

Научная статья  
УДК 527:656.6  
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-19-28>  
EDN ADVGIN

## Текущее состояние и перспективы развития навигационного обеспечения в Арктической зоне Российской Федерации

*Владимир Владимирович Каретников<sup>1</sup>, Денис Федорович Миляков<sup>2</sup>,  
Артем Александрович Буцанец<sup>3✉</sup>, Нина Сергеевна Агеева<sup>4</sup>*

<sup>1, 3, 4</sup>*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,  
Санкт-Петербург, Россия, [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru)*

<sup>2</sup>*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, Россия*

**Аннотация.** Проведен анализ текущего состояния и перспектив развития навигационного обеспечения в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) к 2030 г. по следующим направлениям: спутниковая навигация, наземные радионавигационные системы, навигация по естественным полям Земли. Актуальность исследования обусловлена стратегическим значением АЗРФ для обеспечения национальной безопасности страны в условиях геополитической напряженности, для развития национальной экономики страны. Рассмотрены современные технологии, включающие искусственный интеллект и искусственные нейронные сети. Использование естественных полей Земли представляется многообещающим направлением развития автономных навигационных решений. Высокочувствительные квантовые датчики позволяют фиксировать мельчайшие изменения магнитных и гравитационных полей планеты, обеспечивая точность даже в экстремальных ситуациях. Для повышения надежности и точности создаваемых систем необходим ряд исследований, направленных на улучшение характеристик датчиков, оптимизацию алгоритмов обработки сигналов и построение надежных эталонных карт земных полей. Применение искусственно-интеллектуальных систем и нейронных сетей открывает новые перспективы для анализа полученных данных и адаптации навигационного оборудования к различным условиям окружающей среды. Интеграция достижений в области квантовых технологий, искусственного интеллекта и геофизики позволит создать надежные и высокоточные навигационные комплексы, способные функционировать независимо от погодных условий и наличия спутниковых сигналов. Сделаны выводы о том, что необходимо дальнейшее развитие систем и средств навигации с учетом перспектив внедрения гибридных, комплексированных, интегрированных систем с использованием технологий искусственных нейронных сетей и искусственного интеллекта для дальнейшего повышения точности, доступности навигационного обеспечения.

**Ключевые слова:** глобальная спутниковая навигационная система, Арктическая зона Российской Федерации, Арктика, навигационное обеспечение, искусственный интеллект, нейронные сети

**Для цитирования:** Каретников В. В., Миляков Д. Ф., Буцанец А. А., Агеева Н. С. Текущее состояние и перспективы развития навигационного обеспечения в Арктической зоне Российской Федерации // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2026. № 1. С. 19–28. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-19-28>. EDN ADVGIN.

Original article

## The current state and prospects of navigation support development in the Russian Federation Arctic zone

*Vladimir V. Karetnikov<sup>1</sup>, Denis F. Milyakov<sup>2</sup>, Artem A. Butsanets<sup>3✉</sup>, Nina S. Ageeva<sup>4</sup>*

<sup>1, 3, 4</sup>*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Saint Petersburg, Russia, [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru)*

<sup>2</sup>*Russian State Hydrometeorological University,  
Saint Petersburg, Russia*

**Abstract.** The analysis of the current state and prospects for the development of navigation support in the Russian Federation Arctic zone (RFAZ) by 2030 in the following areas is carried out: satellite navigation, terrestrial radio navigation systems, navigation in the natural fields of the Earth. The relevance of the study is due to the strategic importance of the RFAZ to ensure the country's national security in conditions of geopolitical tension, for the development of the country's national economy. Modern technologies including artificial intelligence and artificial neural networks are considered. The use of Earth's natural fields seems to be a promising direction for the development of autonomous navigation solutions. Highly sensitive quantum sensors allow you to record the smallest changes in the planet's magnetic and gravitational fields, providing accuracy even in extreme situations. To improve the reliability and accuracy of the created systems, a number of studies are needed aimed at improving the characteristics of sensors, optimizing signal processing algorithms and building reliable reference maps of the earth's fields. The use of artificially intelligent systems and neural networks opens up new perspectives for the analysis of the data obtained and the adaptation of navigation equipment to various environmental conditions. The integration of advances in quantum technology, artificial intelligence and geophysics will create reliable and high-precision navigation systems that can function regardless of weather conditions and the presence of satellite signals. It was concluded that it is necessary to further develop navigation systems and means, taking into account the prospects for introducing hybrid, integrated, integrated systems using artificial neural network technologies and artificial intelligence to further improve the accuracy and availability of navigation support.

**Keywords:** global satellite navigation system, Arctic zone of the Russian Federation, Arctic, navigation support, artificial intelligence, neural networks

**For citation:** Karetnikov V. V., Milyakov D. F., Butsanets A. A., Ageeva N. S. The current state and prospects of navigation support development in the Russian Federation Arctic zone. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2026;1:19-28. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2026-1-19-28>. EDN ADVGIN.

