

3. Фирстов П.П., Пономарев Е.А., Чернева Н.В., Бузевич А.В., Малышева О.П. К вопросу о влиянии баровариаций на эскаляцию радона в атмосферу // Вулканология и сейсмология. 2007. №6. С. 46-53.
4. Любушин А.А.,(мл), Малугин В.А. Статистический анализ отклика уровня подземных вод на вариации атмосферного давления // Физика Земли. 1993. № 12. С. 74-80.
5. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов, прогноз и управление. Вып. 1. М.: МИР. 1974. -405 с.
6. Кузнецов В.В., Чернева Н.В., Дружин Г.И. О влиянии циклонов на атмосферное электрическое поле Камчатки // Доклады АН. 2007. Т. 412. №4. С. 547-551.
7. Дружин Г.И., Чернева Н.В. Пеленгация грозových источников, связанных с циклонами Камчатки // Труды XXI Всероссийской научной конференции «Распространение радиоволн». 2005. Т.1. С.421-424.

**О ПРИЧИНАХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ «УДАЛЁННЫХ» ГЕОФИЗИЧЕСКИХ
ПРЕДВЕСТНИКОВ, РЕГИСТРИРУЮЩИХСЯ НА ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОЙ, ОКОЛО
НЕДЕЛИ, СТАДИИ ПОДГОТОВКИ СИЛЬНЫХ МИРОВЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
ON THE ORIGIN OF «LONG-DISTANCE» GEOPHYSICAL PRECURSORS REGISTERED AT
FINAL (ABOUT ONE WEEK) STAGE OF PREPARATION OF STRONG WORLD
EARTHQUAKES**

В.А. Широков¹, А.В. Бузевич, Н.В. Широкова¹

¹Камчатский филиал Геофизической службы РАН

The examples of abnormal geophysical response and operating precursors observed on Kamchatka for some hours - day up to strong remote world earthquakes are esteemed. In many cases the cause of such anomalies was considered obscure. The probable mechanism of originating of «remote» precursors is offered, which one can be esteemed as endorsement of planetary - regional model of opening-up tectonic of earthquakes.

Введение. При разработке модели подготовки тектонических землетрясений (ТЗ) нами развивается альтернативный к существующим моделям [1] подход, согласно которому солнечная активность, гравитационные и электромагнитные процессы в системе Солнце-Земля-Луна имеют ключевое значение на всех стадиях подготовки сильных сейсмических событий, от её долгосрочной фазы (более года) до оперативной (менее одной недели) [2-11 и др.]. Показано, что космические факторы поддерживают энергетику мантийных и коровых процессов, оказывая значимое влияние на крупномасштабные перемещения земных масс в литосфере и мантии Земли [4]. На основе учёта ключевой роли космических факторов в сеймотектоническом процессе в 2001 г. предложена планетарно-региональная модель подготовки тектонических землетрясений [3], в соответствии с которой общепланетарные космические воздействия относятся к ключевым факторам, влияющим на региональные геодинамические процессы в различных структурных зонах Земли. Показано, что общепланетарные космические факторы приводят к геофизическому отклику на любых расстояниях от очагов готовящихся землетрясений, в том числе на оперативной, заключительной стадии подготовки сейсмических событий [8, 9, 11].

Результатом этого подхода в глобальном варианте является пробная методика оперативного (время упреждения до семи суток) прогноза сильных мировых землетрясений ГЛОБАС (ГЛОБальная Активизация Сейсмичности) по комплексу сейсмологических, геофизических и космофизических данных, которая эпизодически тестировалась в реальном времени в период январь 2008 - апрель 2009 гг. [11]. Из 9 прогнозов 8 оказались успешными по времени и магнитуде [9, 11], причём в двух случаях были сделаны оправдавшиеся оценки мест возникновения мировых землетрясений (землетрясения ожидалось в Японии, $M=6.8$ и в Индонезии, $M=6.4$). Среднее время упреждения составило около трёх суток [8, 11]. Затем в период май-октябрь 2009 г. тестирование велось почти ежедневно на основе совместного использования методик ГЛОБАС и оперативного прогноза мировых землетрясений по деформационным наблюдениям И.И. Степанова, осуществляющего непрерывную регистрацию деформаций в г. Александров Владимирской области с использованием датчика собственной конструкции [11,12]. В период май-октябрь 2009 г. было сделано 20 оперативных прогнозов, причём с 7 сентября давались прогнозы не только времени и магнитуды, но и места ожидаемых в мире сильных землетрясений [11]. Оценки мест будущих событий оказались удачными: 10 из 12 землетрясений с $M \geq 6.6$ произошли вблизи прогнозирувавшихся мест с ошибками до 800 км, т.е. не более 4% от половины длины окружности Земли [9, 11].

