

УДК 550.388

## ОДНОВРЕМЕННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ НА КАМЧАТКЕ И В ЯКУТИИ ЕСТЕСТВЕННОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В КНЧ–ОНЧ-ДИАПАЗОНАХ В ПЕРИОД СОЛНЕЧНОГО ЗАТМЕНИЯ 1 АВГУСТА 2008 г.

© 2010 г. Г. И. Дружин<sup>1</sup>, В. Н. Уваров<sup>1</sup>, В. А. Муллаяров<sup>2</sup>, В. И. Козлов<sup>2</sup>, А. А. Корсаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,  
пос. Паратунка (Камчатский край)

<sup>2</sup>Институт космических исследований и аэронауки им. Ю.Г. Шафера СО РАН, Якутск  
e-mail: drug@ikir.kamchatka.ru

Поступила в редакцию 05.05.2009 г.  
После доработки 24.06.2009 г.

Рассмотрено влияние солнечного затмения 1 августа 2008 г. на уровень сигналов естественного электромагнитного излучения в КНЧ–ОНЧ диапазоне, одновременно наблюдаемых на Камчатке и в Якутске, а также на вариации амплитуды и фазы сигналов СДВ радиостанций, регистрируемых в Якутске. Находящиеся в Краснодаре, Новосибирске и Хабаровске СДВ радиостанции последовательно излучали на частотах 11.905, 12.649 и 14.880 кГц. По наблюдениям за сигналами радиостанций получено, что при их прохождении через область лунной тени имело место увеличение амплитуды сигналов на 3–5%, фазы – на 30–45°. Синхронная регистрация КНЧ–ОНЧ шумового излучения показала, что во время затмения в период с ~10:00 до 11:30 UT в обоих пунктах приема наблюдалось бухтообразное повышение интенсивности излучения с последующим его понижением до фонового уровня. В Якутске этот эффект имел место в диапазоне частот от 0.6 до 5.6 кГц, а на Камчатке – на нижних (30–200 Гц) и верхних (2.5–11 кГц) частотах. При этом максимум интенсивности шумового излучения на нижних частотах наблюдался в период времени, когда лунная тень подходила ближе всего к пункту регистрации. На верхних частотах максимум в излучении в обоих пунктах наблюдался одновременно (в 11:00 UT), но с запаздыванием относительно максимума на нижних частотах. Рассматриваются возможные причины появления в естественном КНЧ–ОНЧ-излучении эффектов солнечного затмения.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Наблюдения за электромагнитным КНЧ–ОНЧ-излучением в периоды солнечных затмений на Северо-востоке России ранее проводились в Якутске 9 марта 1997 г. и 29 марта 2006 г. Область полной лунной тени затмения 9 марта 1997 г. обогнула пункт приема с запада на восток. Поэтому имелась возможность наблюдать эффект затмения в сигналах СДВ радиостанций системы “Омега”, расположенных в восточном, южном и западном направлениях. Одновременно рассматривались эффекты в интенсивности естественных КНЧ–ОНЧ излучений. В период прохождения лунной тени было отмечено увеличение фазы сигналов радиостанций на 30–35° и возрастание амплитуды на 15–30% относительно суточного хода. Эффект затмения в естественных излучениях, принимаемых с западного и юго-западного направлений, проявился в виде усиления интенсивности в диапазоне частот от 0.47 до 8.7 кГц, но наиболее интенсивное усиление излучений (в среднем в 3–4 раза) наблюдалось на частотах от 4 до 9 кГц [Муллаяров и др., 1999].

Во время солнечного затмения 29 марта 2006 г. область лунной тени последовательно закрывала освещенную часть трассы распространения радиосигналов от западного побережья Африки до Алтая. Основные источники излучений находились в дневных условиях, а пункт наблюдения – в ночных, в отличие от противоположной ситуации в период солнечного затмения 1997 г. При этом ранее наблюдаемые эффекты с некоторыми отличиями повторились и в 2006 г. Во время затмения 29 марта 2006 г. на всех регистрируемых частотах (11.905, 12.649 и 14.880 кГц) наблюдалось увеличение фазы на 30–40° на трассе Краснодар–Якутск и на 15° на трассе Новосибирск–Якутск с одновременным увеличением амплитуды сигналов примерно в 1.2 раза. Кроме того, во время затмения увеличилось в 1.4 раза количество атмосфериков, принятых с западного от Якутска направления [Каримов и др., 2008].