## Введение

Территория Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) имеет стратегическое значение для страны благодаря богатым запасам природных ресурсов, проходящим через территорию АЗРФ логистическим маршрутам, развитию и контролю над Северным морским путем (СМП) как перспективной артерией между Европой и Азией, а также для обеспечения национальной безопасности страны в условиях геополитической напряженности. Регион играет ключевую роль в развитии национальной экономики страны, предоставляя доступ к запасам углеводорода и минералам. Однако его уникальные природно-климатические условия, включая экстремально низкие температуры, сложный ледовый режим, недостаточная изученность и развитость инфраструктуры, удаленность от центральных районов страны и особенности полярной навигации создают серьезные вызовы при формировании необходимого навигационного обеспечения в рассматриваемом районе, что определяет актуальность темы исследования [1–4]. Целью работы является проведение анализа современных навигационных систем, применяемых в АЗРФ, их перспективы дальнейшего развития к 2030 гг. в сложных природно-климатических условиях с особенностями инфраструктуры.

Территория АЗРФ составляет около 5 млн км<sup>2</sup>, поэтому к рассмотрению текущего состояния навигационных систем целесообразно отнести системы не ниже регионального уровня, а именно: глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), функциональные дополнения ГНСС, радиотехнические системы дальней навигации, технологии навигации по естественным полям Земли [5].

## Навигационное обеспечение в АЗРФ

Использование ГНСС в АЗРФ отвечает потребно-

стям безопасной навигации, но сталкивается с рядом проблем, обусловленных географическим положением региона, таких как ограниченная видимость спутников в высоких широтах, активности ионосферных возмущений, уязвимости сигналов от помех.

Согласно данным мониторинга со станций наблюдения на сайте системы дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), точность координирования в пространстве может превышать 10 м, а наибольшую долю ошибок в нее привносит высотная составляющая (табл. 1) [6].

При навигации в открытом море и вблизи побережья использование мультисистемного режима ГНСС обеспечивает достаточную точность, тогда как применение только ГЛОНАСС или GPS приводит к не критическому снижению точности с точки зрения обеспечения навигационной безопасности плавания судов. Однако для выполнения специализированных, исследовательских и дноуглубительных работ, а также для обеспечения безопасной проводки судов по каналам в сложных ледовых и гидрометеорологических условиях, указанных точностей может оказаться недостаточно [7]. Кроме того, здесь стоит принимать во внимание недостаточную изученность постели морского дна в большинстве районов АЗРФ.

Однако ГНСС активно модернизируются, их перспективы в мире характеризуются общим вектором развития, направленным на расширение номенклатуры излучаемых сигналов, повышение точности базовых навигационных услуг в пределах 1 м и доступности сервисов за счет расширения орбитальных группировок навигационных космических аппаратов (НКА) и освоения новых орбитальных сегментов. Основные перспективы развития отечественной и зарубежных ГНСС приведены в табл. 2.

Таблица 1

Table 1

**Данные мониторинга точности ГНСС**  
**Accuracy monitoring data of the global navigation satellite system**

Станция	Абсолютное отклонение (3D-ошибка), м		Отклонение в плане, м		Отклонение по высоте, м	
	Абсолютное решение	SBAS решение	Абсолютное решение	SBAS решение	Абсолютное решение	SBAS решение
МКМЛ БПУ2	12,12	0,54	3,82	0,49	-11,50	-0,22
БПУ3	11,49	0,26	4,88	0,22	-10,40	0,15
БПУ1	7,58	0,60	2,39	0,37	-7,20	-0,47
DIKS БПУ2	7,27	0,78	2,18	0,44	-6,93	-0,65
БПУ3	6,81	0,57	2,02	0,51	-6,50	-0,26
ASTN БПУ2	8,65	2,66	2,05	1,52	-8,40	2,18
БПУ3	7,23	3,10	1,50	1,46	-7,07	2,74
БПУ2	7,13	0,92	1,43	0,89	-6,98	-0,21
SVEK БПУ3	7,58	0,85	1,72	0,78	-7,38	-0,33
БПУ1	8,00	1,33	1,94	0,88	-7,76	-0,99
БПУ1	8,69	1,47	1,87	0,15	-8,49	1,46
SAMR БПУ2	8,83	1,32	1,83	0,32	-8,63	1,28
БПУ3	8,23	1,32	1,57	0,35	-8,08	1,27

Таблица 2

Table 2

**Перспективы развития ГНСС**  
**Prospects for the development of the global navigation satellite system**

Параметр сравнения	GPS (США)	«Галилео» (ЕС)	BeiDou (Китай)	ГЛОНАСС (РФ)	QZSS (Япония)
<i>Среднеорбитальный сегмент</i>					
Сигналы открытого доступа	L1C/A, L1C, L2C, L5	E1, E5, E5a, E5b, E6	B11, B1C, B21, B2a, B2b, B3I, S2C	L1OF, L20F, L10C, L20C, B3OC	L1C/A, L1C/B, L1C, L2C, L5, LIS, LISb, L5S, L6D, L6E
Планы по развитию малых НКА	Да	Нет	Нет	Да	–
Точность (95 %), м	0,56*	0,11*	0,38*	1,37*	–
Доступность, %	100	93	100	100	100
<i>Высокоорбитальный / геостационарный сегмент</i>					
Планы по развитию	НКА NTS-3	Нет	3 НКА на геостационарной спутниковой орбите (ГСО), 3 НКА на негеостационарной спутниковой орбите (НГСО)	6 НКА на НГСО, 3-4 НКА на ГСО	3 НКА на НГСО, + 1 НКА на ГСО

