

Системы СНЧ-радиосвязи и мониторинга среды:

перспективное направление конверсионной политики России

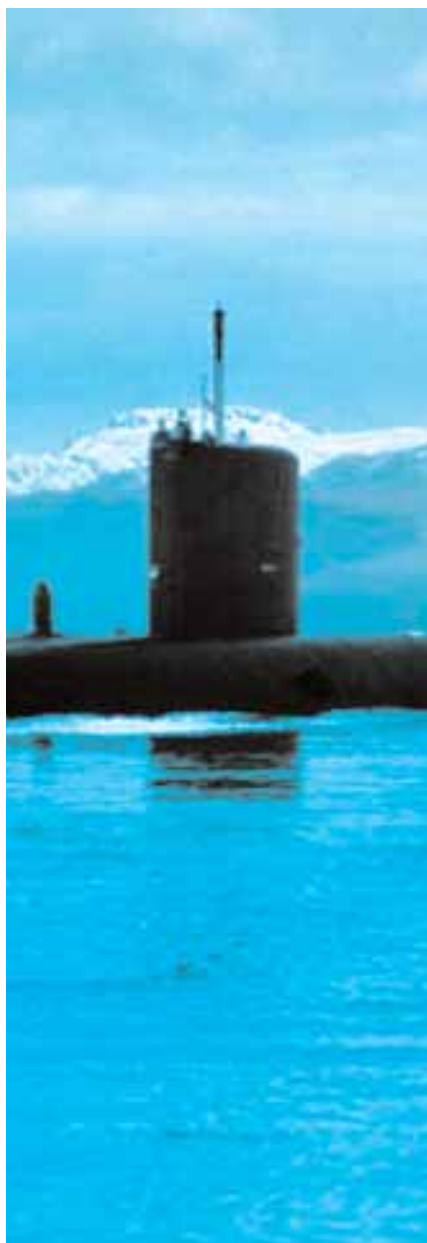
Кононов Ю.М., Начальник Связи Военно-Морского Флота
Жамалетдинов А.А., главный научный сотрудник Геологического института Кольского научного центра РАН, профессор, доктор геолого-минералогических наук

■ *дея сверхнизкочастотной радиосвязи (далее - СНЧ-радиосвязи) возникла в начале 60-х гг. прошлого века. Основное преимущество СНЧ-радиоволн заключается в их малом затухании в сферическом волноводе "Земля - ионосфера" (порядка 2-3 дБ/1000 км) и слабой зависимости параметров их распространения от рельефа и магнитных бурь. Этот тип радиосвязи наиболее стабилен по сравнению с обычной высокочастотной радиосвязью.*

От "Зевса" и "Сангвина" к земным проблемам

Основным преимуществом СНЧ-радиосвязи, привлечшим внимание военно-морских специалистов, стала возможность ее использования для связи с погруженными объектами. Благодаря значительной длине СНЧ-радиоволны, достигающей 3000 км в воздушном пространстве, электромагнитное поле глубоко проникает в стенки волновода "Земля - ионосфера". В морскую воду поле может проникать до глубины 60-70 м на частоте 50 - 100 Гц. (Для сравнения: сверхдлинноволновые радиостанции могут обеспечить проникновение электромагнитного поля в морскую воду лишь до глубины 2-3 м.)

В начале 1970-х гг. в США и бывшем СССР практически одновременно были созданы две СНЧ-радиостанции для связи с подводными лодками - "Зевс" и "Сангвин". Широко разрекламированная система СНЧ-радиосвязи США, расположенная в районе Великих озер, не получила дальнейшего развития по экономическим соображениям. Расположенная на Кольском полуострове антенна "Зевс" - единственный действующий объект этого типа. Антенна представляет собой две параллельные линии электропередачи длиной 60 км каждая, ко-



торые питаются от двух свич-генераторов синусоидального напряжения, установленных у ближних заземлений. Передатчик обеспечивает ток в антеннах до 200 - 300 А в диапазоне частот от 20 до 200 Гц (Велихов и др., 1994г.). Синусоидальный ток в антеннах может задаваться на сетке частот с шагом в 0.1 Гц. Частота задающего генератора определяется системой "Гиацинт" с точностью не хуже 10^{-7} с.