Наблюдения ионосферных эффектов в период затмения 29 марта 2006 г. проводились также в Мурманске и Нижнем Новгороде. Было получено, что 34-процентное затмение в областях *E* и *F1*

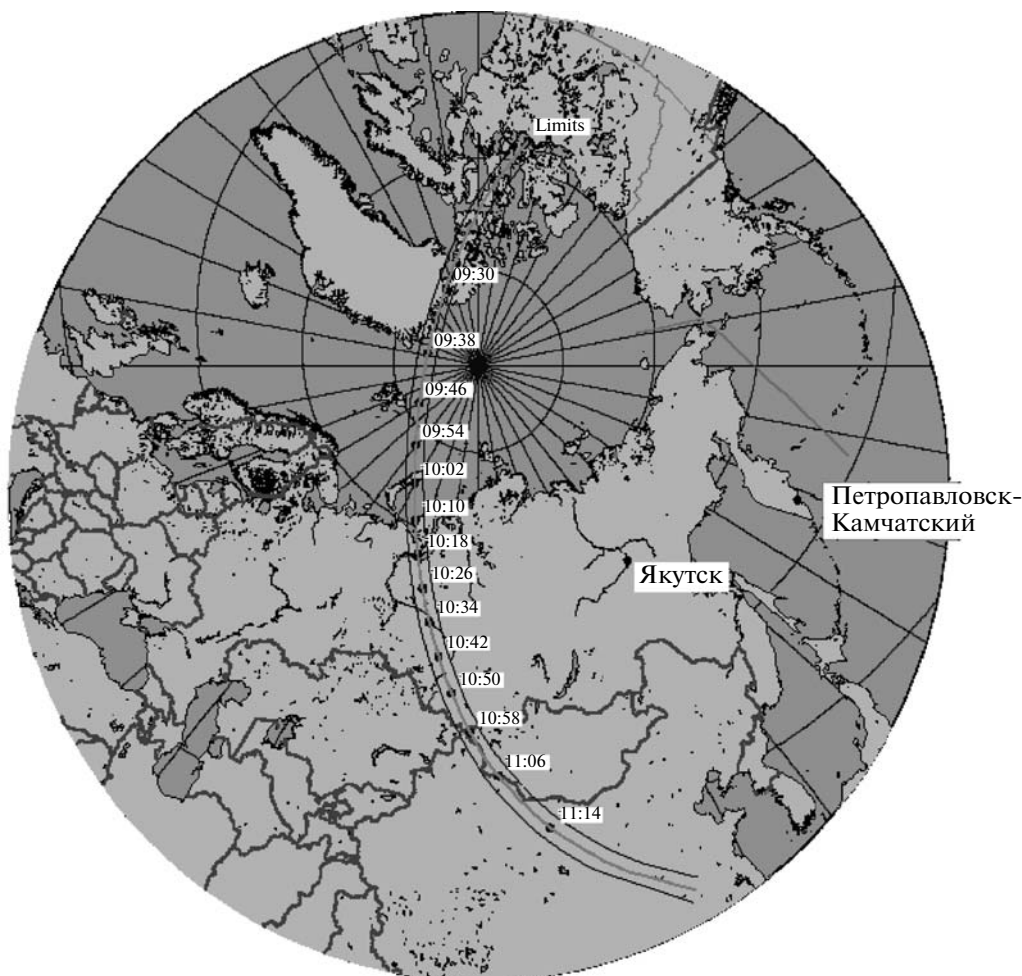


Рис. 1. Полоса лунной тени 1 августа 2008 г. (UT) и пункты регистрации излучений в Якутске и на Камчатке.

полярной ионосферы вызывает уменьшение концентрации электронов на 15–20%. Причем время запаздывания этого эффекта составляет 12–25 мин [Беликович и др., 2008].