Катешников В. В., Милуаков Д. Е., Витасович А. А., Агеева Н. С. The current state and prospects of navigation support development in the Russian Federation Arctic zone

Параметр сравнения	GPS (США)	«Галилео» (ЕС)	«Бэйдоу» (Китай)	ГЛОНАСС (РФ)	QZSS (Япония)
<i>Низкоорбитальные системы / сегменты</i>					
Функция	Навигационные сигналы (НС); передача времени	НС	Коррекция, мониторинг ГНСС, контроль целостности	НС, высокоточная коррекция, мониторинг ГНСС	НС; высокоточная коррекция
Диапазон сигналов	TrustPoint: C; Satelles: L	UHF, L, S и C	L	L, Ки	ArkEdge: VHF; JAXA LEO: C
Планируемое количество НКА	TrustPoint: 300; Satelles: н/д; Xona: 258	8	CENTISACE: 190; SATNET LEO: 500	Более 150	580

\* По данным из открытых источников на июль 2023 г.

Согласно табл. 2 значительный акцент в достижении целей делается на использование низкоорбитального сегмента, состоящего из большого количества НКА, что в первую очередь позволит повысить качество предоставляемых навигационных услуг в высоких широтах.

Использование отечественной СДКМ в Арктике обеспечивает повышение точности координатного обеспечения до 1,5 м в плане [8], но осложняется ограниченной доступностью сигналов коррекции от геостационарных спутников в высоких широтах (рис. 1).

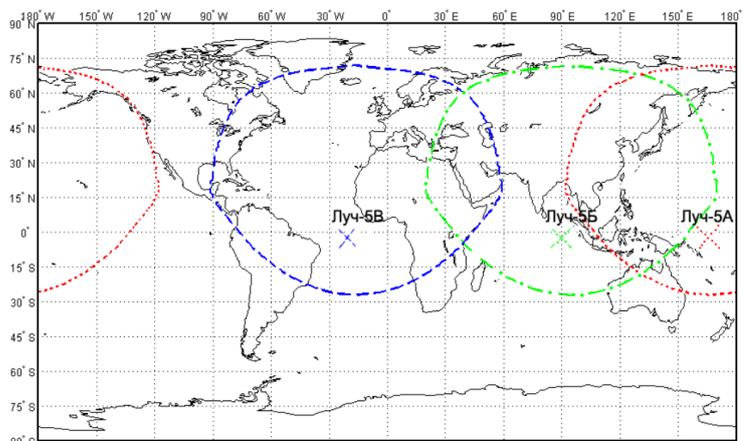


Рис. 1. Зоны уверенного обслуживания системой дифференциальной коррекции и мониторинга

Fig. 1. Areas of confident maintenance of the differential correction and monitoring system

В дополнение к сказанному: СДКМ по-прежнему работает в тестовом режиме и подвержена периодическим отключениям в связи с нестабильной геополитической обстановкой в европейской части.

В планах развития к 2030 г. СДКМ нацелена на достижения точности до 30 см за счет модернизации наземной инфраструктуры и алгоритмов обработки данных, улучшения модели поправок для ионосферных задержек (режима PPP) и увеличения количества станций сбора измерений, которых на данный момент насчитывается 53 шт. Также анонсировано введение дополнительного спутника ретранслятора корректирующих сигналов, интегра-

ция с системой BeiDou, развитие наземной инфраструктуры обработки данных и передача информации через интернет (SISNeT).

Локальные функциональные дополнения, строящиеся на основе контрольно-корректирующих станций (ККС) [9], обеспечивающие дифференциальными поправками потребителей в частотном диапазоне 283,5–325,0 кГц не покрывают и половины акватории СМП. Кроме ККС все станции требуют восстановления технического ресурса или глубокой модернизации. Модернизацию прошла ККС Олений, а станции Стерлигова и Столбовой фактически не работают (рис. 2).



Рис. 2. Контрольно-корректирующие станции на Северном морском пути [6]

Fig. 2. Control and correction stations on the Northern Sea Route [6]

Тем не менее, существует вероятность, что по результатам модернизации оборудования как станций, так и передающих антенно-мачтовых устройств в совокупности с реализацией нового формата диф-

ференциальных поправок, обеспечивающих расширение зоны обслуживания каждой ККС от 600 км и более, можно достигнуть 80 % покрытия акватории СМП (рис. 3).