Антенна "Зевс" расположена на мурманском кристаллическом блоке архейского возраста. Земная кора в этом районе отличается крайне высоким сопротивлением, достигающим 10^5 ом-метров на глубинах 10-15 км. Фактор этот благоприятен, так как обеспечивает высокий магнитный момент источника "Зевс" - порядка $1.5 \cdot 10^{11}$ А м². На рис. 1 приведена теоретически рассчитанная схема изолиний полного горизонтального магнитного поля на частоте 100 Гц при силе тока в антенне 300 А.

Штриховкой выделены основные сейсмоопасные районы бывшего СНГ, представляющие интерес для электромагнитного мониторинга с целью прогноза землетрясений. На схеме изолиний можно видеть, что магнитное поле изменяется от $\approx 0.05 - 0.07$ пикатесла в сейсмоопасных районах Северного Кавказа до ≈ 0.04

пикатесла в районе действующих вулканов на Камчатке. Современная спецаппаратура способна регистрировать эти сигналы. Во многих пунктах на территории СНГ (во Владивостоке, Забайкалье, Крыму и на Кавказе) уже проводились соответствующие записи СНЧ-сигналов. Полученные амплитуды поля близки к представленным на рис. 1.

Установка "Зевс" в настоящее время является уникальным объектом СНЧ-радиосвязи. Очевидные ее преимущества, однако, не вполне бесспорны. Нужно указать на односторонний характер связи, поскольку большие длины волн предполагают сооружение громоздких антенн с линейными размерами в десятки (до одной сотни) километров. Значительные потери при излучении требуют использования мощных источников. Коэффициент преобразования составляет 10^{-5} , а это значит,

что на каждый ватт излучаемой энергии необходимо затратить до 100 кВт энергии генераторов.

Стремительное развитие компьютеризированных средств цифровой обработки информации, а также появление новейших маломощных антенн для регистрации слабых сигналов и широкие возможности использования спутниковых систем синхронизации сигналов источника и приемников предопределяют новые направления в развитии СНЧ-радиосвязи. При этом основные перспективы связываются с разработкой систем многоцелевого назначения, ориентированных, с одной стороны, на дальнейшее развитие возможностей СНЧ-систем для их работы по прямому назначению в интересах дальней связи ВМФ России, а с другой - на решение задач фундаментальной и прикладной геофизики.

Диапазон практического при-

менения радиоантенны "Зевс" чрезвычайно широк: это, прежде всего, изучение глубинного строения земной коры и отдельно взятых рудных полей, а также нахождение территорий, перспективных в смысле поиска рудных и нефтяных месторождений. Возможности для исследований обусловлены большой глубиной проникновения СНЧ-волн в земную кору - порядка 10-15 км. Успешные эксперименты проводились в Карело-Кольском регионе и в Южной Финляндии. С помощью электромагнитного поля источника "Зевс" может быть создана беспроводная подземная радиосвязь, исследованы свойства ионосферного волновода, проведен поиск мест для захоронения радиоактивных отходов, а также изучено напряженное состояние земной коры, горных ударов и даже предсказаны землетрясения. Особенность такой многоцелевой установки с излучателем высокой мощности - в возможности решать разноплановые задачи одновременно в разных регионах, по синхронной программе пусков источника "Зевс", согласованной со всеми заказчиками работ. Рентабельность такой установки напрямую зависит от числа потребителей.

СНЧ-мониторинг как средство для изучения динамики земных недр и прогноза землетрясений

Одно из наиболее перспективных направлений использования СНЧ-радиоустановки "Зевс" по линии конверсии - это проведение электромагнитного мониторинга, то есть долговременных систематических наблюдений на отдельных объектах с целью выявить динамику развития тех или иных процессов в среде. При этом может проводиться прогнозирование горных ударов в рудниках и изучение предвестников землетрясений, осуществляться контроль над устойчивостью крупных гидротехнических сооружений, атомных станций и др.

