

ТОПОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ В РАМКАХ СЕЗОННЫХ АРКТИЧЕСКИХ ЭКСПЕДИЦИЙ «СЕВЕР-2015, 2016» НА НИС «ЛЕДОВАЯ БАЗА «МЫС БАРАНОВА»»

Научно-исследовательский стационар (НИС) «Ледовая база «Мыс Баранова»» ААНИИ начал свою работу осенью 2013 года на базе основанной в 1986 году полярной станции, законсервированной в 1991 году в связи с отсутствием финансирования.

НИС расположен на возвышенном берегу (20 м) пролива Шокальского, в 10 км юго-западнее одноименного мыса в северной части острова Большевик, архипелага Северная Земля. Близлежащая окружающая местность представлена холмистой равниной, покрытой делювиально-аллювиальным скальным материалом с участками мохово-лишайниковой растительности арктической пустыни.

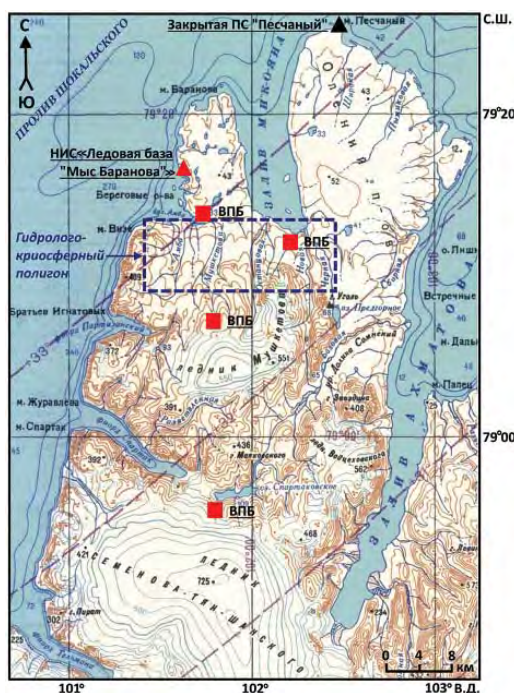
Топографо-геодезические работы, выполненные в рамках сезонных арктических экспедиций ААНИИ «Север-2015, 2016» в периоды с 10 июня по 17 октября 2015 года и с 27 апреля по 12 ноября 2016 года, обеспечили проведение гидрологических, метеорологических, ледовых, геоморфологических и других исследований в местных и государственных системах координат и высот.

Одним из основных объектов исследований на о. Большевик является гидролого-криосферный полигон, представляющий собой водосборный бассейн перигляциальной области ледника Мушкетова (прилегающая территория НИС) с вытекающими из него водотоками.

Данный полигон создан для изучения гидрологических процессов и выявления гидрологических особенностей пресноводных систем архипелага Северная Земля. Исследования водного и ледового режимов позволяют получить представления о количественных параметрах балансовых составляющих и абляции ледников в прибрежной экосистеме

Схема района топографо-геодезических работ в рамках
сезонных экспедиций «Север-2015, 2016»,
о. Большевик, арх. Северная Земля.

Квадраты в красном цвете – временные полевые базы (ВПБ)



архипелага на фоне высокой уязвимости данных объектов в условиях изменений глобального и регионального климатов.

Одной из основных задач геодезического сопровождения этих научно-исследовательских работ являлось создание высотной геодезической сети сгущения в Балтийской системе высот 1977 года (БСВ) на шести реках гидролого-криосферного полигона: Амба, Мушкетова, Новая, Останцовая, Черная, река без названия.

С этой целью на гидрологических пунктах наблюдения (ГПН) рек была организована закладка геодезических реперов 1 разряда. В местах с обнажением коренных скальных пород использовались реперы скального типа заложения, менее трудоемкие в изготовлении и установке. Технология установки репера включает в себя бурение перфоратором отверстия в скальной толще и закладку в него анкерного болта с последующей герметизацией отверстия пластичным гидроизоляционным материалом на основе битумной мастики, во избежание разрушения репера в условиях низких температур.