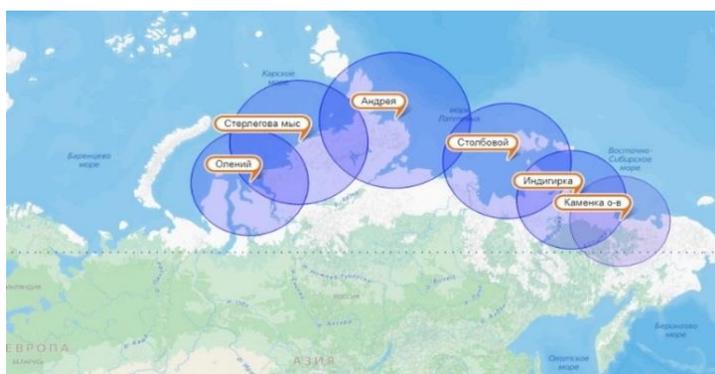


Рис. 3. Контрольно-корректирующие станции на Северном морском пути с радиусом покрытия 600 км [6]

Fig. 3. Control and correction stations on the Northern Sea Route with a coverage radius of 600 km [6]

Такое развитие сервиса с использованием ККС видится приемлемым, однако решение остается за обслуживающей организацией. Недостатком использования нового формата дифференциальных поправок является его ориентация исключительно на современную двухдиапазонную навигационную аппаратуру потребителя, а также отсутствие национального стандарта, регламентирующего порядок их применения [10, 11].

Радионавигационные системы длинноволнового диапазона (РСДН), такие как «Лоран-С», «Чайка» и «РСДН-20» («Маршрут», «Маршрут-Д»), традиционно считаются надежным средством навигации в Арктике благодаря их устойчивости к воздействию сложных погодных условий и отсутствию зависимости от спутниковых сигналов. Однако ключевая проблема заключается в том, что значительная часть парка радионавигационной аппаратуры на территории России морально и физически устарела: оборудование эксплуатируется

с советских времен, запасы запчастей практически исчерпаны, а производство новых устройств под большим вопросом. На гражданском флоте ситуация еще более острая – использование РСДН практически полностью прекратилось из-за сложности эксплуатации приемников, низкой точности получаемых навигационных решений (от 100 до 1 500 м) и подавляющей ориентации на ГНСС-технологии.

По нашему мнению, РСДН не стоит скидывать со счетов, поскольку они обладают рядом уникальных преимуществ, особенно в условиях Арктики, а современные вычислительные алгоритмы и методы обработки данных открывают новые возможности для повышения их точности и надежности, включая использование технологий машинного обучения для коррекции и интерпретации сигналов. Если сети «РСДН-5», «Лоран-С» и «Чайка» не закрывают восточную часть акватории СМП, то система «РСДН-20» имеет практически глобальную зону действия (рис. 4).



Рис. 4. Зоны действия системы «РСДН-20» [6]

Fig. 4. RSDN-20 system coverage areas [6]

В качестве перспектив развития радиотехнических систем навигации следует обратиться к результатам опытно-конструкторской работы «Альтернатива-Н», срок окончания которой планируется в 2028 г. По итогам выполнения опытно-конструкторской работы должна быть разработана «Комплексная радиотехническая система» координатно-временного и информационного обеспечения потребителей с зоной покрытия  $5\,000 \times 2\,000 \times 20$  км вдоль северного побережья РФ, объединяющая в себе все рассмотренные выше навигационные решения (от ГНСС до локальных систем навигации) и обеспечивающая точности не хуже 150 м в базовом режиме на удалении до 700 км, 10 м в дифференциальном режиме на удалении до 50 км. В рамках опытно-конструкторской работы предусмотрена разработка соответствующего приемоиндикатора, обеспечивающего комплексирование навигационных решений по используемым в системе методам.

Когда мы задумываемся об альтернативных ГНСС способах навигации, то на уровне систем с глобальным покрытием на ум приходят естественные поля Земли. Такие поля, как геомагнитное и гравитационное, уже достаточно давно применяются в навигационной практике и привлекают

внимание благодаря своей универсальной доступности, независимости от искусственной инфраструктуры и способности работать в условиях, где спутниковые технологии оказываются ущемленными, например в городах, под водой, под землей или в условиях радиопомех. За годы наблюдений и исследований накоплены обширные массивы данных об их характеристиках, созданы детальные модели и разработаны методы их использования. Современные технологии, включая высокочувствительные датчики и алгоритмы машинного обучения, открывают новые возможности для повышения точности измерений и интерпретации данных, получаемых на основе естественных полей Земли, что делает их перспективным дополнением или даже заменой традиционным системам позиционирования в сложных условиях.

На основании анализа данных из открытых источников, включая рекламные материалы производителей и информацию в интернете, можно заключить, что наиболее совершенные современные гравиметры, работающие в относительном режиме, демонстрируют чувствительность на уровне порядка 1 мкГал (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Характеристики гравиметров\*

Characteristics of gravimeters\*

Система	Тип	Точность, мГал	Применение	Страна
ГНУ-КВ	Абсолютный	0,03	Эталонные измерения, геодезия	Россия
Chekan-AM	Морской гравиметр	0,4	Исследования	Россия
L&R Air-Sea Gravity Meter	Авиационный морской гравиметр	2	Аэрогравиметрия, океанология	США
Micro-g LaCoste gPhone FG5-X	Относительный	0,0015	Мониторинг вулканов	США
CG-6 Autograv	Относительный	0,001–0,005	Разведка полезных ископаемых	Канада
Scintrex CG-5	Относительный	0,001–0,01	Геофизическая разведка	Канада

\* Составлено по [12–14].