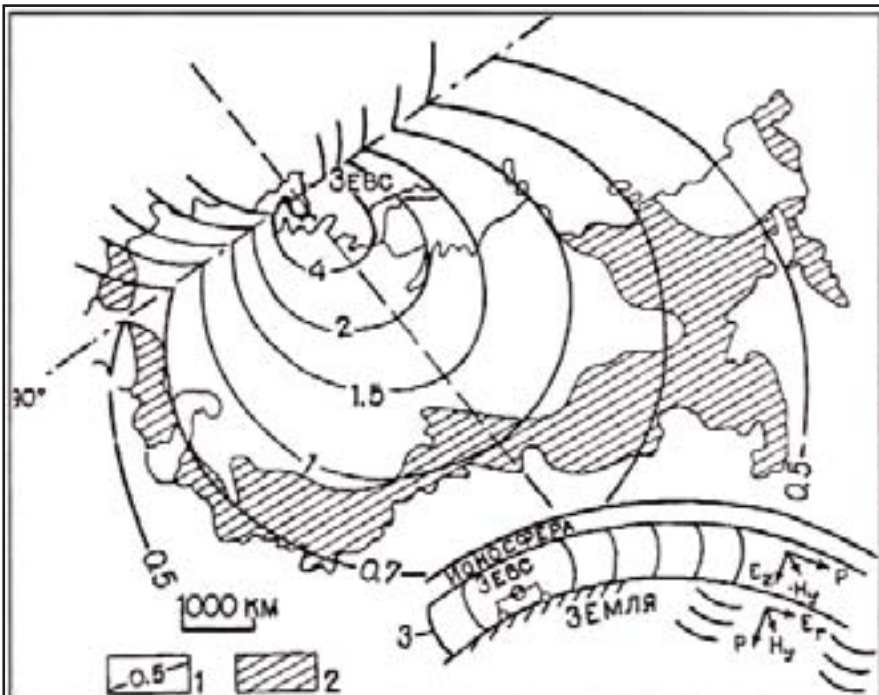


Рис. 1. СНЧ-антенна "Зевс" и схема распространения излучаемого ею магнитного поля на территории СНГ.

Условные обозначения:

- 1 - изолинии магнитного поля в единицах 10^4 нт, приведенных к току 300 ампер;
- 2 - сейсмоопасные регионы на территории СНГ;
- 3 - схема распространения СНЧ-сигналов в волноводе "Земля - ионосфера"; штрихпунктирными линиями обозначены осевая (0°) и экваториальная (90°) линии источника "Зевс" на карте.

Особый интерес представляют работы в области применения СНЧ-антенн для прогноза землетрясений, поскольку по сей день нет общепринятых критериев предсказания сейсмических событий и все попытки решить эту задачу сводятся к выводам о необходимости комплексного подхода с привлечением нескольких методов. При этом обычно отдается предпочтение комплексу, основанному на использовании данных сейсмологии и геоэлектрики.

Установка "Зевс" расположена в зоне низкой сейсмической активности. Представляющие интерес с точки зрения мониторинга сейсмобезопасности ближайшие объекты - это Кольская АЭС, расположенная в зоне влияния Канадакшского грабена, и АЭС "Лесной Бор" в Ленинградской области. Более удаленные объекты и районы, интересные для сеймопрогноза (рис. 1), расположены в зоне слабого воздействия источника "Зевс". Тем не менее, результаты экспериментальных наблюдений позволяют говорить о том, что обнаружение предвестников землетрясений с помощью "Зевса" возможно на большей части сеймоопасных регионов бывшего СНГ и даже за его пределами.

В 1995 г. по инициативе МЧС были выполнены контрольные измерения на Кисловодском сейсмопрогностическом полигоне, удаленном от антенны "Зевс" на 2,5 тыс. км. Несмотря на неблагоприятные зимние условия и высокий уровень помех, здесь были получены вполне удовлетворительные результаты измерений по повторяемости данных из цикла в цикл. Средняя погрешность наблюдений на частоте 125 Гц не превысила 6%. Учитывая, что средняя величина изменения сопротивления земной коры в период подготовки землетрясений с магнитудой 5-6 баллов составляет 16-20%, можно считать, что полученный результат подтверждает перспективность использования источника "Зевс" для решения задач мониторинга. Есть положи-

тельный опыт регистрации сигналов источника "Зевс" в Китае для прогнозирования землетрясений (Сараев и др., 2001 г.). По линии РАН разрабатывается проект использования источника "Зевс" с этой же целью в зоне Вранча в Румынии.

