

# СПУТНИКОВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА РЕПЕРАХ МОРСКИХ УРОВЕННЫХ ПОСТОВ В АКВАТОРИИ ФИНСКОГО ЗАЛИВА

## В.З. Остроумов (ГУ «ГОИН»)

В 1971 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в Казахском АГП, с 1992 г. — в Главном управлении геодезии и картографии при Кабинете Министров Республики Казахстан. С 1994 г. работает в ГУ «Государственный океанографический институт», в настоящее время — заведующий лабораторией. Доцент кафедры высшей геодезии МИИГАиК. Кандидат технических наук.

## Л.В. Остроумов (ГУ «ГОИН»)

В 2006 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «информационные системы в технике и технологиях». В настоящее время — ведущий специалист ГУ «Государственный океанографический институт». Аспирант кафедры высшей геодезии МИИГАиК.

## Г.А. Шануров (МИИГАиК)

В 1971 г. окончил геодезический факультет МИИГАиК по специальности «астрономогеодезия». После окончания института работал в отделе инженерных изысканий 20-го ЦПИ МО РФ. С 1975 г. работает в МИИГАиК, в настоящее время — профессор кафедры высшей геодезии. Доктор технических наук, профессор. Член Международной ассоциации геодезии (IAG).

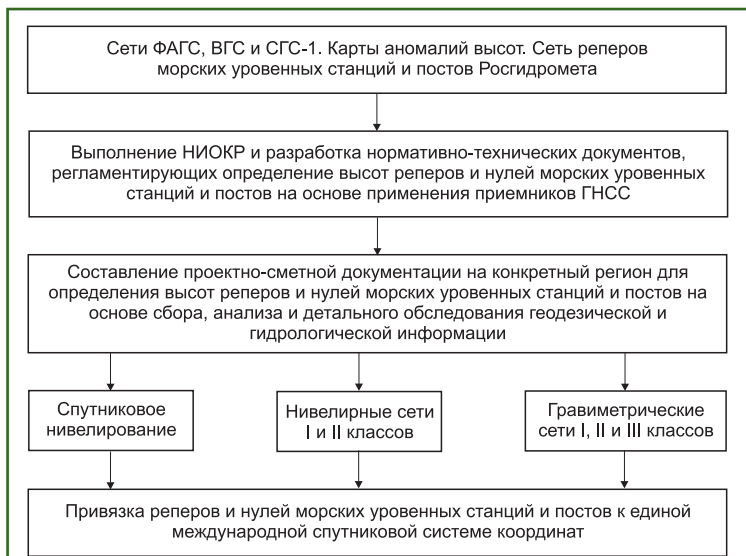
Уровень моря определяют на уровне станциях и постах Росгидромета с использованием визуальных, механических и/или электронных средств измерений. Главным условием при гидрологических наблюдениях за уровнем моря является постоянство нуля уровня поста (исходного горизонта, принятого для данного уровня поста). Высотное положение нуля уровня поста определяют и контролируют относительно основных и рабочих реперов уровня поста путем проведения регламентных работ — измерения превышений между марками реперов и нулем поста методом геометрического нивелирования. Такова, по сути, технология измерения уровня моря [1, 2].

В связи с внедрением в геодезическую практику глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в России на

новом качественном уровне создают государственную спутниковую геодезическую сеть. Наряду с решением фундаментальных и прикладных задач, обеспечивающих построение на территории Российской Федерации единой государственной системы геодезических координат и поддержание ее на уровне современных и перспективных требований, представляется целесообразным выполнять на основе спутниковых технологий привязку реперов морских уровней станций и постов к вновь создаваемой системе координат и высот России. Процедура определения высот реперов и нулей морских уровней постов отражена в Федеральной целевой программе «Глобальная навигационная система» (на период 2002–2011 гг.). Эта программа, кроме выполнения основных мероприятий по со-

зданию новой высокоэффективной государственной системы координатного обеспечения России, включает в себя мероприятия по «созданию системы постоянных спутниковых наблюдений за динамикой уровня моря на уровне станций российских морей и прогноза его состояния» [1–5].