Современные магнетометры достигают чувствительности на уровне порядка 0,01–1 нТл, что делает эти приборы важным инструментом для широкого спектра приложений: от геофизических исследований и картографирования аномалий магнитного поля до навигационных задач и поиска ископаемых. Достижение подобной чувствительности стало возможным благодаря использованию передовых технологий, таких как сверхпроводящие квантовые интерференционные устройства (СКВИДы), оптические атомные магнетометры и прецизионные датчики на основе эффекта Холла.

Однако практическая эксплуатация гравиметров и магнетометров требует учета влияния внешних факторов, таких как сейсмическая активность, изменения плотности пород, электромагнитные помехи, температурные колебания и наличие (учет) аномалий, что может существенно влиять на точность измерений и требует применения специальных карт, методов компенсации и коррекции данных.

С учетом вышесказанного точность навигации по геомагнитному и гравитационному полям Земли сегодня может лежать в пределах первой сотни метров в идеальных условиях. В сложных условиях, таких как Арктика или зоны с высокой техногенной активностью, погрешности могут возрастать до нескольких сотен метров, что требует дополнительной корректировки с использованием эталонных карт полей или комбинирования с другими методами навигации. Важно, что уточняющим обстоятельством становится именно наличие известных аномалий с высокими показателями градиента геомагнитного и гравитационного полей, которые позволяют использовать их уникальные характеристики в качестве «ориентиров» в зависимости от степени изученности этих анома-

лий и наличия достоверных данных.

Активные разработки в области квантовых сенсоров, а также достижения в применении алгоритмов искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей открывают новые горизонты для повышения точности и надежности навигации на основе естественных полей Земли. Квантовые сенсоры, обладающие беспрецедентной чувствительностью, позволяют значительно улучшить качество измерений гравитационного и магнитного полей, обеспечивая стабильность работы в сложных условиях, таких как Арктика. В дополнение к этому, использование искусственного интеллекта и искусственных нейронных сетей в анализе больших объемов данных и их возможности по выявлению скрытых зависимостей, как нам видится, позволит точнее корректировать погрешности, строить высокоточные эталонные карты полей и прогнозировать их изменения в реальном времени. Эти технологии создают основу для создания автономных, отказоустойчивых систем навигации, способных дополнять или даже заменять традиционные ГНСС.

Обратим внимание на сообщение компании Q-CTRL (Австралия) о создании квантовой системы навигации, основанной на измерении магнитного поля Земли, показавшей, со слов основателя компании, профессора квантовой физики и квантовых технологий Сиднейского университета М. Дж. Биркука: «...работоспособность квантовых навигационных технологий компании в реальных условиях, превращающую GPS-решения до 50 раз, обеспечивая реальное коммерческое и стратегическое преимущество» [15].

Аппаратная часть сочетает высокочувствительный квантовый скалярный магнитометр с оптической накачкой атомов рубидия (рис. 5).

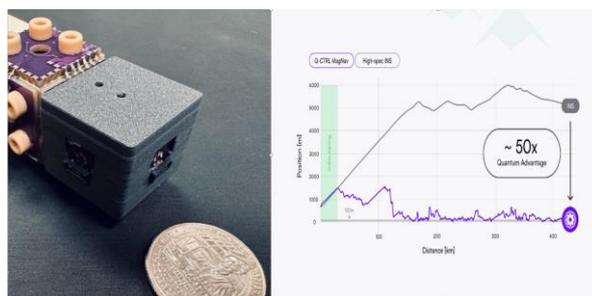


Рис. 5. Квантовый датчик компании Q-CTRL [15]

Fig. 5. Q-CTRL quantum sensor [15]

В качестве эталона используется инерциальная система стратегического класса точности от компании Lockheed Martin. Второй основой успешного решения является специальное программно-математическое обеспечение, компенсирующее дрейф датчиков по совокупности разнородных внешних данных [16].

## Результаты и обсуждение

Можно предположить, что с развитием квантовых технологий в производстве датчиков откроются новые перспективы навигации с использованием и других естественных полей Земли, например:

- космическое излучение от пульсаров, магне-

таров, квазаров, мюонов с энергией  $> 1$  ГэВ и распадом около 2–3 мкс, которые изотропно достигают Земли. Мюонная томография способна фиксировать их поток и углы прихода;

- сейсмические, по разности хода продольных и поперечных сейсмических волн от известного источника;
- атмосферные, по характерным воздушным потокам, по аналогии с ориентированием перелетных птиц;
- электрические, по слабым электрическим полям в средах;
- акустические на инфразвуковых волнах;
- термическое, подводные течения, ключи и прочие аномалии;
- оптические, с помощью лазерной голографии электромагнитного излучения.

Сегодня квантовые датчики уже перешли из разряда теоретических разработок в плоскость практического применения, и в ближайшем будущем они смогут эффективно использоваться для измерения таких параметров, как:

- магнитные поля, ожидаемая чувствительность – до  $10^{-15}$  Тл;
- гравитационные поля и ускорения с точностью до  $10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>;
- время и частота с точностью до  $10^{-18}$  с;
- электрические поля до  $10^{-7}$  В/м;
- температура до  $10^{-6}$  град;
- давление до единиц Па;
- угловая скорость вращения с точностью до  $10^{-10}$  рад/с.