В период солнечного затмения 1 августа 2008 г. наблюдения проводились в Якутске ( $62^{\circ}$  N,  $129.7^{\circ}$  E) и на Камчатке ( $53^{\circ}$  N,  $158^{\circ}$  E). На рис. 1 приведена карта северного полушария, на которую нанесена полоса лунной тени [<http://www.hermit.org/Eclipse/2008-08-01>] и пункты наблюдения. Это затмение началось в 9:20:57 UT, когда тень от Луны коснулась Земли в северных областях Канады, где в это время наступает утро. Затем лунная тень миновала Гренландию, пересекла Северный Ледовитый океан, Западную Сибирь, Алтай, прошла по границе между Монголией и Китаем и покинула земную поверхность в центральном Китае в 11:21:21 UT, где в этот момент наблюдался заход Солнца. Путь длиной более  $10.5 \times 10^3$  км тень преодолела за два часа, двигаясь со средней скоростью около 1.4 км/с. Наибольшая продолжительность затмения по времени

была в середине этой полосы, в районе Надыма – 2 мин 27 с, при максимальной ширине тени 236.8 км и наибольшей скорости – около 0.9 км/с [<http://www.eclipse-2008.ru/eclipse.php>].

Известно, что интенсивность принимаемых излучений зависит от мощности источников и условий распространения сигналов. Как показали проведенные исследования, доминирующими источниками излучений на северо-востоке России в ОНЧ диапазоне являются Африканский и Австралийский (юго-восточная Азия и Австралия) мировые очаги гроз [Дружин и др., 1986], расположенные вне области затмения 1 августа 2008 г. Трассы распространения сигналов проходили через область затмения, которая вносила свой вклад в интенсивность принимаемых излучений. Настоящая работа выполнена с целью получения новых сведений об эффектах, наблюдаемых при прохождении через область лунной тени сигналов СДВ-радиостанций и естественных КНЧ–ОНЧ-излучений.

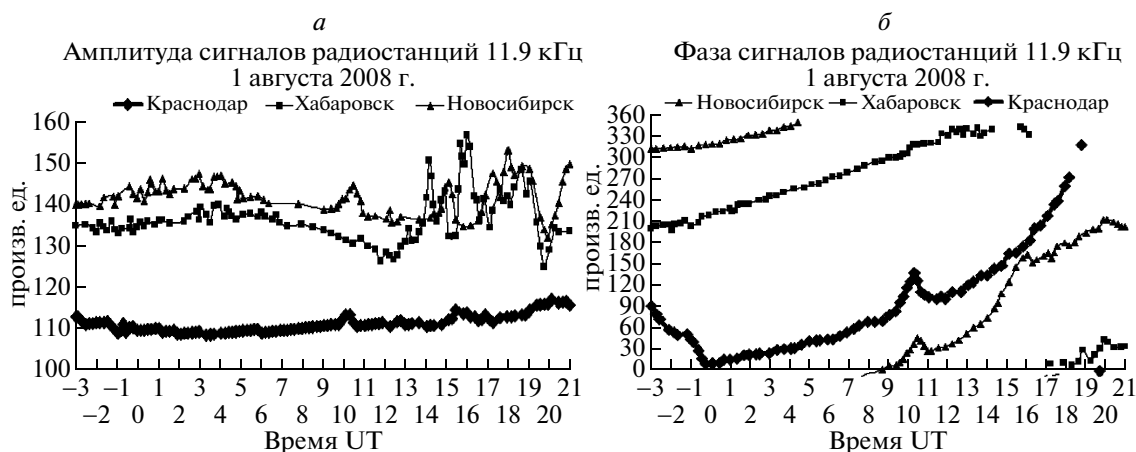


Рис. 2. Суточный ход амплитуды (а) и фазы (б) сигналов, зарегистрированных в Якутске.

## 2. СИГНАЛЫ СДВ-РАДИОСТАНЦИЙ

Регистрация сигналов СДВ-радиостанций в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. проводилась только в Якутске. Использованы радиостанции, расположенные в Краснодаре, Новосибирске и Хабаровске, каждая из которых последовательно излучали сигналы на частотах 11.905, 12.649 и 14.880 кГц. Запись сигналов осуществлялась с помощью аппаратного комплекса, имеющего приемную рамочную антенну, ориентированную в направлении восток–запад. Измерения фазы сигналов выполнялись с применением GPS-приемника (GPS Trimble Thunderbolt), сигналы точного времени с которого подавались через аналого-цифровой преобразователь в компьютер. Трасса распространения сигналов от краснодарской станции (расстояние до Якутска –  $5.7 \times 10^3$  км) проходила через область затмения, новосибирская станция ( $2.6 \times 10^3$  км) находилась непосредственно в области затмения, а станция в Хабаровске ( $1.4 \times 10^3$  км) – вне области лунной тени.

