

Развитие навигационных технологий для Полярного региона

Введение

Интерес к изучению Арктики за последний век породил три волны развития технологий в области навигации. Первая волна приходится на начало прошлого века, когда желание достичь «вершины Земли» - Северного географического полюса породило целый спектр идей. К полюсу стремились всеми возможными путями. От наиболее очевидного - по льдам Северного Ледовитого океана до экзотических - например, на дирижабле.

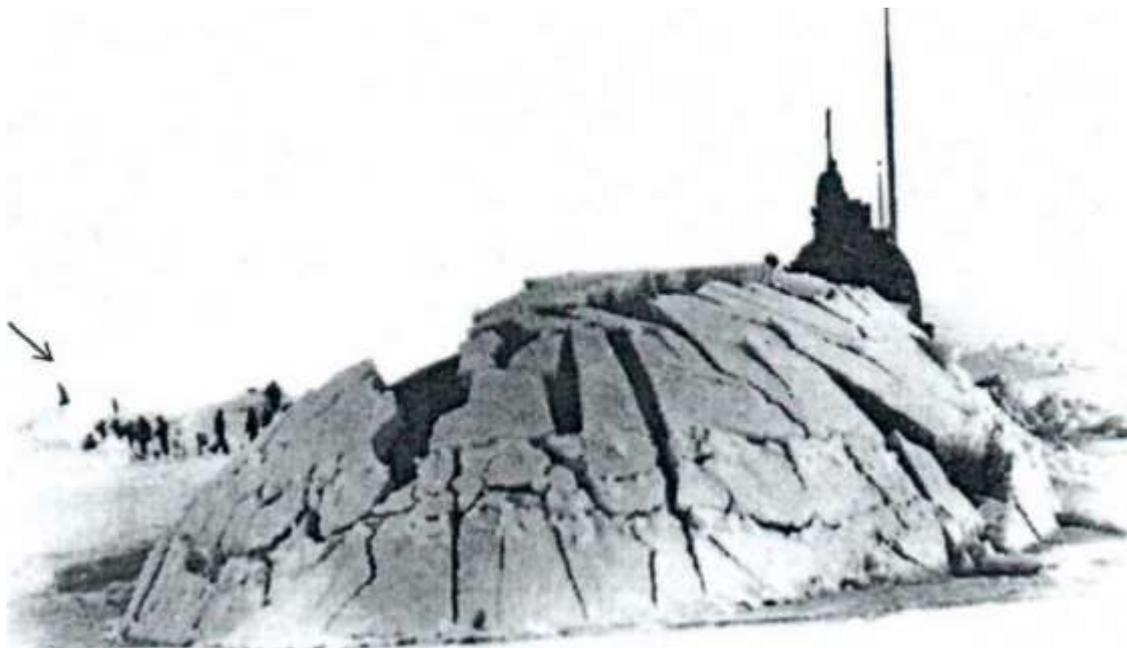
Смелая мысль пришла в голову немецкому юристу Герману Аншютцу-Кемпфе. Он задумал достичь Северного полюса на подводной лодке. Но для этого нужно было знать направление меридиана в условиях, когда из-за ледового покрова астрономические ориентиры недоступны и нужно определять направление меридиана автономно, на борту подводной лодки, не используя внешнюю информацию. Г. Аншютц решил использовать идею Л. Фуко о построении гирокомпаса на базе астатического гироскопа. Задача похода к полюсу со временем отпала, но работы Г. Аншютца привели сто десять лет назад к созданию первого морского гирокомпаса.

В дальнейшем фирма «Аншютц» стала мировым лидером в области гирокомпасов, которые решили проблему курсоуказания на судах и кораблях, имеющих металлический корпус, а затем в авиации и других транспортных системах. Этот успех основывался, с одной стороны, на передовых технологиях, которыми обладала германская промышленность, а с другой - на теоретических результатах, полученных сотрудничавшими с фирмой «Аншютц» молодыми учеными М. Шулером (теорема Шулера о невозмущаемости гироскопической

системы) и А. Эйнштейном («магнитное дутье» - способ центрирования гиросферы).