В 2004–2006 гг. ГУ «Государственный океанографический институт» (ГОИН) Росгидромета совместно с Астраханским аэрогеодезическим предприятием и ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии» (ЦНИИГАиК) Роскартографии в инициативном порядке выполнили комплекс полевых и камеральных работ по спутниковой привязке реперов и нулей морских уровней станций и постов, расположенных вблизи акватории северо-западного по-



**Рис. 1**  
Система геодезического обеспечения высотной основы морской уровенной сети России

бережья Каспийского моря, к государственной спутниковой геодезической сети России [6]. Результаты этих работ позволили осуществить привязку реперов и нулей морских уровенных станций и постов к главной высотной основе не только на материковой части северо-западного побережья Каспийского моря, но и на его островах, в частности, на о. Тюлений и о. Искусственный. Финансирование работ осуществлялось за счет средств федерального бюджета Росгидромета и Роскартографии на условиях долевого паритетного финансирования [2, 7].

В рамках дальнейшей реализации мероприятий Федеральной целевой программы 19 июня 2007 г. руководители Роскартографии и Росгидромета подписали «Соглашение о взаимодействии Федерального агентства геодезии и картографии и Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по вопросам топографо-геодезического обеспечения уровенных наблюдений сети морских станций и постов». Настоящим соглашением предусмотрено осуществление координатной привязки реперов морских уровенных станций и постов к

высокоточной спутниковой геодезической сети России и организация постоянного мониторинга пунктов наблюдений морской береговой сети Росгидромета, расположенных на побережье и островах морей, омывающих территорию Российской Федерации. Главными исполнителями работ по данному соглашению были определены ФГУП «ЦНИИГАиК» и ГУ «ГОИН», а соисполнителями — аэрогеодезические предприятия Роскартографии и межрегиональные территориальные органы управления и подведомственные им центры по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромета. Система геодезического обеспечения высотной основы морской прибрежной наблюдательной уровенной сети России представлена на рис. 1.

В рамках дальнейшего развития мероприятий, предусмотренных соглашением, а также для более детальной отработки технологии высокоточных спутниковых измерений, накопления геодезических данных для мониторинга уровня Балтийского моря и изучения деформаций земной коры в прибрежных районах морей Российской Федерации, в 2007 г. начаты рабо-

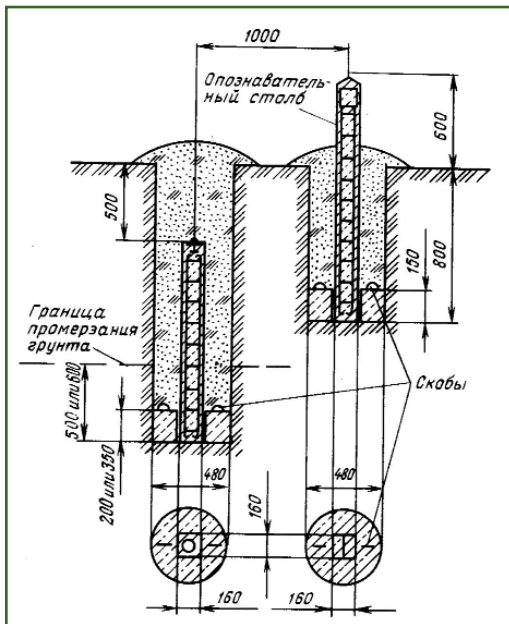
ты по определению высот реперов морских уровенных станций и постов, расположенных вблизи акватории Финского залива. В них приняли участие организации Росгидромета: ГУ «ГОИН» и Санкт-Петербургский областной центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и организации Роскартографии: ФГУП «ЦНИИГАиК» и ФГУП «Аэрогеодезия» (Санкт-Петербург). Это позволило осуществить адаптацию спутниковой технологии работ для привязки реперов морских уровенных станций и постов, расположенных на российской части побережья Балтийского моря, к вновь создаваемой высокоточной государственной спутниковой высотной сети России. Уровенные посты, расположенные вблизи акватории Финского залива, показаны на рис. 2.

Применительно к имеющимся техническим средствам и в рамках реализации указанных выше регламентирующих документов, комплекс полевых и камеральных геодезических работ по спутниковой привязке уровенных постов, расположенных вблизи акватории Финского залива, к государственной высотной основе выполнен в следующей технологической последовательности.

1. Сбор и анализ материалов, выполненных ранее гидрологических и геодезических работ на побережье и островах (Гогланд, Мощный и Кронштадт)