На рис. 2 показан суточный ход амплитуды и фазы сигналов, зарегистрированных на частоте 11.905 кГц. Для сигналов краснодарской станции эффект затмения проявился в 10:20 UT в виде усиления амплитуды на 3% и увеличения фазы на  $45^\circ$  относительно предшествующего уровня. Для сигналов новосибирской станции увеличение амплитуды составило 5% и фазы – на  $30^\circ$ . В сигналах хабаровской станции эффект от солнечного затмения практически отсутствовал.

## 3. ЕСТЕСТВЕННОЕ КНЧ–ОНЧ ИЗЛУЧЕНИЕ

В Якутске в период солнечного затмения наблюдения за естественным излучением, как и ранее [Муллаяров и др., 1999; Каримов и др., 2008], проводились в экспедиционном пункте с малым уровнем промышленных помех. Использовался многоканальный регистратор, имеющий магнит-

ную антенну, ориентированную в направлении восток–запад. Запись сигнала осуществлялась на дискретных частотах в диапазоне от 0.47 до 5.6 кГц.

На Камчатке запись естественного электромагнитного излучения проводилась с помощью многоканального КНЧ–ОНЧ регистратора в экспедиционном пункте “Карымшина”. Осуществлялся прием двух горизонтальных компонент магнитного поля и одной вертикальной компоненты электрического поля. На рис. 3 представлена запись сигналов в период солнечного затмения в обоих пунктах, принятых с магнитных антенн, плоскость которых ориентирована в направлении восток–запад. Видно, что эффект от затмения в Якутске проявился в усилении интенсивности излучений после 10:00 на всех регистрируемых частотах с максимальной величиной в период с 10:30 до 11:00 UT и с ослаблением после 11:00 UT. Причем максимальная интенсивность на нижних частотах (470 и 610 Гц) наблюдалась в  $\sim 10:00$  UT, а на верхних (2.2, 3.1, 5.6 кГц) – около 11:00 UT.

В записях на Камчатке эффект от затмения проявился также в виде бухтообразного повышения уровня излучений. В области нижних частот (30–60, 70–200 и 200–600 Гц) усиление интенсивности началось после 10:00, максимум наблюдался в 10:15, затем имело место плавное ее снижение. Интенсивность излучения в полосе 30–60 Гц возросла более чем в 2 раза, в полосе 70–200 Гц – менее чем в 2 раза, а в полосе 200–600 Гц – в 1.3 раза. В полосах частот 2.5–6.5 и 7–11 кГц на фоне хорошо выраженного суточного хода наблюдалось 20-процентное увеличение интенсивности около 11:00 UT.

На Камчатке имелась возможность сравнивать временные зависимости вертикальной электрической  $E_z$  и горизонтальных магнитных компонент  $H_x$  (плоскость рамки восток–запад) и  $H_y$  (плоскость север–юг) принимаемого в период затмения излучения в различных частотных диапазонах (рис. 4). Видно, что на частотах 70–200 Гц

