СВМП}}, \quad (4)$$

где $h_{\text{СВМП}}$ — средняя высота морской поверхности (СВМП), которая рассчитывается, согласно данным источника [24], путем осреднения данных, полученных в результате альтиметрических измерений одного или нескольких спутников.

Уточнение высот геоида $h_{\text{ГЕОИД}}$ в открытом океане (или его формы) является одной из основных задач, решение которой является целью спутниковой альтиметрии. Отклонение морской поверхности от геоида в силу его определения (как невозмущенной поверхности океана) называется *динамической топографией*, или *уровнем океана*,

$$h_{\text{ДИН}} = h_{\text{ВМП}} - h_{\text{ГЕОИД}}. \quad (5)$$

Для более корректного расчета высоты морской поверхности необходим ряд поправок dh , куда входят поправки, связанные с прохождением радиосигнала через атмосферу, инструментальные поправки и состояние подстилающей поверхности:

$$h'_{\text{ВМП}} = h_{\text{ВОС}} - h_{\text{ВСМ}} - \sum dh. \quad (6)$$

Следует отметить, что точность измерения высоты спутника над морской поверхностью для альтиметрических спутников Т/Р и Jason 1, 2 в условиях открытого океана относительно отсчетного эллипсоида очень высока и достигает 1,7 см, а уровень океана относительно отсчетного эллипсоида, согласно данным источников [17], [19], [25], [26], определяется с точностью 3,4 см. Однако в связи с тем, что минимальная дискретность по времени производства измерений в определенной акватории, согласно данным источника [23], равна трем суткам, данный метод нельзя использовать в гидрографии, но он может быть использован для уточнения положения уровня океана, а также для проведения контроля качества уровенных измерений.

В связи развитием спутниковых радионавигационных систем второго поколения (GPS, ГЛОНАСС, Galileo и т. д.), а также смежных отраслей науки в современной гидрографии появилась возможность учитывать поправки в измеряемую глубину за колебания уровня моря непосредственно во время производства промерных работ без установки уровенных постов. Это стало возможным благодаря развитию технологии *кинематики реального времени* (КРВ), которая обеспечивает геодезическую высоту мгновенной поверхности моря в точке измерения глубины с сантиметровой точностью, что, в свою очередь, согласно данным источников [27] – [29], делает возможным вычисление в реальном времени поправки за приведение измеренной глубины к выбранному нулю глубин.

В состав КРВ-системы входит референсная станция (база), расположенная на берегу в точке с точно определенными геодезическими координатами, и роверная станция, установленная на судне. Каждая станция включает ГНСС-приемники, а также устройства приема-передачи информации по радиоканалам (радиомодемы, радиоантенны). Ключевой особенностью КРВ является способность разрешения неоднозначности, т. е. определение целого количества циклов во время движения ровера, установленного на судне. Для реализации данного принципа используется комбинация данных L1 и L2. Ключевым условием стабильного функционирования КРВ-технологии является максимально одинаковое созвездие отслеживаемых навигационных искусственных спутников Земли (НИСЗ). Данное условие достигается при удалении референционной и роверной станций до 20 км. Согласно данным источника [27], на расстоянии между базой и ровером до 15 км плановые координаты могут быть определены с точностью 5 – 8 см, а геодезическая высота до 10 см может быть определена на уровне 95 % доверительной вероятности. Данный метод позиционирования и определения поправок за колебания уровня моря получил широкое распространение при производстве прибрежных инженерных изысканий и обладает высокой точностью определения плановых и высотных геодезических координат. Однако КРВ-технология не может быть использована при выполнении гидрографических работ в условиях открытого моря при удалении от берега свыше 20 км.

В статье [30] приведена теоретическая основа метода определения уровня моря при помощи спутниковых радионавигационных систем второго поколения без применения КРВ-технологии, суть которого состоит в расчете исправленной геодезической (эллипсоидальной) высоты антенны за углы крена и дифферента, а также за динамическое проседание судна, после чего становится возможным переход от высоты антенны к фактическому уровню моря с последующим приведением к выбранному нулю глубин. Для реализации данного метода необходимо использовать спутниковый приемник с подключенным дифференциальным сервисом, компенсатор качки и датчик осадки, установленные на судне. Главной отличительной особенностью данного метода от кинематики реального времени является то, что он может быть использован на любом удалении от берега, однако так же, как и для КРВ-технологии, для его практической реализации необходимо определение расстояния между используемым эллипсоидом и выбранным нулем глубин (для пе-

рехода от геодезической высоты к нулю глубин). В связи с тем, что в основе данного метода лежит определение геодезической высоты, ему можно присвоить название *спутниково-геодезический*.