Цели работы. Практически во всех хорошо разработанных моделях подготовки землетрясений [1] априори принимается, что за пределами так называемой зоны подготовки, равной нескольким размерам очага готовящегося землетрясения, «перемещения блоков и плит не

испытывают возмущений, связанных с подготовкой землетрясения» [1, с. 73], т.е. геофизический отклик на больших расстояниях от очага и «удалённые» предвестники появляться не должны. Однако многочисленные факты говорят об обратном. Цели данной работы состоят в том, чтобы, во-первых, привести характерные примеры появления «удалённых» предвестников и геофизического отклика в полях различной природы на подготовку мировых сейсмических событий и, во-вторых, объяснить механизм возникновения оперативных «удалённых» предвестников сильных мировых ТЗ.

Приведём сначала характерные примеры «удалённого» оперативного геофизического отклика на возникновение сильных мировых ТЗ по наблюдениям на Камчатке.

Пример 1. Деформационные наблюдения с использованием оригинального датчика конструкции И.И.Степанова, регистрировавшего в Петропавловске-Камчатском аномальные сигналы в период 1999-2005 гг. В работе [12] приводятся сведения о начале деформационных наблюдений на Камчатке, во время которых за 1-2 суток до сильных мировых (и камчатских) землетрясений регистрировались легко диагностируемые деформационные сигналы длительностью, как правило, несколько часов. Как указывалось выше, совместная регистрация этих сигналов в г. Александров Владимирской области и использование методики ГЛОБАС позволили в период май-октябрь 2009 г. И.И. Степанову и В.А. Широкову сделать совместно успешные (официально зарегистрированные в реальном времени) прогнозы времени и места более десяти сильных мировых землетрясений со временем упреждения в среднем вдвое суток [8, 9, 11].

Пример 2. Аномальные вариации молекулярного водорода. В 2005 г. П.П. Фирстовым и В.А. Широковым впервые было обращено внимание на то, что кратковременные аномальные сигналы молекулярного водорода иногда появляются за несколько часов до сильных мировых землетрясений [13]. Дополним эту статистику аномальным сигналом, зарегистрированным за сутки до землетрясения в Корякии 20 апреля 2006 г., $M=7.6$ (устное сообщение П.П. Фирстова).

Пример 3. Совместная регистрация на Камчатке вертикального градиента электрического поля (Е) в приземном слое атмосферы и высокочастотной (0.1 - 10 000 Гц) акустической эмиссии (АЭ) приповерхностных пород. По данным работы [14] наблюдения АЭ и Е проводились соответственно на дне озера Микижа и вблизи него с 23 августа по 11 октября 2005 г. Анализировались записи в условиях хорошей погоды. Одновременное появление хорошо коррелируемых сигналов длительностью до одних суток обнаружено 10 раз. Указаны только даты появления таких сигналов и лишь в одном случае на записи можно оценить точное время появления аномальных сигналов (8 сентября, 8 часов 50 минут UT, длительность 30 минут). В последнем случае получасовые по длительности сигналы АЭ (частотой 6-10 КГц) и Е предвещали за 1 час 25 минут камчатское землетрясение с магнитудой $M=5.0$. Везде далее приводятся данные магнитуд M землетрясений по каталогу NEIC по мировому времени UT. Отмечено, что в отдельных случаях знак Е был отрицательным. Считается, что наличие аномальных сигналов «говорит о локальном характере и общей деформационной природе наблюдаемых возмущений» [14, с. 75]. При этом вопрос о причине деформаций не обсуждался.

Нами проведено сопоставление этих сигналов с сильными мировыми землетрясениями.