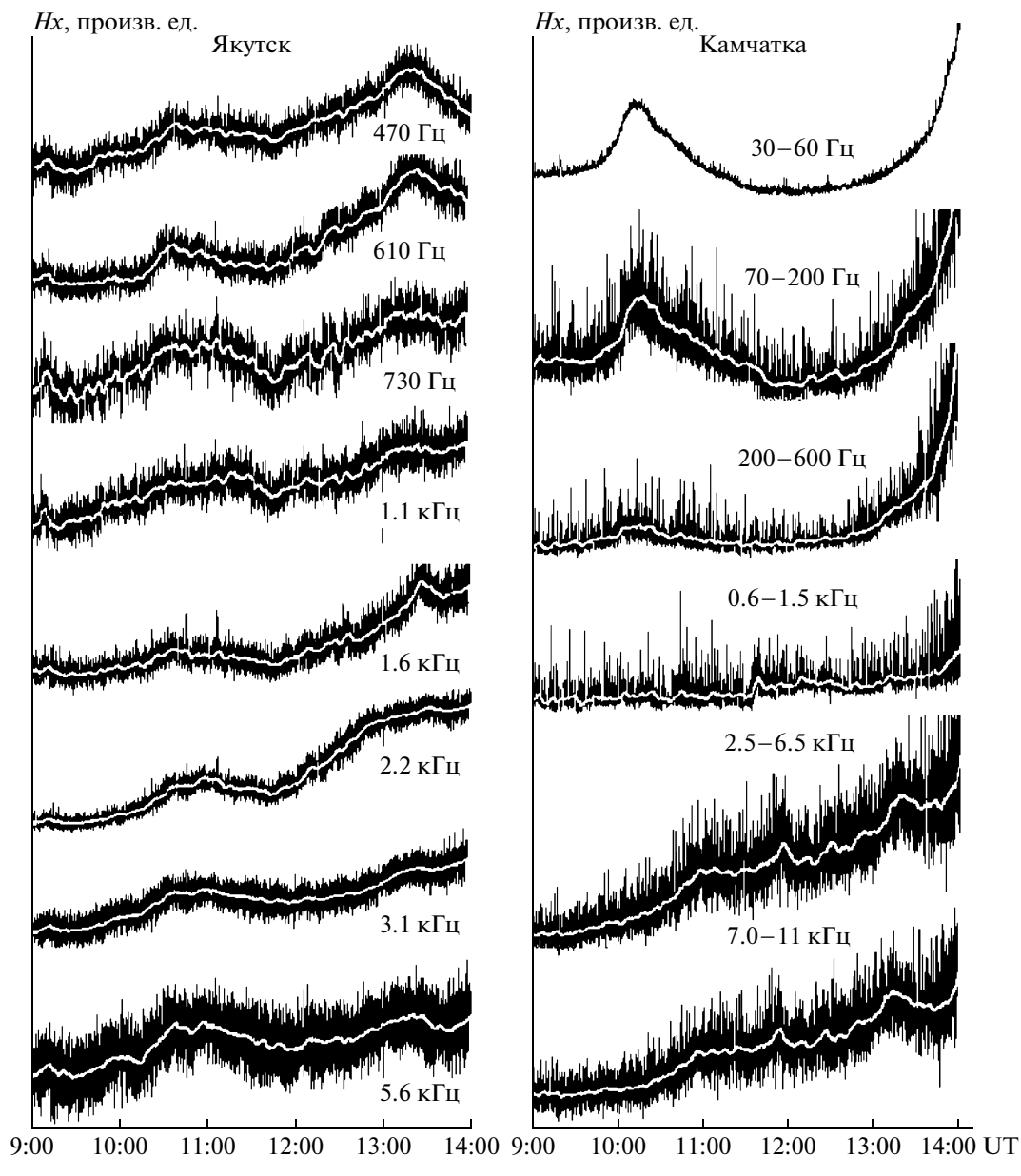


Рис. 3. Фрагмент записи КНЧ–ОНЧ-сигналов в Якутске и на Камчатке в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. в различных частотных диапазонах. Внизу горизонтальной линией показан временной отрезок, в течение которого лунная тень находилась на поверхности Земли.

эффект в виде бухтообразного повышения интенсивности проявился только в  $H_x$ -компоненте. На частотах 7–11 кГц влияние затмения проявилось в виде небольшого повышения интенсивности в  $E_z$ - и  $H_x$ -компонентах, при отсутствии эффекта в компоненте  $H_y$ .

#### 4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты измерений амплитуды и фазы сигналов СДВ радиостанций, проведенные в Якутске во время солнечного затмения 1 августа 2008 г.,

подтвердили выводы, полученные ранее в периоды затмений 9 марта 1997 г. и 29 марта 2006 г. Во всех случаях имело место увеличение амплитуды и фазы сигналов. На трассе вне лунной тени (например, для сигналов от хабаровской радиостанции) значительных изменений в амплитуде и фазе обнаружено не было.