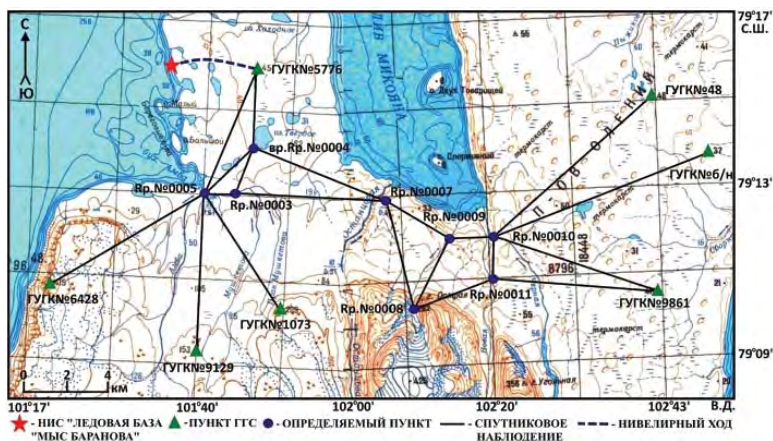
В случае отсутствия подходящих обнажений скальных пород организовывалась закладка грунтовых реперов. Работы выполнялись согласно требованиям инструкции по закладке геодезических пунктов и реперов, установленных для данной территории Крайнего Севера. Глубина заложения репера составляла не менее 2,5 метров.

Во время полевых работ учитывалась опасность, связанная с присутствием в районе работ белых медведей, способных напасть на человека или повредить оборудование. Все передвижения личного состава исследовательских групп между районами работ выполнялись на вездеходах и снегоходах. При производстве работ велось непрерывное наблюдение за окружающей обстановкой. Работники были экипированы средствами связи и защиты.

Визуальное обследование грунтовых пунктов государственной геодезической сети (ГГС), заложенных во второй половине XX века, и результаты уравнивания выполненных спутниковых измерений выявили отсутствие смещения пунктов в плане и по высоте за прошедший период времени в связи с природными процессами выпучивания грунта.

Оттаивание грунта в северной части о. Большевик достигает в среднем только 40 сантиметров. В связи с этой местной особенностью положение геодезических пунктов в грунте в районе ста-

Схема построения спутниковой геодезической сети сгущения
на гидролого-криосферном полигоне на о. Большевик



ционара можно считать более стабильным, чем аналогичных по конструкции пунктов в южных широтах Арктической зоны России.

Подводя итог, можно констатировать, что установка геодезических пунктов сгущения долговременного типа заложения в районе расположения ледовой базы обеспечила на длительный период создание качественной и надежной геодезической основы для проведения комплексных научно-исследовательских работ.

Необходимо отметить, что высотная привязка реперов ГПН гидролого-криосферного полигона к пунктам ГГС традиционным методом геометрического нивелирования на о. Большевик оказалась малоэффективна по следующей причине: большую часть времени в районе работ преобладает ветер скоростью 10 и более м/с. Это обстоятельство делает невозможным выполнение съемки нивелиром, оснащенным автоматическим компенсатором, из-за скачков изображения в оптической системе прибора.

В свою очередь, согласно плану реализации топографо-геодезических работ, общая протяженность нивелирных ходов должна была составить около 30 км. Такая протяженность ходов потребовала бы для выполнения этих работ привлечения людей и техники на срок не менее 15–20 дней при условии благоприятной погоды, которая в сезон (3–4 месяца) обычно наблюдается в лучшем случае не более 10 дней в месяц.

Исходя из всего вышесказанного, от применения традиционного метода геометрического нивелирования с использованием прибора с автоматическим компенсатором пришлось отказаться.

В то же время современные геодезические технологии на основе глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS лишены вышеописанных недостатков, а точность определения координат и высот места практически не зависит от метеоусловий.

Принцип работы точного определения координат и высот места спутниковым способом построен на методе трилатерации. В качестве исходных пунктов выступают спутники на орбите Земли, передающие радиосигналы на наземные приемники. По времени прохождения радиосигналов вычисляются расстояния между исходными и определяемыми пунктами. Вместе с радиосигналом приемники получают данные (эфemerиды) о положении спутников в пространстве. На основе собранной информации в компьютере вычисляются координаты и высоты с точностью от нескольких миллиметров и более, в зависимости от расстояния между двумя наземными приемниками и условий окружающей среды во время сбора спутниковых данных.

Воздействие ионосферы, достаточно существенно проявляющееся в высоких широтах (полярные сияния) и влияющее на качество принимаемых спутниковых данных, устраняется путем применения двухчастотной аппаратуры.

Для получения координат и высот места с максимальной возможной для данного оборудования точностью, в пределах нескольких миллиметров, применяется режим наблюдений — «статика».