Помимо сверхвысокой чувствительности/точности измерений, квантовые датчики ожидаемо будут отличаться компактными размерами, а при возможности создания эффективной технологии серийного производства и доступной ценой.

Возможности искусственных нейронных сетей широко обсуждаются в современной научной и технической литературе, и их применение охватывает множество областей – от медицины до ав-

тономной навигации. Однако важно подчеркнуть их уникальную способность эффективно моделировать сложные нелинейные зависимости, которые часто встречаются в реальных физических процессах, таких как изменения параметров полей Земли. Возможность нейронных сетей позволяет анализировать большие объемы накопленных данных измерений, выявлять скрытые закономерности и строить точные модели даже в условиях высокой изменчивости входных параметров. Это делает их незаменимыми при работе с многофакторными системами, где традиционные линейные методы анализа оказываются недостаточно эффективными [17–19].

### **Заключение**

Использование естественных полей Земли в навигации будущего снова представляет собой перспективное направление, способное существенно расширить возможности современных систем позиционирования. Совокупность технологий, включающая высокочувствительные квантовые датчики и передовые вычислительные алгоритмы с использованием искусственных нейронных сетей и искусственного интеллекта, позволяет создавать отказоустойчивые, автономные и точные решения, особенно в условиях, где спутниковые технологии становятся недоступны или неэффективны.

Однако для реализации потенциала этих методов необходимы дальнейшие исследования, направленные на совершенствование чувствительности сенсоров, разработку более эффективных моделей обработки данных и создание глобальных эталонных карт полей. Только комплексный подход, объединяющий достижения в области квантовых технологий, машинного обучения и геофизики, сможет обеспечить качественный прорыв в развитии навигационных систем, способных работать в любых условиях, от арктических широт до подводных глубин, формируя основу для универсальной и надежной глобальной навигации будущего.

### **Список источников**

1. Кузнецова М. Н., Васильева А. С. Транспортная инфраструктура регионов Западной и Центральной Арктики Российской Федерации: анализ, перспективы // Арктика и Север. 2024. № 56. С. 49–73. DOI 10.37482/issn2221-2698.2024.56.49.
2. Ананьева А. А. Навигация в Арктике: спутниковые стратегии повышения безопасности на море. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/navigatsiya-v-arktike-sputnikovye-strategii-povysheniya-bezopasnosti-na-more> (дата обращения: 18.10.2025).
3. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: Указ Президента РФ от 26.10.2020 № 645. URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972?ysclid=mlf3nbor3w734832921> (дата обращения: 17.11.2025).
4. Ходос А. В. Актуальные вопросы и нормативно-правовые основы обеспечения национальных интересов России в Арктике // Трансп. право и безопасность. 2025. № 1 (53). С. 146.
5. Лиихевич О. Н., Мешалов А. В. Основные проблемы, возникающие при обеспечении связи и навигации в условиях Арктики Северного морского пути // Вестн. Гос. мор. ун-та им. адм. Ф. Ф. Ушакова. 2024. № 2 (47). С. 30–37.
6. Миляков Д. Ф. Мировые тенденции развития МДПС стран в последнее десятилетие // Навигация и гидрография. 2023. № 3 (72). С. 7–12.
7. Буцавец А. А., Каретников В. В., Миляков Д. Ф. Тенденции развития морских дифференциальных подсистем ГНСС ГЛОНАСС/GPS в странах мира за последние 10 лет // Мор. радиоэлектроника. 2023. № 4 (86). С. 60–63.
8. Каретников В. В., Миляков Д. Ф., Шахнов С. Ф.

Применение глобальных навигационных спутниковых систем на внутренних водных путях Российской Федерации. М.: Наука, 2021. 288 с.

9. Каретников В. В., Миляков Д. Ф., Милякова Я. Д. Выбор метода дифференциальной коррекции для обеспечения Северного морского пути корректирующей информацией ГНСС ГЛОНАСС/GPS // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2016. № 4 (38). С. 184–192. DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-4-184-192.

10. Брянова Я. Д., Каретников В. В., Миляков Д. Ф. Навигационное обеспечение Северного морского пути: функциональные дополнения ГНСС // Мор. радиоэлектроника. 2018. № 2 (64). С. 8–11.

11. Брянова Я. Д., Каретников В. В., Миляков Д. Ф., Сикарев А. А. Навигационное обеспечение Северного морского пути: проблемы и перспективы развития // Мор. радиоэлектроника. 2017. № 4 (62). С. 24–28.

12. ТИГЕО – Гравиметр наземный узкодиапазонный с кварцевой чувствительной системой класса В ГНУ-КВ. URL: <https://tigeo.ru/catalog/gravimetr-gnu-kv/> (дата обращения: 03.05.2025).

13. Гравиметры наземные узкодиапазонные с кварцевой чувствительной системой класса В ГНУ-КВ / Справочник средств измерений России. URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/50841-12-gnu-kv-53965> (дата обращения: 12.05.2025).