Повышение уровня шумового излучения 1 августа 2008 г. в Якутске и на Камчатке происходило за счет эффектов, возникающих при распространении сигналов от дальних гроз через полосу лунной тени. Лунная тень приводит к уменьшению

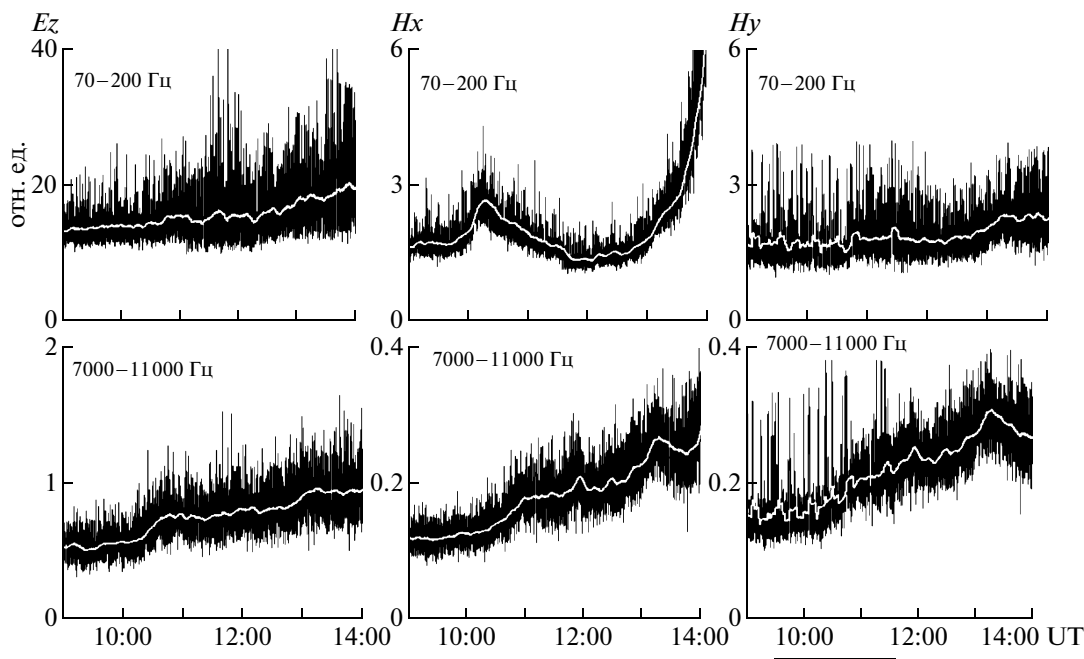


Рис. 4. Вариации различных компонент электромагнитного поля на Камчатке в период солнечного затмения 1 августа 2008 г. Горизонтальными линиями обозначено время лунной тени.

электронной концентрации [Беликович и др., 2008] и эффективной частоты соударений в области  $D$  ионосферы, а также к увеличению высоты волновода Земля–ионосфера. Максимум в интенсивности излучений на Камчатке во время затмения в области нижних частот наблюдался в  $\sim 10:15$  UT, а в Якутске – в  $\sim 10:30$  UT. В предположении, что сигналы от источника излучения распространяются в волноводе Земля–ионосфера через область лунной тени, рассчитаем расстояния от пунктов наблюдения до лунной тени, азимуты лунной тени, расстояние между пунктами наблюдения, расстояние до возможного источника и его местоположение (см. рис. 5). При этом трассы распространения сигнала выберем таким образом, чтобы они проходили через центр лунной тени во время наблюдения максимальных значений амплитуды сигнала.

Рассматривая сферические треугольники, приведенные на рис. 5, определим расстояния от пунктов наблюдения до лунной тени, азимуты лунной тени, расстояние между пунктами наблюдения, расстояния до источника и его местоположение. Известными значениями являются широты, долготы пунктов наблюдения и лунной тени: Якутск  $62^\circ$  N,  $129.7^\circ$  E; Камчатка:  $53^\circ$  N,  $158^\circ$  E; точка  $N$ :  $62^\circ$  N,  $75^\circ$  E; точка  $M$ :  $67^\circ$  N,  $69^\circ$  E.

Из треугольника  $PKJ$  определим расстояние от Камчатки до Якутска, т.е. сторону

$$KJ = \arccos(\cos(PK)\cos(PJ) + \sin(PK)\sin(PJ)\cos(L_k - L_j)),$$

где  $PK$  и  $PJ$  – расстояния от полюса до Камчатки и до Якутска,  $(L_k - L_j)$  – разность долгот.