В 2005 г. в мире произошло 5 землетрясений с $M \geq 7.5$, три из которых приурочены к исследуемому периоду наблюдений. Все эти три землетрясения, произошедшие в Меланезии, в Чили и Пакистане (9 сентября, $M=7.6$, 26 сентября, $M=7.5$, 8 октября, $M=7.6$) совпали точно по дате с зарегистрированными аномалиями АЭ и Е. Кроме этого, на 19-суточном интервале с 17 августа по 4 сентября в мире произошло только 4 землетрясения с $M \geq 6.1$, которые в период 24-30 августа образуют временной кластер, первое событие которого совпало с датой аномалий АЭ и Е (24 августа). Таким образом, четыре аномальных сигнала из десяти совпали по дате с тремя наиболее сильными мировыми землетрясениями с $M=7.5-7.6$ и первым событием сейсмического кластера с $M=6.1$. Вероятность случайного точного попадания четырёх из десяти аномалий АЭ и Е «в яблочко» близка к нулю. Таким образом, геофизический отклик АЭ и Е тесно связан с происходившими в мире землетрясениями, причём для четырёх наиболее информативных аномалий разница их во времени с землетрясениями не превышает нескольких часов, включая три из пяти самых сильных мировых землетрясений 2005 г. Подобные эффекты обнаружены впервые.

Пример 4. Вулканические землетрясения камчатских вулканов. В работе [11] впервые на примере действующих вулканов Корякского и Ключевского показано, что частота возникновения наиболее сильных вулканических землетрясений (ВЗ) становится значимо выше менее, чем за трое-четыре суток до моментов возникновения сильных мировых землетрясений. В [11] показано, что в 2008-2009 гг. в комплексе с другими предвестниковыми аномалиями, в том числе с

использованием деформационных наблюдений И.И. Степанова в г. Александров, подобные эффекты успешно использовались для прогноза мировых землетрясений в реальном времени со временем упреждения в среднем вдвое суток.

Пример 5. Взрывы вулкана Безымянного высотой 5 км и более в период с 1977 по 2010 гг. Анализ связи взрывов с мировыми землетрясениями проведён по данным, любезно предоставленным авторам (начало пароксизмальной фазы взрывов вулкана в большинстве случаев указаны с точностью до минут) н.с. КФ ГС РАН В.Т. Гарбузовой. Для 31 взрыва из 37 мировые землетрясения с $M \geq 6.3$ происходили в день взрыва и через сутки-четверо после пароксизмов извержений, в том числе 17 взрывов предвещали мировые землетрясения с $M \geq 6.7$. Вероятность случайного возникновения 17 таких событий из 37 практически равна нулю. Отметим, что все землетрясения с $M \geq 6.7$, кроме Кроноцкого 5.12.1997 г. с $M=7.8$, происходили за несколько тысяч и более 10 тысяч км от вулкана Безымянного, поэтому взрывы вулкана могут рассматриваться как «удалённые» предвестники сильных мировых землетрясений.

Пример 6. Акустические сигналы от взрывов вершинного и побочного кратеров вулкана Ключевской в апреле-июне 1983 г. По данным работы [15] 27 мая, 1, 3 и 24-25 июня зарегистрированы четыре из пяти наиболее сильных импульсных и квазисинусоидальных акустических сигналов, связанных с взрывной деятельностью вулкана. Нами обнаружено, что аномальные акустические сигналы появились менее, чем за 27 часов (в среднем за 12 часов) относительно мировых землетрясений с $M=7.8$ (26 мая), $M=6.6$ (1.06), $M=6.2$ (2 июня), $M=6.6-6.9$ (4 события за 24 июня, происходившие в Японии, на о-вах Фиджи, в Южной Америке и Китае. Таким образом, акустический отклик тесно связан во времени с сильными землетрясениями в различных регионах Земли с $M=6.6-7.8$ с разницей во времени в среднем около половины суток.

Пример 7. Вариации давления в глубокой скважине Мутновского геотермального месторождения. За 20 часов до наиболее сильного в мире за последние 50 лет катастрофического цунамигенного землетрясения в районе о-ва Суматра (Индонезия) 26 декабря 2004 г. с $M=9.0$ давление в скважине резко понизилось более чем на 4 бара и примерно через два с половиной часа вернулось к прежнему уровню [16]. За полтора часа до землетрясения давление снова стало закономерно понижаться в виде плавного бухтообразного сигнала.