Вторая волна развития навигационных технологий, связанная с Арктикой, пришлось на середину прошлого века, когда геостратегическое положение Арктического региона вызвало соревнование в освоении плавания подводных лодок в районе Северного географического полюса. В 1958 году кросс-полярные переходы совершили две атомные подводные лодки (АПЛ) США («Наутилус» и «Скейт»), в 1962 г. - советская АПЛ К-3. Затем последовали многие походы АПЛ, в том числе со взломом льда и выходом на поверхность в непосредственной близости от Северного полюса (рис. 1) и межфлотские подледные переходы советских АПЛ северным маршрутом (с Северного флота на Тихоокеанский и в обратном направлении).

За время, прошедшее после первого похода в район Северного полюса, отечественные АПЛ полностью освоили Арктический регион.



*Рис. 1. ПЛ взломала лед вблизи Северного полюса
(полюс обозначен флагом в левом верхнем углу)*

Третья волна развития технологий арктической навигации началась в конце прошлого века и продолжается в настоящее время. Она связана с поиском и

разведкой полезных ископаемых и определением внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом океане.

Ниже рассматриваются два последних этапа развития технологии навигации в Арктике, сохраняющие свою актуальность.

Подледное плавание в высоких широтах

С точки зрения навигации Арктический регион отличается двумя принципиальными особенностями: он расположен в высоких географических широтах и водная поверхность покрыта мощными ледяными полями. Только создав специальные технологии, учитывающие эти особенности, можно обеспечить арктическую навигацию.

Проблема навигационного обеспечения в высоких широтах определяется тем, что направляющая сила гироскопа пропорциональна угловой скорости вращения Земли, и по мере приближения к оси вращения Земли (т.е. к географическому полюсу) эта сила убывает до нуля. С точки зрения математики полюс является особой точкой, где решение задачи выработки курса становится неопределенным.

Выход в таком случае заключается в трансформации системы координат с переносом особой точки. Применительно к навигации в приполюсном районе задача была решена в начале шестидесятых годов прошлого века коллективом авторов из ЦНИИ «Электроприбор» и Государственного навигационно-гидрографического института Министерства обороны. Была сформирована новая система координат - квазигеографическая, в которой полюс перемещен в точку пересечения экватора и 180-го меридиана (см. рис. 2).