Результаты проведенного исследования

Таким образом, по результатам проведенного исследования все устройства, предназначенные для организации уровенных наблюдений по методике производства измерений, можно классифицировать следующим образом:

- речечно-свайные;
- поплавковые;
- гидростатические;
- радиолокационные;
- акустические;
- спутниковая альтиметрия;
- кинематика реального времени (КРВ);
- спутниково-геодезические.

Результаты проведенного исследования сведены в табл. 3, где отражены преимущества и недостатки каждого рассмотренного метода, а также приведены точностные характеристики и районы применения.

Таблица 3

Анализ методов определения колебаний уровня моря

Название	Применение	Точность	Преимущества	Недостатки
Речечно-свайный	Порты, причалы, в условиях отсутствия гидротехнической инфраструктуры	± 1 см	Низкая стоимость, простота в установке и обслуживании поста	Ручная регистрация измерений
Поплавковый	Порты, причалы, в условиях отсутствия гидротехнической инфраструктуры	± 1 см	Относительно низкая стоимость, простота в установке и обслуживании	Невозможность использования при больших уклонах рельефа дна
Гидростатический	Повсеместно	$\pm 0,05$ % от верхней границы диапазона измерения	Высокая точность, относительно низкая стоимость, возможность использования в условиях открытого моря	Организация параллельных наблюдений за атмосферным давлением и плотностью воды
Радиолокационный	Порты, причалы и др. гидротехнические сооружения	± 1 см	Высокая точность измерений, простота установки, независимость от изменений окружающей среды	Невозможность использования в условиях открытого моря
Акустический	Порты, причалы и другие гидротехнические сооружения	± 1 см	Высокая точность	Организация параллельных измерений температуры и влажности воздуха, сложность в установке

Таблица 3
(Окончание)

Спутниковая альтиметрия	Теоретически повсеместно	±5 см	Повсеместное использование, высокая точность	Большая временная производства измерений (один раз в трое суток)
КРВ	Прибрежные районы	±5 см	Моментальное приведение измеренной глубины к отсчетной поверхности	Ограниченный радиус применения (<20 км)
Спутниково-геодезический	Теоретически повсеместно	±10 см	Относительная малая стоимость, повсеместность использования, поправки за уровень могут быть вычислены моментально	Необходимость расчета ортометрической высоты (расстояние между отсчетным уровнем и эллипсоидом)

Выводы

1. При планировании и производстве инженерных изысканий исполнитель работ получит возможность использовать сводную таблицу характеристик методов определения колебаний уровня моря и рекомендации по их применению.

2. Предлагаемый анализ позволит выбрать наиболее рациональный метод определения колебаний уровня моря с учетом физико-географических особенностей окружающей среды и технических возможностей при производстве работ.

3. Выбор данного метода приведет к уменьшению материальных затрат и получению данных, удовлетворяющих по точности и качеству действующим нормативным документам, что имеет большую практическую значимость и актуальность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. РД 31.74.04-2002. Технология промерных работ при производстве дноуглубительных работ и при контроле глубин для безопасности плавания судов в морских портах и на подходах к ним. — М.: Министерство транспорта Российской Федерации, 2002. — 88 с.
2. СП 11-114-2004. Инженерные изыскания на континентальном шельфе для строительства морских нефтегазопромысловых сооружений. — М.: ФГУП «ПНИИИС» Госстроя России, 2004. — 88 с.
3. Правила гидрографической службы № 5. Ч. 1. Составление и издание морских карт. — СПб.: УНиО МО РФ, 2009. — 306 с.
4. Правила гидрографической службы № 4. Съёмка рельефа дна судоходных морских и речных акваторий. — СПб.: УНиО МО РФ, 2014. — 314 с.
5. IHO manual on Hydrography. Publication C-13, 1-st Edition. — Monaco: International Hydrographic Bureau, 2011. — 511 p.
6. Guidelines for The Use of Multibeam Echosounders for Offshore Surveys. — London: International Marine Contractors Association, 2015. — S 003. — Rev.2. — 54 p.
7. Testut L. The sea level at port-aux-Francais, Kergulen Island, from 1949 to the present / L. Testut, G. Wöppelmann, B. Simon, P. Téchiné // Ocean Dynamics. — 2006. — Vol. 56. — Is. 5. — Pp. 464–472. DOI: 10.1007/s10236-005-0056-8.
8. Деев М. Г. Уровень как индикатор изменений состояния Мирового океана / М. Г. Деев // География. Первое сентября. — 2010 г. — № 6.

9. Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Volume IV. — 2006. — 80 p.
10. *Воротилина М. И.* Влияние ускорения свободного падения на выбор места строительства космодрома / М. И. Воротилина // *Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире.* — 2015. — № 12-1. — С. 161–164.
11. *Woodworth P. L.* A one year comparison of radar and bubbler tide gauges at Liverpool / P. L. Woodworth, D. E. Smith // *International hydrographic review.* — 2003. — Vol. 4. — № 3. — Pp. 2–9.
12. *Miguez B. M.* The use of Radar tide gauges to measure variations in sea level along the French coast / B. M. Miguez, R. L. Roy, G. Wöppelmann // *Journal of coastal research.* — 2008. — Vol. 24. — Is. 4A. — Pp. 61–68. DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/06-0787.1>
13. *Blasi C. J.* A new technology for the measurement of the sea level and the sea state / C. J. Blasi // *Environmental geology.* — 2009. — Vol. 57. — Is. 2. — Pp. 331–336.
14. *Poffa N.* Evolution instrumentale des maregraphes du reseau / N. Poffa, S. Enet, J. C. Kerinec // *JNGCGC.* — 2012. — № 66. — Pp. 611–618.
15. *Simon B.* La maree oceanique cotiere / B. Simon. — Paris: Institut Oceanographique, 2007. — 433 p.
16. *Фирсов Ю. Г.* Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров / Ю. Г. Фирсов. — СПб.: Нестор-История, 2010. — 348 с.
17. *Троицкая Ю. И.* Спутниковая альтиметрия внутренних водоемов / Ю. И. Троицкая, Г. В. Рыбушкина, И. А. Соустова [и др.] // *Водные ресурсы.* — 2012. — Т. 39. — № 2. — С. 169.
18. *Chelton D. B.* Satellite Altimetry. In: *Satellite Altimetry and the Earth Sciences: A Handbook of Techniques and Applications* / D. B. Chelton, J. Ries, B. Haines, L. L. Fu, P. Callahan. — San Diego: Academic Press, 2001. — Pp. 1–131.
19. *OSTM/Jason-2 Products Handbook.* Iss: 1.9. — 2015. — 65 p.
20. *Deng X.* A coastal retracking system for satellite radar altimeter waveforms: Application to ERS-2 around Australia / X. Deng, W. E. Featherstone // *Journal of Geophysical Research.* — 2006. — Vol. 111. — Is. C6. — Pp. 1–16. DOI: [10.1029/2005JC003039](https://doi.org/10.1029/2005JC003039)
21. *Legresy B.* ENVISAT radar altimeter measurements over continental surfaces and ice caps using the ICE-2 retracking algorithm / B. Legresy, F. Papa, F. Remy, G. Vinay, M. van den Bosch, O. Z. Zanife // *Remote Sensing of Environment.* — 2005. — Vol. 95. — Is. 2. — Pp. 150–163. DOI: [10.1016/j.rse.2004.11.018](https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.11.018)
22. *Papa F.* Use of the Topex-Poseidon dualfrequency radar altimeter over land surfaces / F. Papa, B. Legrésy, F. Rémy // *Remote Sensing of Environment.* — 2003. — Vol. 87. — № 2–3. — Pp. 136–147. DOI: [10.1016/S0034-4257\(03\)00136-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00136-6)
23. *Лаврова О. Ю.* Комплексный спутниковый мониторинг морей России / О. Ю. Лаврова, А. Г. Костяной, С. А. Лебедев [и др.]. — М.: Институт космических исследований РАН, 2011. — 472 с.
24. *Лебедев С. А.* Спутниковая альтиметрия Каспийского моря / С. А. Лебедев, А. Г. Костяной. — М.: РАН Институт океанологии им. П. П. Ширшова, 2005. — 353 с.
25. *Лебедев С. А.* Динамика Каспийского моря по данным спутниковой альтиметрии / С. А. Лебедев // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса.* — 2015. — Т. 12. — № 4. — С. 72–85.
26. *Kouraev A. V.* Satellite Altimetry Application in the Caspian Sea, Coastal Altimetry / A. V. Kouraev, J.-F. Crétaux, S. A. Lebedev, A. G. Kostianoy, A. I. Ginzburg, N. A. Sheremet, R. Mamedov, E. A. Zakharova, L. Roblou, F. Lyard, S. Calmant, M. Bergé-Nguyen // *Coastal altimetry.* — Springer Berlin Heidelberg, 2011. — Pp. 331–366. DOI: [10.1007/978-3-642-12796-0_13](https://doi.org/10.1007/978-3-642-12796-0_13).
27. *Фирсов Ю. Г.* Методы использования спутниковой аппаратуры, реализующей режим кинематики реального времени (РТК) для определения поправок за уровень / Ю. Г. Фирсов // *Эксплуатация морского транспорта.* — 2007. — № 1. — С. 21–26.
28. *Sander P.* RTK tide basic / P. Sander // *HYDRO International.* — 2003. — Vol. 7. — № 10. — Pp. 26–29.
29. *Фирсов Ю. Г.* Определение высоты уровня моря в геоцентрической системе с использованием высокоточного спутникового сервиса С-NAV / Ю. Г. Фирсов, М. В. Иванов // *Геодезия и гидрография.* — 2007. — № 6. — С. 55–64.
30. *Волков В. В.* Определение уровня моря при помощи спутниковых радионавигационных систем второго поколения / В. В. Волков, А. А. Елагин, А. Л. Демидов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова.* — 2015. — № 6 (34). — С. 93–99.