В заключение небезынтересно будет привести пример обнаружения нового геофизического явления с помощью СНЧ-радиостановки "Зевс". В ходе электромагнитного мониторинга, проводившегося в Карельском перешейке, а затем на Кольском полуострове, было установлено изменение эле-

Результаты электромагнитного мониторинга позволяют сделать вывод, что при воздымании земной коры под действием лунно-солнечных приливообразующих сил происходит уменьшение удельного электрического сопротивления в верхнем слое коры мощностью порядка 7-8 км. И наоборот: в фазе сжатия (опускания) увеличивается сопротивление в слое той же мощности. Можно предположить, что в наибольшей степени на суточные изменения электропроводности влияет промежуточный слой пониженного сопротивления на ин-

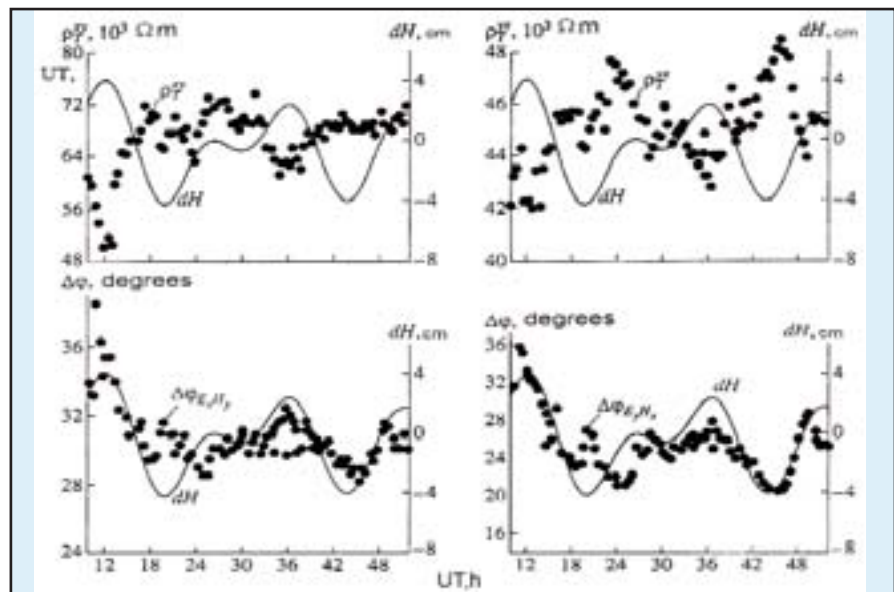


Рис. 2. Результаты электромагнитного мониторинга в точке Авва-губа.

В виде сплошной кривой дан график изменения альтитуды рельефа земной поверхности dH в сантиметрах. Точками отмечены значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса.

ктропроводности земной коры под действием гравитационного влияния лунно-солнечных приливных возмущений. Результаты электромагнитного мониторинга на Кольском полуострове, на удалении двухсот километров от источника, показаны на рис. 2 в виде графиков изменения значений кажущегося сопротивления и фазы импеданса во времени. Здесь же приведен теоретически рассчитанный график изменения альтитуды рельефа земной поверхности в точке Авва-губа под действием приливных напряжений.

тервале глубин в 3-7 км.

На рис. 2 видно, что лунно-солнечные вариации оказывают существенное влияние на излучающие параметры СНЧ-антенны "Зевс" и что этот фактор необходимо учитывать при проведении СНЧ-радиосвязи для обеспечения оптимальных условий передачи сигналов на погруженные объекты ВМФ. Приведенный пример доказывает взаимовыгодный характер работ по линии конверсии. Так новейшие достижения науки находят применение в оборонной промышленности.