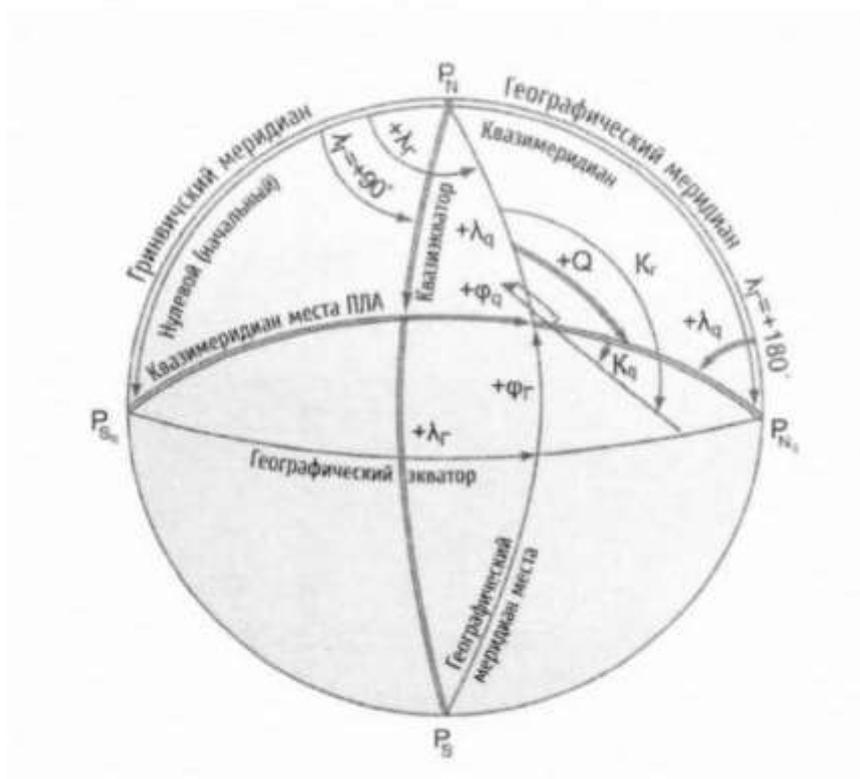


Рис. 2. Квазигеографическая система координат

В дальнейшем были выпущены карты в квазигеографической системе координат, которыми с тех пор пользуются при плавании в приполюсном районе. При этом переходят от выработки курса к хранению курса, определенного на достаточно большом расстоянии от географического полюса. Чем меньше дрейф гироскопов, тем меньше накапливается с течением времени отклонение от истинного курса и тем дольше можно осуществлять навигацию в приполюсном районе.

Первый подледный поход советской атомной подводной лодки К-3 к Северному полюсу обеспечивался специально разработанным ЦНИИ «Электроприбор» первым всеширотным навигационным комплексом «Сила-Н», хранение направления в котором обеспечили гироазимуты на шаровых гироскопах с аэростатической опорой ротора. Следующим шагом стал разработанный НИИ «Дельфин» навигационный комплекс «Тобол», в составе которого были инерциальные системы на поплавковых гироскопах (1972 г.). Затем в 1980 г. на полюс пришла АЛЛ с навигационным комплексом «Медведица», в состав которого

входили инерциальные навигационные системы на шаровых гироскопах с аэродинамической опорой ротора. Наконец, в 1984 г. поход к полюсу обеспечил навигационный комплекс «Симфония» с инерциальным корректором на электростатическом гироскопе (ЭСГ).

ЭСГ является и надолго останется самым точным среди всех известных видов гироскопов (рис. 3). Бесконтактный подвес ротора ЭСГ, поддерживаемого электрическим полем, исключил один из двух факторов, определяющих дрейф роторного гироскопа, - трение в опоре ротора. Второй фактор - несовпадение центра масс ротора с центром его вращения - минимизируется комплексом технологических мероприятий. Технология изготовления ЭСГ включает 288 технологических операций, причем 35 операций являются критическими. Оригинальные конструкторские, технологические и метрологические решения защищены 130 охранными документами на интеллектуальную собственность. Среди используемых материалов - изостатический бериллий и особо чистая корундовая керамика, нитрид-титановое покрытие ротора и алмазоподобные посадочные поверхности (см. рис. 4). Для производства ЭСГ построен филиал ЦНИИ «Электроприбор» с бериллиевым, керамическим и рядом других производств. Сборочное производство находится в «чистой» зоне площадью 1000

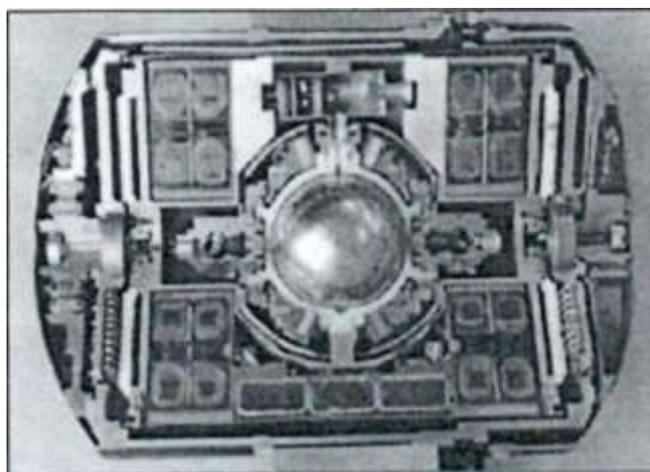


Рис. 3. Разрез ЭСГ

м².