14. Чекан-АМ. Модель Shelf – мобильный гравиметр /

Электроприбор. URL: <http://www.elektropribor.spb.ru/catalog/oborudovanie-dlya-neftegazovogo-kompleksa/chekanam-model-shelf-mobilnyy-gravimetr/> (дата обращения: 13.05.2025).

15. Q-CTRL преодолевает отрицание GPS с помощью квантового зондирования и достигает квантового преимущества. URL: <https://q-ctrl.com/blog/q-ctrl-overcomes-gps-denial-with-quantum-sensing-achieves-quantum-advantage> (дата обращения: 13.05.2025).

16. Quantum magnetic navigation delivers positioning accuracy exceeding that of a strategic grade inertial navigation system in airborne and terrestrial field trials. URL: <https://arxiv.org/abs/2504.08167> (дата обращения: 13.05.2025).

17. Миляков Д. Ф. Метод учета имплицитного окружения при проведении ситуационного анализа в ГИС // Гидрометеорология и экология. 2025. Вып. 78. С. 128–139.

18. Фирсов Ю. Г. Современная цифровая гидрография и требования новых международных стандартов для батиметрической съемки // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2024. Т. 16. № 1. С. 17–36. DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-1-17-36.

19. Фирсов Ю. Г., Зинченко А. Г. Проблемы картографического обеспечения при изучении Северного Ледовитого океана и задачи батиметрических исследований в Российской Арктике // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2023. Т. 15. № 2. С. 226–246. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-2-226-246.

## References

1. Kuznecova M. N., Vasil'eva A. S. Transportnaya infrastruktura regionov Zapadnoj i Central'noj Arktiki Rossijskoj Federacii: analiz, perspektivy [Transport infrastructure of the Western and Central Arctic regions of the Russian Federation: analysis, prospects]. *Arktika i Sever*, 2024, no. 56, pp. 49-73. DOI 10.37482/issn2221-2698.2024.56.49.

2. Anan'eva A. A. *Navigaciya v Arktike: sputnikovyje strategii povysheniya bezopasnosti na more* [Navigation in the Arctic: satellite strategies for improving maritime safety]. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/navigatsiya-v-arkti-ke-sputnikovyje-strategii-povysheniya-bezopasnosti-na-more> (accessed: 18.10.2025).

3. *O Strategii razvitiya Arkticheskoj zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2035 goda: Ukaz Prezidenta RF ot 26.10.2020 № 645* [On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the period up to 2035: Decree of the President of the Russian Federation dated October 26, 2020 No. 645]. Available at: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972?ysclid=mlf3nbor3w734832921> (accessed: 17.11.2025).

4. Hodos A. V. Aktual'nye voprosy i normativno-pravovye osnovy obespecheniya nacional'nyh interesov Rossii v Arktike [Current issues and the regulatory framework for ensuring Russia's national interests in the Arctic]. *Transportnoe pravo i bezopasnost'*, 2025, no. 1 (53), p. 146.

5. Liihevich O. N., Meshalov A. V. Osnovnye problemy, vznikayushchie pri obespechenii svyazi i navigacii v usloviyah Arktiki Severnogo morskogo puti [The main problems encountered in providing communications and navigation in the Arctic of the Northern Sea Route]. *Vestnik Gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F. F. Ushakova*, 2024, no. 2 (47), pp. 30-37.

6. Milyakov D. F. Mirovye tendencii razvitiya MDPS stran v poslednee desyatiletie [The main problems that arise in ensuring communication and navigation in the Arctic of the Northern Sea Route Global trends in the development of MDPS countries in the last decade]. *Navigaciya i gidrografiya*, 2023, no. 3 (72), pp. 7-12.

7. Bucanec A. A., Karetnikov V. V., Milyakov D. F. Tendencii razvitiya morskikh differencial'nyh podsystem GNSS GLONASS/GPS v stranah mira za poslednie 10 let [Trends in the development of marine differential GNSS GLONASS/GPS subsystems in the world over the past 10 years]. *Morskaya radioelektronika*, 2023, no. 4 (86), pp. 60-63.

8. Karetnikov V. V., Milyakov D. F., Shahnov S. F. *Prime-nenie global'nyh navigacionnyh sputnikovyh sistem na vnutren-nih vodnyh putyakh Rossijskoj Federacii* [Application of global navigation satellite systems on the in-land waterways of the Russian Federation]. Moscow, Nauka Publ., 2021. 288 p.

9. Karetnikov V. V., Milyakov D. F., Milyakova Ya. D. Vybormetoda differencial'noj korrekcii dlya obespecheniya Severnogo morskogo puti korrektruyushchej informaciej GNSS GLONASS/GPS [Choosing a differential correction method to provide the Northern Sea Route with GNSS/GLONASS/GPS correction information]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2016, no. 4 (38), pp. 184-192. DOI 10.21821/2309-5180-2016-8-4-184-192.

10. Bryanova Ya. D., Karetnikov V. V., Milyakov D. F. Navigacionnoe obespechenie Severnogo morskogo puti: funkcional'nye dopolneniya GNSS [Navigation support of the Northern Sea Route: functional additions of GNSS]. *Morskaya radioelektronika*, 2018, no. 2 (64), pp. 8-11.