ANALIS OF SEA LEVEL DETERMINATION METHODS USED HYDROGRAPHIC SURVEYS

In this article discusses methods for determining the sea level fluctuations, used in the production hydrographic survey. Given in-depth analysis of each method. Presented hardware for each method is used for sea level determination. features, advantages and disadvantages of each method are given. Based on the analysis methods for determining of sea level fluctuations is proposed the classification during hydrographic surveys. Generalizes new material on investigated theme, taking into account the latest achievements of scientific and technical progress. This classification makes it possible to select the most efficient method for determining the fluctuations of sea level, taking into account characteristics of the environment and technical capabilities in the production of works. The choice of a rational method reduces material costs and receive data satisfying the accuracy and quality of the existing regulations, which has enormous practical importance and relevance in the planning and production of marine engineering surveys.

Keywords: hydrographic survey, chart datum, sea level, tide gauge, satellite altimetry, real time kinematic.

REFERENCE

1. Russian Federation. RD 31.74.04-200. Tehnologiya promernyh rabot pri proizvodstve dnouglubitelnyh rabot i pri kontrole glubin dlya bezopasnosti plavaniya sudov v morskikh portah i na podhodax k nim. M.: Ministerstvo transporta Rossiiskoy Federatsii, 2002.
2. Russian Federation. Set of regulations SP 11-114-2004. Inzhenernye izyskaniya na kontinentalnom shelfe dlya stroitelstva morskikh neftegazopromyslovyh sooryzheniy. M.: FGUP PNIIS Glavstroj Rossii, 2004.
3. *Pravila gidrograficheskoy sluzhby №5. Sostavlenie i izdanie morskikh kart. Ch.1.* SPb.: UNIO MO RF, 2009.
4. *Pravila gidrograficheskoy sluzhby №4. Sjemka reljefa sudohodnyh morskikh I rechnyh akvatorij.* SPb.: UNIO MO RF, 2014.
5. *IHO manual on Hydrography.* Publication C-13, 1-st Edition. Monaco: IHO, 2011.
6. *Guidelines for The Use of Multibeam Echosounders for Offshore Surveys.* London: International Marine Contractors Association, 2015. S 003. Rev.2.
7. Testut, L., G. Wöppelmann, B. Simon, and P. Téchiné. "The sea level at port-aux-Francais, Kergulen Island, from 1949 to the present." *Ocean Dynamics* 56.5 (2006): 464–472. DOI: 10.1007/s10236-005-0056-8
8. Deev, M. G. "Uroven kak indikator izmenenij sostoyaniya mirovogo okeana." *Geografiya. Pervoye sentyabrya* 6 (2010).
9. *Manual on Sea Level Measurement and Interpretation. Volume IV.* 2006.
10. Vorotilina, M. I. "Influence of acceleration of gravity on the choice of the site of the spaceport." *Fundamentalnye I prikladnye issledovaniya v sovremennom mire* 12-1 (2015): 161–164.
11. Woodworth, P. L., and D. E. Smith. "A one year comparison of radar and bubbler tide gauges at Liverpool." *International hydrographic review* 4.3 (2003): 2–9.
12. Mígueza, Belén Martín, Ronan Le Royb, and Guy Wöppelmann. "The use of Radar tide gauges to measure variations in sea level along the French coast." *Journal of coastal research* 24.4A (2008): 61–68. DOI: <http://dx.doi.org/10.2112/06-0787.1>.
13. Blasi, C. J. "A new technology for the measurement of the sea level and the sea state." *Environmental geology* 57.2 (2009): 331–336.
14. Poffa, Noé, Séverine Enet, and Jean-Claude Kerinec. "Evolution instrumentale des maregraphes du reseau." *JNGCGC* 66 (2012): 611–618.
15. Simon, B. *La maree oceanique cotiere.* Paris: Institut Oceanographique, 2007.
16. Firsov, Yu. G. *Osnovy gidroakystiki I ispolzovaniya gidrograficheskikh sonarov.* SPb: Nestor-istoriya, 2010.
17. Troitskaya, Y. I., G. V. Rybushkina, I. A. Soustova, G. N. Balandina, S. A. Lebedev, A. G. Kostyanoi, A. A. Panyutin and L. V. Filina. "Satellite altimetry of inland water bodies." *Water Resources* 39.2 (2012): 184–199.
18. Chelton D. B., J. Ries, B. Haines, L. L. Fu, and P.Callahan. Satellite Altimetry. In: *Satellite Altimetry and the Earth Sciences: A Handbook of Tech-niques and Applications.* San Diego: Academic Press, 2001.