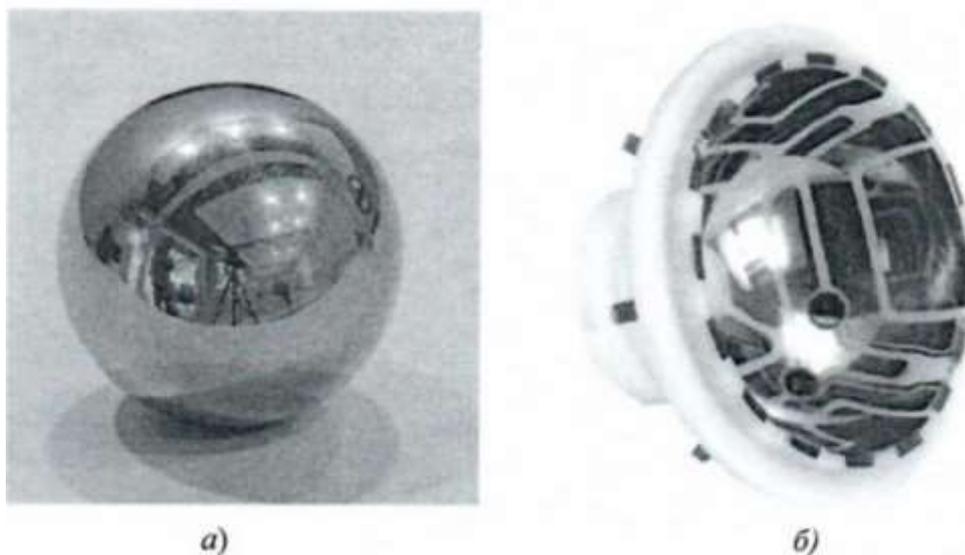


Рис. 4. Ротор (а) и керамическая полусфера с электродами (б)

Третья волна развития морских технологий связана с освоением природных богатств, сосредоточенных в Арктическом регионе, прежде всего месторождений углеводородного сырья. Важной составной частью работ по поиску и разведке этих месторождений стала морская гравиметрическая съемка.

В 2014 г. впервые подобные исследования были проведены в центральной части Северного Ледовитого океана [1]. Использовались мобильные (аэроморские) гравиметры разработки ЦНИИ «Электроприбор» («Чекан-АМ» и «Шельф-Э»). Гравиметрические работы проводились сотрудниками Государственного навигационно-гидрографического института на борту научно-экспедиционного судна (НЭС) «Академик Федоров». Ввиду тяжелой ледовой обстановки в Центральной Арктике (толщина льда до 4 м) работы выполнялись в двухсудовом варианте - ледокол «Ямал» прокладывал канал во льдах для НЭС «Академик Федоров», а при сжатии льдов ледокол производил околку НЭС (в среднем 1 остановка на 8-9 км съемки). Всего из 10200 км съемки 7200 км проводились в сплоченном 10-балльном льду, и только 2700 км - в относительно чистой воде. Всего было получено 36 гравиметрических профилей (рис. 5), каталог гравиметрических пунктов содержит 71179 измерений.