В работах В.А. Широкова [3, 7-9, 11, 17] приводятся многочисленные примеры оперативного геофизического отклика по различным видам наблюдений на сильные мировые землетрясения, происходившие на значительных удалениях от пунктов регистрации. Приведем пару примеров. В каталоге мировых землетрясений для периода январь 2009 - январь 2010 гг. с $M \geq 6.3$ зарегистрировано за 13 месяцев 76 событий. К группирующимся событиям отнесены соседние по времени землетрясения, происходившие на интервалах длительностью менее 80 часов. В результате выделено 19 кластеров, в которых произошло 57 землетрясений, и 19 одиночных событий. Общая длительность кластеров составила 48 суток, т.е. 12% от 13 месяцев, но в них произошло 17 событий с $M \geq 7.0$ (от $M=7.0$ до $M=8.1$). События такой силы отмечены в 11 кластерах. Среди одиночных было только 2 события с $M \geq 7.0$ ($M=7.2$ и $M=7.3$). Плотность потока d землетрясений с $M \geq 7.0$ в кластерах по сравнению с одиночными событиями $d=(17/48)/2/396=70$, т.е. по частоте их возникновения различие составляет почти 2 порядка. Средняя длительность кластеров составляет всего 1.3 суток, т.е. наиболее сильные сейсмические процессы развиваются достаточно быстро.

В работе [17] показано, что в 2007 г. на Северокавказской обсерватории ИФЗ РАН при регистрации геомагнитного поля магнитными вариометрами для 32 землетрясений из 44 с магнитудой более 5 были зафиксированы квазипериодические ультранизкочастотные возмущения с периодами от 40 до 165 с длительностью около 10-12 минут за 2-4 часа до землетрясений. Как указывают авторы, удовлетворительного объяснения обнаруженному явлению до сих пор нет. Подобные геомагнитные возмущения, регистрирующиеся на любых расстояниях от очагов землетрясений, соответствуют планетарно-региональной модели подготовки землетрясений [3].

В работе [9] впервые предложен и частично обоснован механизм возникновения «удалённых» предвестников мировых землетрясений. Кратко изложим его суть.

О механизме возникновения «удалённых» оперативных предвестников сильных мировых землетрясений. Предполагается, что за счёт механизма магнитогидродинамического динамо и процессов взаимодействия главного диполя с малыми диполями жидкого внешнего ядра [18], в отдельные периоды времени могут происходить скачкообразные процессы быстрой передачи на границу ядро-мантия мощного накопленного заряда различных малых диполей, формирующих недипольную составляющую магнитного поля Земли. В предельном случае

мощный накопленный заряд малого диполя, появившийся на глубине 2900 км, должен чрезвычайно быстро разрядиться через планетарную «обкладку» конденсатора в коре и на границе Мохо. Этот почти импульсный кратковременный общепланетарный процесс разрядки «обкладок» планетарных конденсаторов на границах 2900, 700, 400 км, Мохо, верхи коры охватывает всю земную кору и мантию, приводит в них к увеличению потока носителей зарядов, к возрастанию потока флюидов, к возникновению предвестниковых аномалий в различных геофизических полях, и, как следствие, к появлению сильных мировых землетрясений, когда начинают работать механизмы пьезоэлектрического эффекта. Главными характеристиками этого процесса являются его мощная энергетика, планетарный характер и кратковременность. В отдельных случаях разрядка большого заряда на границе 2900 км может охватывать сначала меньший интервал глубин, например, от 700 до 2900 км, и процесс может оказаться менее устойчивым и более длительным. Этот механизм, связанный с западным дрейфом геомагнитного поля, является составной частью планетарно-региональной модели подготовки тектонических землетрясений [3].

Авторы выражают искреннюю благодарность докт. геол.-мин. наук И.И. Степанову, н.с. В.Т. Гарбузовой и с.н.с. Ю.К. Серафимовой за содействие работе и полезные дискуссии.