**Рис. 2**  
Спутниковая сеть реперов морских уровенных постов в акватории Финского залива

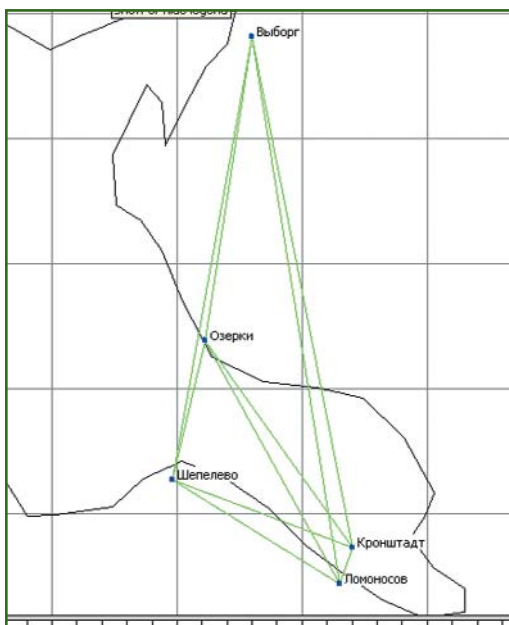


**Рис. 3**  
Конструкция грунтового репера

Финского залива.

2. Полевое обследование и рекогносцировка пунктов спутниковой сети реперов морских уровенных станций и постов.

3. Закладка четырех реперов на морских уровенных станциях и постах: Озерки, Кронштадт, Ломоносов, Сосновый бор (по данным полевого обследования).



**Рис. 4**  
Схема расположения реперов исходной спутниковой сети относительно береговой линии Балтийского моря

4. Составление отчета о выполненных работах по п.п. 2, 3.

5. Составление проектно-сметной документации на привязку реперов морских уровенных постов, расположенных на островах Гогланд, Кронштадт и вблизи акватории Финского залива, к государственной высотной основе.

6. Планирование спутниковых наблюдений.

7. Спутниковые наблюдения опорной сети на 9 реперах морских уровенных постов: Выборг (3), Озерки, Кронштадт (2), Ломоносов, Шепелево (2).

8. Полевая обработка и постобработка спутниковых наблюдений.

9. Уравнивание спутниковых наблюдений (спутниковой сети) в международной земной системе отсчета (ITRF) с учетом уточненных эфемерид орбит спутников с использованием стандартного программного обеспечения.

10. Составление каталога координат и высот реперов морских уровенных постов в ITRF.

Полевое обследование и рекогносцировка пунктов спутниковой сети реперов морских уровенных станций и постов выполнялись в соответствии с требованиями Временной инструкции по обследованию и восстановлению пунктов и знаков государственной геодезической и нивелирной сетей СССР (1970 г.) и Наставлений гидрологическим станциям и постам. Вып. 9, ч. 1 (1968 г.).

Исходя из анализа агрессивности грунтов и глубины сезонного промерзания грунта, на основании Правил закладки центров на пунктах геодезической и нивелирной сетей (1993 г.) была выбрана конструкция центра, приведенная на рис. 3. Грунтовый репер представляет собой металлическую трубу, заполненную железобетоном и скрепленную с бетонным якорем, диаметром 48 см. Наруж-

ним оформлением репера служит либо опознавательный столб, устанавливаемый на расстоянии 1 м от заложеного репера, либо окопка.

В процессе выполненного полевого обследования (всего обследовано 12 пунктов и реперов) установлено, что основные и рабочие реперы в Кронштадте представляют собой стенные марки, заложенные в близлежащих от уровенного поста зданиях. Имеющиеся на метеоплощадке грунтовые реперы полностью закрыты кронами деревьев. Грунтовые реперы на уровенном посту Озерки также не пригодны для спутниковых наблюдений, поскольку расположены в лесу. На уровенных постах Ломоносов и Сосновый бор (вновь организованном) основные и рабочие реперы либо отсутствуют, либо находятся на большом расстоянии от уровенных постов, поэтому на них была осуществлена закладка новых грунтовых реперов.

Закладка центров выполнялась ручным способом. Марки центров покрывались антикоррозийным покрытием, и на опознавательный столб прикреплялась табличка с указанием номера марки, года закладки и ведомства, осуществившего закладку. По окончании работ были составлены:

— отчет с пояснительной запиской и кроки заложённых центров;

— список обследованных и заложённых центров и схема их расположения;

— фотографии центров и местности вокруг каждого из них.

Спутниковые наблюдения для привязки сети реперов морских уровенных станций и постов исходной геодезической сети (рис. 4) проводились в соответствии с руководством пользователя спутниковой аппаратурой единым сеансом наблюдений в режиме статики восемь двухчасовыми геодезическими спут-

никовыми приемниками Махог и спутниковой антенной PG-A1 / MarAnt+ фирмы JAVAD GNSS. Продолжительность наблюдений на различных пунктах составила от 22 до 26 часов при интервале записи наблюдений в 30 с с маской по углу возвышения 10°. Постобработка и уравнивание сети реперов морских уровенных постов выполнена одним из авторов статьи (Л.В. Остроумов) в ПО Pinnacle 1.0.