11. Bryanova Ya. D., Karetnikov V. V., Milyakov D. F., Sika-rev A. A. Navigacionnoe obespechenie Severnogo morskogo

puti: problemy i perspektivy razvitiya [Navigation support of the Northern Sea Route: problems and prospects of development]. *Morskaya radioelektronika*, 2017, no. 4 (62), pp. 24-28.

12. *TIGEO – Gravimetr nazemnyj uzkodiapazonnyj s kvarcevoj chuvstvitel'noj sistemoj klassa V GNU-KV* [The TIGEO – gravimeter is a ground-based narrow-band with a quartz sensitive system of class B GNU-KV]. Available at: <https://tigeo.ru/catalog/gravimetr-gnu-kv/> (accessed: 03.05.2025).

13. *Gravimetry nazemnye uzkodiapazonnye s kvarcevoj chuvstvitel'noj sistemoj klassa V GNU-KV* [Ground-based, narrow-band gravimeters with a quartz sensing system of class B GNU-KV]. *Spravochnik sredstv izmerenij Rossii*. Available at: <https://all-pribors.ru/opisanie/50841-12-gnu-kv-53965> (accessed: 12.05.2025).

14. *Chekan-AM. Model' Shelf – mobil'nyj gravimetr* [The Shelf model is a mobile gravimeter]. *Elektropribor*. Available at: <http://www.elektropribor.spb.ru/katalog/oborudovanie-dlya-neftegazovogo-kompleksa/chekan-am-model-shelf-mobilnyy-gravimetr/> (accessed: 13.05.2025).

15. *Q-CTRL preodolevaet otricanie GPS s pomoshch'yu kvantovogo zondirovaniya i dostigaet kvantovogo preimushchestva* [Q-CTRL overcomes GPS denial with quantum sensing and achieves quantum advantage]. Available at: <https://q-ctrl.com/blog/qctrl-overcomes-gps-denial-with-quantum-sensing-achieves-quantum-advantage> (accessed: 13.05.2025).

16. *Quantum magnetic navigation delivers positioning accuracy exceeding that of a strategic grade inertial navigation system in airborne and terrestrial field trials*. Available at: <https://arxiv.org/abs/2504.08167> (accessed: 13.05.2025).

17. Milyakov D. F. Metod ucheta implicitnogo okruzheniya pri provedenii situacionnogo analiza v GIS [The method of taking into account the implicit environment when conducting situational analysis in GIS]. *Gidrometeorologiya i ekologiya*, 2025, iss. 78, pp. 128-139.

18. Firsov Yu. G. Sovremennaya cifrovaya gidrografiya i trebovaniya novyh mezhdunarodnyh standartov dlya batimetricheskoj s'emki [Modern digital hydrography and the requirements of new international standards for bathymetric surveying]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2024, vol. 16, no. 1, pp. 17-36. DOI 10.21821/2309-5180-2024-16-1-17-36.

19. Firsov Yu. G., Zinchenko A. G. Problemy kartograficheskogo obespecheniya pri izuchenii Severnogo Ledovitogo okeana i zadachi batimetricheskih issledovanij v Rossijskoj Arktike [Problems of cartographic support in the study of the Arctic Ocean and the tasks of metric research in the Russian Arctic]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2023, vol. 15, no. 2, pp. 226-246. DOI 10.21821/2309-5180-2023-15-2-226-246.

Статья поступила в редакцию 05.12.2025; одобрена после рецензирования 04.02.2026; принята к публикации 11.02.2026  
The article was submitted 05.12.2025; approved after reviewing 04.02.2026; accepted for publication 11.02.2026

### Информация об авторах / Information about the authors

**Владимир Владимирович Каретников** – доктор технических наук, профессор; заведующий кафедрой судоходства на внутренних водных путях; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; [karetnikov@yandex.ru](mailto:karetnikov@yandex.ru)

**Денис Федорович Мильков** – кандидат технических наук; доцент кафедры информационных технологий и систем безопасности; Российский государственный гидрометеорологический университет; [denism@navis.spb.su](mailto:denism@navis.spb.su)

**Артем Александрович Буцанец** – кандидат технических наук; начальник отдела научно-технической информации и интеллектуальной собственности; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru)

**Нина Сергеевна Агеева** – кандидат технических наук; доцент кафедры телекоммуникаций и защиты информации; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; [ageevans@gumrf.ru](mailto:ageevans@gumrf.ru)

**Vladimir V. Karetnikov** – Doctor of Technical Sciences, Professor; Head of the Department of Navigation on Inland Waterways; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; [karetnikov@yandex.ru](mailto:karetnikov@yandex.ru)

**Denis F. Milyakov** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Information Technology and Security Systems; Russian State Hydrometeorological University; [denism@navis.spb.su](mailto:denism@navis.spb.su)

**Artem A. Butsanets** – Candidate of Technical Sciences; Head of the Department of Scientific and Technical Information and Intellectual Property; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; [butsanetsaa@gumrf.ru](mailto:butsanetsaa@gumrf.ru)

**Nina S. Ageeva** – Candidate of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Telecommunications and Information Security; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; [ageevans@gumrf.ru](mailto:ageevans@gumrf.ru)