19. *OSTM/Jason-2 Products Handbook. Iss: 1.9.* 2015.
20. Deng, X., and W. E. Featherston. "A coastal retracking system for satellite radar altimeter waveforms: Application to ERS-2 around Australia." *Journal of Geophysical Research* 111.C6 (2006): 1–16.
21. Legresy, B., F. Papa, F. Remy, G. Vinay, M. van den Bosch, and O. Z. Zanife. "ENVISAT radar altimeter measurements over continental surfaces and ice caps using the ICE-2 retracking algorithm." *Remote Sensing of Environment* 95.2 (2005): 150–163. DOI:10.1016/j.rse.2004.11.018.
22. Papa, F., B. Legrésy, and F. Rémy. "Use of the Topex-Poseidon dualfrequency radar altimeter over land surfaces." *Remote Sensing of Environment* 87.2–3 (2003): 136–147. DOI:10.1016/S0034-4257(03)00136-6
23. Lavrova, O. Ju., A. G. Kostjanov, S. A. Lebedev, M. I. Mitjagina, A. I. Ginzburg, and N. A. Sheremet. *Kompleksnyj sputnikovyj monitoring morej Rossii.* M.: Institut kosmicheskikh issledovanij RAN, 2011.
24. Lebedev, S. A. *Sputnikovaya altimetriya Kaspijskogo mora.* M.: RAN Institut okeanologii im. P.P. Shirshova, 2005.
25. Lebedev, S. A. "The dynamics of the Caspian Sea based on satellite altimetry data." *Current problems in remote sensing of the Earth from space* 12.4 (2015): 72–85.
26. Kouraev, A. V., J.-F. Crétaux, S. A. Lebedev, A. G. Kostianov, A. I. Ginzburg, N. A. Sheremet, R. Mamedov, E. A. Zakharova, L. Roblou, F. Lyard, S. Calmant, and M. Bergé-Nguyen. "Satellite Altimetry Application in the Caspian Sea." *Coastal altimetry.* Springer Berlin Heidelberg, 2011: 331–366. DOI: 10.1007/978-3-642-12796-0_13.
27. Firsov, Yuriy Geogievich. "Metody ispolzovaniya sputnikovoi apparatury, realizuiushchei rezhim kinematiki realnogo vremeni (RTK) dlia opredeleniya popravok za uroven moria." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 1 (2007): 21–26.
28. Sander, P. "RTK tide basic." *HYDRO International* 7.10 (2003): 26–29.
29. Firsov, Yu. G., and M. V. Ivanov. "Definition of sea level altitude in geocentric system using C-NAV high-accuracy satellite service." *Geodiziya i kartografiya* 6 (2007): 55–64.
30. Volkov, V. V., A. A. Elagin, and A. L. Demidov. "Sea level determination by global navigation satellite system". *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(34) (2015): 93–99.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Елагин Антон Анатольевич — аспирант.
 Научный руководитель:
Шматков Владимир Антонович —
 доктор технических наук, профессор.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С.О.Макарова»
elagintony@gmail.com
Демидов Александр Леонидович — аспирант.
 Научный руководитель:
Шматков Владимир Антонович.
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
 адмирала С. О. Макарова»
alexandrdemidov@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Elagin Anton Anatolievich — postgraduate.
 Supervisor:
Shmatkov Vladimir Antonovich —
 Dr. of Technical Sciences, professor.
 Admiral Makarov State University
 of Maritime and Inland Shipping
elagintony@gmail.com
Demidov Aleksandr Leonidovich — postgraduate.
 Supervisor:
Shmatkov Vladimir Antonovich.
 Admiral Makarov State University
 of Maritime and Inland Shipping
alexandrdemidov@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 25 февраля 2016 г.