Процесс сбора спутниковых данных заключается в установке приемо-передатчиков спутниковых систем позиционирования на двух пунктах — исходном и определяемом — и одновременной записи в память приборов принимаемых спутниковых данных в течение одного часа и более, в зависимости от количества наблюдаемых спутников и расстояния между пунктами наблюдений. Затем выполняется обработка и уравнивание полученных данных на компьютере в лицензированном программном обеспечении, с вычислением точных координат и высот определяемых пунктов в государственных системах координат и высот. Применение спутникового геодезического оборудования в топографо-геодезических работах на о. Большевик осуществлялось в соответствии с требованиями «Инструкции по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS».



Бурение скважины для закладки грунтового репера на метеоплощадке НИС «Ледовая база "Мыс Баранова"»

Спутниковые наблюдения для высотной привязки реперов на ГПН шести рек были выполнены за шесть рабочих дней силами двух человек на одном вездеходе «Ирбис», что свидетельствует о высокой эффективности применения спутниковой технологии в сравнении с традиционными геодезическими методами.

Анализ полученных спутниковых измерений показал высокое качество полученных значений координат исходных пунктов ГГС, их соответствие значениям, зафиксированным в Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестр), а также высокое качество измерений внутри вновь созданной на основе спутниковой технологии геодезической сети в районе работ. Применение новых технологий обеспечило определение высотного положения реперов с необходимой точностью в БСВ 1977 года и в

кратчайшие сроки, согласно руководящим документам в области гидрологии и геодезии.

Привязка нулей постов автоматических уровнемеров на ГПН рек, установленных на период стока, и определение уклонов водного потока выполнялись методом геометрического нивелирования с применением оптического нивелира. Целесообразность применения метода геометрического нивелирования в данном случае была обусловлена близкими (100–300 м) расстояниями между нивелируемыми пунктами.

Установка реперов и другие топографо-геодезические работы на ГПН рек обеспечили высотной основой проведение регулярных уровенных наблюдений в единой системе высот (БСВ 1977 года).

Топографо-геодезические работы в рамках гляциологической программы исследований экспедиции «Север-2016» выполнялись на ледниках Мушкетова и Семенова-Тян-Шанского. Непосредственной задачей работ являлось определение геопространственных параметров положения характерных «реперных» точек (ледомерно-скоростных вех, установленных на ледниках), что позволяет следить за динамикой поверхности ледников, а также изучать процессы таяния и накопления льда.

Для этих целей на леднике Мушкетова сотрудниками ААНИИ было установлено 27 ледомерно-скоростных вех, расположенных в ключевых участках ледников (количество вех постепенно увеличивается после анализа полученных данных и выявления недостаточно обоснованных участков).

На леднике Семенова-Тян-Шанского было размещено 13 таких вех и только в северной его части, что было обусловлено удаленностью и труднодоступностью этого района работ от НИС. Определение координат и высот вех спутниковым геодезическим методом осуществлялось в режиме «статика» дважды в сезон — в мае и сентябре только на леднике Мушкетова, в связи с невозможностью выполнить подобные работы на леднике Семенова-Тян-Шанского в осенний период, из-за разрушения единственной дороги, проходящей по льду оз. Спартаковское (в моменты максимального уровня снежного накопления и окончания периода таяния на ледниках).

В связи с удаленностью НИС на расстояние двадцати и более километров от вышеназванных ледников, для выполнения работ на них были оборудованы временные пункты базирования (ВПБ) для исследовательских групп.

Часто выполнение работ на ледниках затрудняла ненастная и быстро меняющаяся погода. Помимо облачности, снижавшей видимость, сильный ветер (от 15 м/с) вызывал вибрацию верхней части ледомерно-скоростных вех, недопустимую при высокоточных спутниковых наблюдениях.

Установка антенны спутникового геодезического оборудования на срезе вехи осуществлялась с точностью до 5 мм относительно ее вертикальной оси с помощью втулки одного размера с внутренним диаметром вехи и штатного круглого уровня на подставке приемника.

В результате обработки спутниковых данных координаты и высоты верхнего среза вех были определены с точностью до 1 см и в горизонтальном плане, и по высоте — величине, соответствующей максимальной точности спутникового геодезического оборудования в режиме «статика», при наибольшем расстоянии до исходного пункта в 10 км, что удовлетворяет требованиям технического задания для данного вида работ.

По итогам двукратных наблюдений за сезон 2016 года на леднике Мушкетова также были вычислены изменения положения ледомерно-скоростных вех в плане и по высоте. Максимальное измеренное смещение вехи, расположенной у подножия ледника, составило в плане — 22 см, по высоте — 3 см.