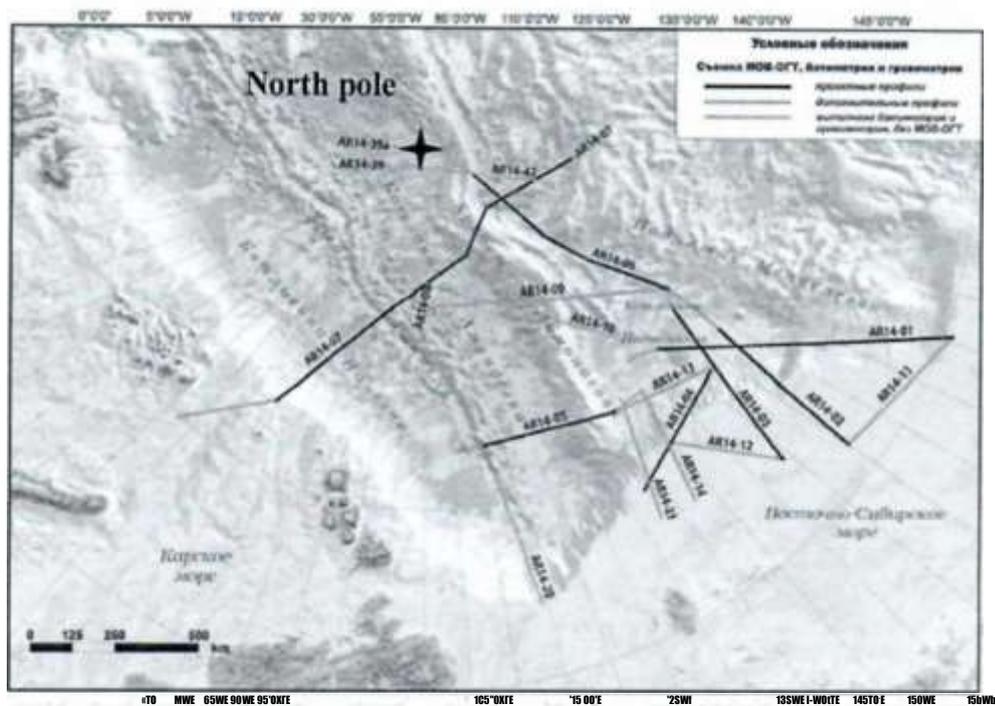


Рис. 5. Схема выполненных профилей морской гравиметрической съемки

Важнейшим результатом стало обнаружение высокочастотных аномалий гравитационного поля Земли, с пространственным разрешением менее 1 км и амплитудой 1-5 мГал.

Этот результат получен благодаря высокой точности измерений, выполненных с помощью морских гравиметров. Среднеквадратичная погрешность гравиметра «Чекан-АМ» составила 0,72 мГал, гравиметра «Шельф-Э» - 0,28 мГал. Сегодня эти гравиметры применяются геологическими компаниями и научными организациями 9 стран для детальной гравиметрической съемки в различных районах Мирового океана - от Гренландии до Антарктиды, а также для аэросъемки в труднодоступных участках суши, например в Гималаях.

Используемые гравиметры отличаются оригинальным чувствительным элементом - двойной кварцевой упругой системой (первоначально предложена Институтом физики Земли РАН [2]) и высокоточной оптоэлектронной системой списывания. Обеспечена полная автоматизация работы гравиметра и обработка полученной информации на борту судна. Конструктивные особенности

гравиметров «Чекан-АМ» рассмотрены в работе [3], а его усовершенствованной версии «Шельф-Э» - в работе [4].

В заключение отметим, что результаты гравиметрической съемки в Северном Ледовитом океане, наряду с одновременно проводившимися сейсмической и батиметрической съемками, используются в материалах, обосновывающих установление внешней границы континентального шельфа России в Арктике [5].

Литература

1. Глазко В.В., Соколов А.В., Краснов АА. Результаты морской гравиметрической съемки в полярных широтах гравиметрами «Чекан-АМ» и «Шельф-Э» // Навигация и гидрография. 2015. № 41. С. 47-51.
2. Железняк Л.К., Попов Е.И. Новая упругая система гравиметра // Гравиинерциальная аппаратура в геофизических исследованиях ИФЗ АН СССР. 1988. С. 78-90.
3. Блажнов Б.А., Несенюк Л.П., Пешехонов В.Г., Соколов А.В., Элинсон Л.С., Железняк Л.К. Интегрированный мобильный гравиметрический комплекс. Результаты разработки и испытаний // Применение гравиинерциальных технологий в геофизике. Санкт-Петербург, 2002. С. 33-44.
4. Краснов А.А., Соколов А.В., Элинсон Л.С. Новый аэроморской гравиметр серии «Чекан» // Гироскопия и навигация. 2014. № 1 (84). С. 26-34.
5. Зарубин СМ. Результаты комплексных морских исследований 2014 года по уточнению параметров внешней границы континентального шельфа (ВГКШ) Российской Федерации в Северном Ледовитом океане // Навигация и гидрография. 2015. № 39. С. 33-41.