Окончательное уравнивание было реализовано в мировой геодезической системе WGS-84 с использованием уточненных эфемерид орбит спутников GPS. Продолжительность непрерывных наблюдений на реперах морских уровенных постов, выполненных двухчастотной спутниковой геодезической аппаратурой, позволяет осуществить высокоточную привязку сети реперов к удаленным пунктам международной сети ITRF [8]. Поэтому в исходную спутниковую сеть был включен пункт FAGC FAG2 и ближайшие пункты сети ITRF: KIRU, VISO, MAR6 (Швеция), LAMA (Польша), METZ (Финляндия), на которых ведутся постоянные наблюдения высокоточными двухчастотными спутниковыми приемниками (рис. 5).

Пункты FAG2, KIRU, LAMA, METZ были взяты в качестве исходных, а пункты VISO и MAR6 с известными координатами использовались как определяемые для оценки качества и дополнительного контроля полученных результатов уравнивания. Координаты пунктов ITRF и файлы «сырых» данных, а также уточненные эфемериды орбит спутников GPS на период наблюдений были получены по Интернет из международной службы GPS (International GPS Service).

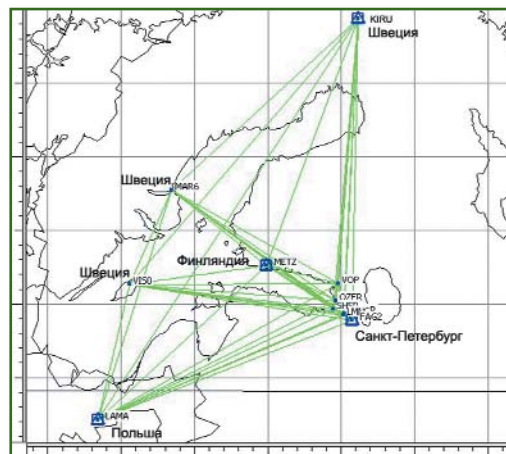
Сеть реперов морских уровенных постов была уравнена специалистами ЦНИИНАиК в программном комплексе Trimble GPSurvey 2.35. Расхождение координат и высот пунктов и ре-

перов, полученных из уравнивания различными программными средствами, не превысило 5–7 мм, что говорит о высоком качестве результатов наблюдений. Этот вывод также подтверждается высокой сходимостью вычисленных из уравнивания и известных значений координат пунктов VISO и MAR6.

Результаты оценки точности определения координат и геодезических высот реперов морских уровенных постов и пунктов спутниковой геодезической сети приведены в таблице.

Практическая реализация технологии работ в северо-западной части побережья Каспийского моря и вблизи экватории Финского залива позволяет сделать вывод о том, что технология спутниковой привязки реперов морских уровенных постов к государственной высотной основе при сохранении качества работ позволяет:

- существенно увеличить производительность труда при проведении привязки реперов;
- более чем в два раза уменьшить стоимость проведения работ;



**Рис. 5**  
Спутниковая сеть с исходными и определяемыми пунктами

— осуществлять привязку реперов в местах, недоступных для использования традиционных геодезических методов (острова в открытом море, в устьевых разливах рек и т. д.).

Наблюдения на реперах морских уровенных станций и постов, расположенных вблизи экватории Финского залива, наряду со строительством защитных сооружений, имеют важное практическое значение для предупреждения жителей Санкт-Петербурга о наводнениях.

**Результаты оценки точности определения координат и геодезических высот реперов морских уровенных постов и пунктов спутниковой геодезической сети**

Наименование реперов и пунктов	Средняя квадратическая погрешность, мм		
	Широта (N)	Долгота (E)	Геодезическая высота (U)
<b>KIRU</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
<b>FAG2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Выборг	12,0	9,0	24,5
Кронштадт (марка)	8,8	6,4	16,2
Кронштадт (репер)	8,6	6,4	16,2
<b>LAMA</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Ломоносов	8,7	6,5	16,7
MAR6	25,7	25,1	54,0
<b>METZ</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>	<b>0,0</b>
Озерки	11,6	9,2	24,4
Шепелево	11,1	8,6	23,2
VISO	26,7	25,1	53,6
VOP	12,0	9,0	24,5

**Примечание.** Жирным шрифтом выделены исходные пункты спутниковой геодезической сети.



**Рис. 6**

*Комплекс защитных сооружений (дамба) в акватории Финского залива, проходящий через о. Кронштадт*

С момента своего основания в 1703 г. Санкт-Петербург около 300 раз подвергался наводнениям, при этом, средний уровень моря поднимался от 262 до 421 см. Затопление фундаментов и улиц в низко расположенных районах города начинается при подъеме уровня воды более чем на 160 см. Причиной наводнений являются штормовые нагоны в Балтийском море, которые усиливаются по мере приближения к Санкт-Петербургу.