Повторные наблюдения на леднике Семенова-Тян-Шанского и очередные измерения на леднике Мушкетова планируются выполнить в будущих сезонных экспедициях. Полученные данные помогут выявить современные тенденции развития ледников о. Большевик и дать материал для создания модели развития оледенения архипелага Северная Земля.

Планово-высотная привязка ледомерно-скоростной вехи на леднике Семенова-Тян-Шанского



Для изучения процессов формирования морского ледяного покрова ледоисследователями было организовано четыре полигона на акватории пролива Шокальского. Топографо-геодезические работы на ледовых полигонах заключались в детальной планово-высотной съемке снежного покрова масштаба 1:100 (пикеты через 5 м). При съемке мест наддува снега у айсберга, торосов и береговой черты пикеты располагались чаще, чтобы обеспечить повышенную детализацию отображения этих важных исследуемых элементов.

Съемка снежного покрова выполнялась тем же спутниковым геодезическим оборудованием, что и вышеописанные работы, но в режиме «кинематика – стой-иди» (Stop & Go). Данный режим работы основан на тех же принципах, что и «статика», но время наблюдения на измеряемой точке сокращено за счет коротких расстояний (до 2 км) между двумя спутниковыми приемниками. Применение режима Stop & Go, с одной стороны, дает возможность выполнить работы быстрее, но, с другой стороны, незначительно снижает точность определения пунктов до 2 см в плане и высоте. Впрочем, это незначительное снижение точности вполне достаточно для выполнения крупномасштабных съемок. При применении вышеописанного режима один из приемников становится мобильным аппаратом, для чего он оснащен вместо штатива вехой и дополнительным компактным блоком управления процессом записи и редактирования спутниковых данных.

Съемка формы надводной части айсберга на ледоисследовательском полигоне осуществлялась с применением электронного тахеометра в безотражательном режиме. Данный режим позволяет измерять расстояния до недоступных объектов без использования отражателя с помощью встроенного в тахеометр лазерного дальномера на дистанциях до 500 м и более в зависимости от модели прибора.

Применение безотражательного режима обеспечило безопасное и быстрое выполнение данных работ без необходимости отправлять на вершину айсберга работника с отражателем.

На основе собранных данных созданы карты рельефа снежного покрова ледовых полигонов для уточнения морфометрических характеристик поверхности припайного льда в западном районе моря Лаптевых.

Выполнение топографических съемок участков ГПН на реках, геолого-геоморфологической съемки русла и водосборного бассейна р. Мушкетова было осложнено каньонной формой рельефа долин рек с отвесными скальными берегами. В таких условиях применение спутникового геодезического оборудования нецелесообразно в связи с закрытостью небосвода, снижающей количество наблюдаемых спутников ГЛОНАСС/GPS, и сильным эффектом многократного отражения спутниковых радиосигналов от скал, вносящих погрешность в качество принимаемых приемниками данных.

В этих случаях на открытых участках местности в непосредственной близости от ГПН закладывались исходные реперы, положение которых определялось спутниковыми геодезическими методами. Далее от них прокладывались теодолитные ходы в узкие речные долины, где съемка рельефа проводилась уже с применением электронного тахеометра в безотражательном режиме.

Полученные в результате топографических съемок данные, с учетом дополнительной геолого-геоморфологической информации (результатов анализа отобранных проб, значения измеренных углов падения и глубин залегания пластов геологических толщ), послужили базой для создания геолого-геоморфологической карты масштаба 1:5000 устья реки Мушкетова. Эта карта позволила уточнить рельеф долин рек в местах расположения ГПН и тем самым создать основу для определения гидравлических параметров и расчетов некоторых гидрографических характеристик.

Для планирования модернизации и развития инфраструктуры НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» на основе выполненной в ходе сезона 2016 года топографической съемки масштаба 1:500 был создан план территории стационара и прилегающей местности с детальным нанесением построек, коммуникаций и особенностей рельефа.

В том числе, на созданном плане отображены места хранения накопившихся за годы деятельности стационара металлического лома и бочек из-под ГСМ, которые были отсортированы и складированы сотрудниками базы для дальнейшей утилизации.

Необходимо отметить, что запланированные работы по высотной привязке репера на метеорологической площадке НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» в Балтийской системе высот 1977 года не могли быть выполнены методами спутниковой геодезии по следующим объективным причинам:

- территориально научный стационар расположен вне границ существующего полигона спутниковой геодезической сети, привязанного к государственным исходным пунктам;
- расширение данного полигона невозможно в связи с недоступностью в течение сезона пунктов ГГС, расположенных на противоположном, западном берегу пролива Шокальского.