Литература

1. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. М.: Наука, 1991. 189 с.
2. Широков В.А. Влияние космических факторов на геодинамическую обстановку и ее долгосрочный прогноз для северо-западного участка Тихоокеанской тектонической зоны // Вулканизм и геодинамика. М.: Наука, 1977. С. 103-115.
3. Широков В.А. Опыт краткосрочного прогноза времени, места и силы камчатских землетрясений 1996-2000 гг. с магнитудой $M=6-7.8$ по комплексу сейсмологических данных // Геодинамика и вулканизм Курило-Камчатской островодужной системы, г. Петропавловск-Камчатский. 2001. С. 95- 116.
4. Широков В.А. О взаимосвязи перемещений географических полюсов с сильными землетрясениями и извержениями вулканов Земли // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога 28-31 марта 2007 г. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2007. С. 190-201.
5. Широков В.А. Влияние общепланетарных космических факторов на возникновение сильных вулканических извержений Земли и проблема их долгосрочного прогноза // Материалы конференции, посвящённой Дню вулканолога 27-29 марта 2008, г. Петропавловск-Камчатский. 2008. С. 305-314.
6. Широков В.А. Влияние 19-летнего лунного прилива на возникновение больших камчатских извержений и землетрясений и их долгосрочный прогноз // Геологические и геофизические данные о БТТИ 1975-1976 гг. / Отв. ред. С.А.Федотов, Е.К. Мархинин. М.: Наука, 1978. С. 164-170.
7. Широков В.А. Разработка моделей подготовки сильных землетрясений и вулканических извержений на основе изучения их связи с космическими ритмами // Материалы Всероссийской конференции, посвящённой 100-летию Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908-1910 гг. 22-27 сентября 2008, г. Петропавловск-Камчатский. 2009. С. 241-253.
8. Широков В.А. Тестирование методики оперативного прогноза сильных мировых землетрясений (ГЛОБАС) в реальном времени в период январь 2008-апрель 2009 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Вторая региональная научно-техническая конференция. 11-17 октября 2009 г. Тезисы докладов. г. Петропавловск-Камчатский, 2009. С. 105
9. Широков В.А. Тестирование методики оперативного прогноза сильных мировых землетрясений (ГЛОБАС) в реальном времени в период январь 2008-октябрь 2010 гг. // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Материалы Второй региональной научно-технической конференции 11-17 октября 2009 г. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КФ ГС РАН, 2010. 5 с. В печати.
10. Широков В.А., Серафимова Ю.К. О связи 19-летнего лунного и 22-летнего солнечного циклов с сильными землетрясениями и долгосрочный сейсмический прогноз для северо-западной части Тихоокеанского тектонического пояса // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2. Вып. № 8. С. 120-133.
11. Широков В.А., Степанов И.И., Дубровская И.К. Изучение сейсмического отклика действующих вулканов Корякского и Ключевского (Камчатка) на заключительной стадии подготовки сильных мировых тектонических землетрясений по данным наблюдений 2008-2009 гг. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2009. № 2. Вып. № 14. С. 118-129.
12. Степанов И.И. Некоторые результаты 4-летнего мониторинга вариаций объёмных деформаций вблизи зоны субдукции в районе Авачинского залива Камчатки // Вестник Камчатского Государственного технического университета. Петропавловск-Камчатский. 2002. № 1. С. 130-139.
13. Фирстов П.П., Широков В.А. Динамика молекулярного водорода и её связь с геодеформационными процессами на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне по данным наблюдений в 1999-2003 гг. // Геохимия. 2005. № 11. С. 1151-1160.

14. Купцов А.В., Марапулец Ю.В., Мищенко М.А., Руленко О.П., Шевцов Б.М., Щербина А.О. О связи высокочастотной акустической эмиссии приповерхностных пород с электрическим полем в приземном слое атмосферы // Вулканология и сейсмология. 2007. № 5. С. 71-76.
15. Фирстов П.П., Сторчеус А.В. Акустические сигналы, сопровождавшие извержение вулкана Ключесвкой в марте-июне 1983 г. // Вулканология и сейсмология. 1987. № 5. С. 66-80.
16. Кирюхин А.В., Конев В.А., Поляков А.Ю. О возможной связи сильных землетрясений с аномальными изменениями давления в двухфазном геотермальном резервуаре // Вулканология и сейсмология. 2006. № 6.
17. Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Собисевич А.Л. Ультранизкочастотные электромагнитные возмущения, возникающие перед сильными сейсмическими событиями // ДАН. 2009. том 429. № 5. С. 668-672.
18. Стейси Ф. Физика Земли. М.: Мир, 1972. 342 с.