Идея строительства каменной дамбы, проходящей через о. Кронштадт поперек Финского залива, была предложена инженером П.П. Базеном после наводнения 1824 г., когда средний уровень моря поднялся на 421 см. Она легла в основу проекта строительства комплекса защитных сооружений г. Санкт-Петербурга, принятого Постановлением ЦК КПСС и Совета Министров СССР № 745 «О строительстве сооружений защиты Ленинграда от наводнений» 02 августа 1979 г. Реализация этого проекта и работы по привязке сети реперов морских уровенных станций и постов, расположенных вблизи акватории Финского залива, начались только в 2001 г. (рис. 6). В перспективе комплекс защитных сооружений станет объектом двойного назначения:

— во-первых, составной частью предлагаемой системы интегрированного управления

водными ресурсами Санкт-Петербурга;

— во-вторых, участком кольцевой автомобильной дороги для вывода транзитного автотранспорта в обход города.

Полученные результаты геодезических определений высот реперов морских уровенных постов в единой системе высот и привязка к ним нулей морских уровенных постов станут основой для проведения в дальнейшем мониторинга уровенных сооружений на пунктах наблюдательной морской береговой сети Росгидромета вблизи акватории Финского залива. Инженерные расчеты строящегося комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга показывают, что при введении в эксплуатацию он обеспечит защиту города от наводнений. Однако могут возникнуть такие непредвиденные стихийные ситуации, о которых необходимо знать за несколько часов или хотя бы за несколько суток. Поэтому, чтобы предупредить о наводнении, необходимо иметь геодезические и гидрологические данные не только в акватории Финского залива, но и в открытой части Балтийского моря. Такая уникальная возможность имеется, поскольку примерно в 100 км от акватории Финского залива расположен о. Гогланд, на котором наблюдения за уровнем моря ведутся, начиная с XVIII века. Полученные максимальные характеристики о водном режиме на о. Гогланд позволят заблаговременно информировать руководство города для проведения соответствующих мероприятий по предупреждению наводнений на территории Санкт-Петербурга и его окрестностей.

#### ▼ Список литературы

1. Бородко А.В., Макаренко Н.Л., Демьянов Г.В. Развитие системы геодезического обеспечения в современных условиях // Геодезия и картография. — 2003. — № 10. — С. 7–13.
2. Остроумов В.З., Манахов С.К. Научно-технический доклад на за-

седании 10-й Сессии Межгосударственного Координационного Комитета по гидрометеорологии и мониторингу загрязнения Каспийского моря «Геодезическое обеспечение высот морской уровенной сети Каспийского моря на основе применения глобальных навигационных спутниковых систем». — Астрахань: Росгидромет, 2006. — 23 с.

3. Основные положения о государственной геодезической сети Российской Федерации ГКИНП (ГНТА) — 01-006-03. — М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2003.

4. Инструкция по построению государственной геодезической спутниковой сети ГКИНП (ГНТА) — 01-006-03. — М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2003.

5. Остроумов В.З., Шануров Г.А., Епишин В.И. Высотная основа уровенных постов: геодезический аспект // Геодезия и картография. — 2005. — № 4. — С. 20–29.

6. Assessment of height variations by GPS at Mediterranean and Black Sea coast tide gauges from the SELF projects // Global and Planetary Change, 34 (2002). — Р. 5–35.

7. Остроумов В.З., Остроумов Л.В. Разработка системы геодезического обеспечения высот морской прибрежной наблюдательной уровенной сети России на основе применения глобальной навигационной спутниковой аппаратуры GPS/ГЛОНАСС. — Труды ГУ ГОИН. Исследования океанов и морей. — Вып. № 210. — 2007. — С. 182–194.

8. Шануров Г.А., Мельников С.Р. Геотроника. — М.: МИИГАиК, НП «Геокосмос», 2001. — 136 с.

#### RESUME

A brief description is given for the satellite technology of referencing the sea tide gauge stations' relative the RF high precision elevation base in accordance with the Agreement between Rosgidromet and Roskartografiya of 2007. This technology implementation experience shows that it makes possible to significantly reduce time for the ground control point referencing as well as to half the work cost and to reference control points in places inaccessible for traditional geodetic techniques.