В связи с этим передача высотной отметки на грунтовой репер метеоплощадки НИС была выполнена методом геометрического нивелирования IV класса точности. Прокладка нивелирного хода выполнялась в тихую, пасмурную погоду, наиболее благоприятную для данного вида работ. Длина двойного хода составила 4 км, преимущественно по каменистой равнине, без заболоченной местности, что обеспечило выполнение нивелирных работ в кратчайшие сроки и с минимальными ошибками в пределах допусков.

Привязка репера долговременного типа заложения на метеоплощадке НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» в БСВ 1977 года обеспечила проведение метеорологических наблюдений в общепринятой на сети российских метеостанций единой системе высот.

В рамках программы проведения наблюдений за уровнем моря на водомерных постах НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» и на закрытой полярной станции «Песчаный», расположенной на одноименном мысе о. Большевик в 23 км северо-восточнее НИС, была выполнена высотная привязка нулей этих постов к БСВ 1977 года. Данные работы выполнялись методом геометрического нивелирования в связи с близким расположением опорных реперов, имевших отметки в БСВ.

Стоит отметить, что приведение наблюдений за уровнем моря к единой системе высот позволяет произвести их анализ с учетом архивных и текущих данных других станций акваторий Карского моря и моря Лаптевых.

Для уточнения границ водосборов рек и сверки их с имеющимися картографическими материалами в районе водораздела реки Мушкетова была выполнена площадная высокопроизводительная съемка рельефа спутниковым геодезическим оборудованием, установленным на шасси гусеничного вездехода. В этом случае было использовано то же самое спутниковое оборудование, что и в описанных выше работах, в режиме «непрерывная кинематика». Данный режим работы оборудования позволяет определять плано-высотные координаты места с точностью до 20 см при удалении мобильного спутникового приемника от базового не более чем на 4 км.

Эта точность гораздо меньше, чем у режимов «статика» и «кинематика – стой-иди», но ее преимущество — в возможности осуществления непрерывной регистрации значений высот и координат текущего места на борту движущегося транспортного средства, в данном случае — вездехода. Эта технология особенно эффективна при съемках с невысокими требованиями к точности выполняемых работ больших площадей и однородных по ландшафту местностей.

Мобильный спутниковый геодезический приемник закреплялся в центре крыши вездехода «Ирбис» для уменьшения влияния колебания корпуса вездехода в ходе его движения на производимые измерения и обеспечения наилучших условий для приема спутниковых сигналов.

Выбор направления для движения вездехода галсами в примерных границах водораздела осуществлялся с помощью спутникового бытового навигатора, в память которого загружались уточняемые картографические данные. Параллельно с этим объем и границы съемки корректировались на основании визуального наблюдения за рельефом местности.

Секущие контрольные галсы позволили провести сравнение определяемых в разные временные моменты значений координат и высот в контрольных точках. Эти расхождения не превысили 20 см, что по точности вполне достаточно для определения границ водосборов рек по топографическим картам масштаба 1:50000.

Необходимо подчеркнуть, что определение границ водосборных областей рек является одной из главнейших задач гидрологии. Площади водосборов служат для получения интегральных характеристик жидкого стока (реки), испарения (снег, вода), необходимых для расчета составляющих уравнения водного баланса.

Примененная технология позволила в пределах допустимой погрешности максимально быстро, за два часа силами трех сотрудников выполнить уточнение границ значительного по площади (1 км²) района водораздела изучаемой водосборной области.

Благодаря хорошей сохранности пунктов ГГС и наличию в Росреестре значений координат и высот исходных пунктов на о. Большевик в районе НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»», в ходе сезонных топографо-геодезических работ в 2015 и 2016 годах была выполнена высотная привязка к БСВ 1977 года и плановая в местной системе координат заложения нами реперов и объектов научно-исследовательских работ экспедиции «Север-2016».

Оснащение экспедиционного отряда комплексом современного геодезического оборудования в арктическом исполнении: двухчастотными спутниковыми приемниками, электронным тахеометром с функцией безотражательного измерения и надежным оптическим нивелиром — создало благоприятные условия для качественного и эффективного выполнения в полном объеме программы топографо-геодезических работ на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»» в рамках сезонных арктических экспедиций «Север-2015, 2016».

*А.С. Парамзин, А.Н. Рачкова, И.С. Ёжиков,
А.А. Трунин (ААНИИ).
Фото авторов*

Высотная привязка геометрическим нивелированием морского автоматического уровнемера на НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»»