**О ВОЗМОЖНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ И
ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СПОРАДИЧЕСКИХ ЛИТОСФЕРНЫХ ИСТОЧНИКОВ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С УРОВНЕМ НИЖЕ РЕГУЛЯРНОГО ШУМОВОГО
ФОНА**

**ON THE POSSIBILITY OF DETECTION, DETERMINATION OF COORDINATES AND
EFFECTIVE PARAMETERS OF SPORADIC LITHOSPHERIC SOURCES OF
ELECTROMAGNETIC FIELD WITH LEVEL LOWER THAN REGULAR NOISE FLOOR**

С. В. Поляков, Е. Н. Ермакова, Б. И. Резников, А. В. Щенников

Научно-исследовательский радиофизический институт, rf@nirfi.sci-nnov.ru

*The original method of natural electromagnetic noise monitoring's data processing is suggested.
The aims of the method are detection and location of weak lithospheric emissions. It's based on using of
universal source model and the spatial discrimination of natural noise.*

Введение. Целенаправленные наблюдения низкочастотного магнитного поля в диапазоне частот $f = (10 \div 0,001)$ Гц в сейсмически активных зонах ведутся с конца девяностых годов прошлого века после обнаружения спорадических электромагнитных эмиссий, коррелирующих с землетрясениями. Впервые спорадические литосферные электромагнитные эмиссии (СЛЭ) наблюдались до начала и во время афтершоковой активности сильного землетрясения в Армении (Спитак, 1988) [1,2], далее в США (Калифорния, Лома Приета, 1989) [2,3,4] и в Гуаме (1993) [5]. Обнаружение СЛЭ носило случайный характер, однако в дальнейшем были поставлены целенаправленные эксперименты с использованием высокочувствительных цифровых магнитовариационных станций и по оригинальной адекватной задаче методике, получившей название «магнитная локация» [6 - 9].

Особенность настоящего этапа исследований электромагнитных предвестников землетрясений состоит в том, что все зарегистрированные к текущему моменту СЛЭ заявлены как предвестники уже после землетрясений. Для дальнейшего движения вперед по проблеме прогноза землетрясений необходимо решить задачу обнаружения существенно более слабых СЛЭ, чем это доступно в настоящее время, что и является целью данной работы. Для повышения достоверности обнаружения СЛЭ путем значительного понижения порога обнаружения предлагается использовать разностные измерения тангенциальных компонент магнитного поля в пространственно разнесенных приемных пунктах. Предлагаемый метод основан на том простом факте, что естественные низкочастотные электромагнитные шумы различной природы имеют различные характерные масштабы изменения на поверхности земли. В силу удаленности источника грозовой шум ($f \geq 1$ Гц) слабо меняется на масштабах базы d ($d \leq 100$ км). С другой стороны, при измерениях в сейсмоактивной зоне характерные горизонтальные масштабы изменения магнитного поля от литосферных источников полагаются меньше или порядка базы. В этом случае синхронные записи колебаний магнитного поля, полученные в двух разнесенных на величину базы приемных пунктах, должны обладать высокой степенью когерентности по грозовому шуму, что может позволить в эксперименте по обнаружению слабых локальных полей (СЛЭ) «опуститься глубоко под шум» путем вычитания временных реализаций. В работе [10] описан демонстрационный эксперимент по пространственной дискриминации естественных крупномасштабных грозовых помех. На частотах $F \leq 1$ Гц в шумовом фоне начинает доминировать шум ионосферного и магнитосферного происхождения, пространственный градиент которого в средних широтах направлен, в основном, по магнитному меридиану с характерным горизонтальным масштабом изменения $d \geq h$, где h – высота полости земля – ионосфера ($h \approx 60-80$ км). В направлении вдоль магнитной параллели характерный масштаб $d \gg h$. То есть при размещении приемных пунктов на магнитной параллели, как и в случае грозового источника,