Углы сторон треугольника:

$$PJK = \arccos\left(\frac{\cos(PK) - \cos(KJ)\cos(PJ)}{\sin(KJ)\sin(PJ)}\right),$$

$$PKJ = \arccos\left(\frac{\cos(PJ) - \cos(KJ)\cos(PK)}{\sin(KJ)\sin(PK)}\right).$$

Азимут Якутска из Камчатки  $AzJK = 2\pi - PKJ$ .

Азимут Камчатки из Якутска  $AzKJ = PJK$ .

Из треугольника  $PKM$ , имеющего известные стороны  $PM$ ,  $PK$  и угол  $MPK = L_k - L_m$ , равный разности долгот Камчатки и центра лунной тени в данный момент, определяем сторону  $KM$  и угол  $PKM$ .

Расстояние от Камчатки до лунной тени:

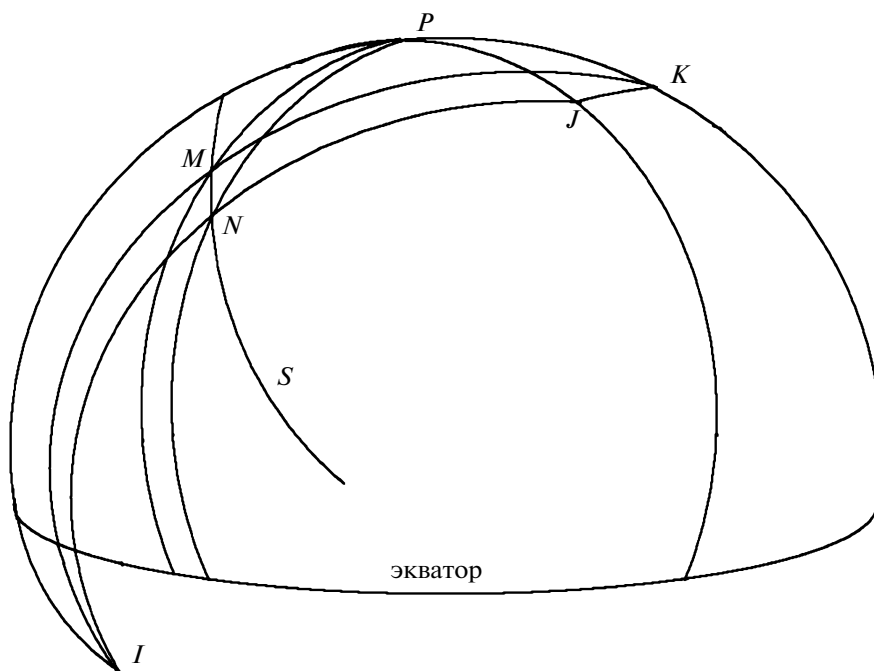
$$KM = \arccos(\cos(PK)\cos(PM) + \sin(PK)\sin(PM)\cos(L_k - L_m)).$$

$$\text{Угол } PKM = \arccos\left(\frac{\cos(PM) - \cos(KM)\cos(PK)}{\sin(KM)\sin(PK)}\right).$$

Азимут лунной тени из Камчатки:  $AzKM = 2\pi - PKM$ .

Подобным образом определяем из треугольника  $PJN$  сторону  $JN$  и угол  $PJN$ , с учетом, что угол  $MPK = L_j - L_n$  определяется разностью долгот Якутска и центра лунной тени.

Расстояние от Якутска до лунной тени:



**Рис. 5.** Расположение: пунктов наблюдения Якутск (J), Камчатка (K); полюса (P); лунной тени (M) во время приема максимума сигнала в Якутске, лунной тени (M) – на Камчатке; местоположение предполагаемого источника излучения (I); траектории лунной тени (S).

$$JN = \arccos(\cos(PJ)\cos(PN) + \sin(PJ)\sin(PN)\cos(L_j - L_n)).$$

$$Fi = \arccos(\cos(PK)\cos(PI) + \sin(PK)\sin(PI)\cos(PKI)).$$

$$\text{Угол } PJN = \arccos\left(\frac{\cos(PN) - \cos(JN)\cos(PJ)}{\sin(JN)\sin(PJ)}\right).$$

$$\text{Угол } IPK = \arccos\left(\frac{\cos(PI) - \cos(PK)\cos(IPK)}{\sin(PI)\sin(PK)}\right).$$

Азимут лунной тени из Якутска:  $AzJN = 2\pi - PJN$ .

Долгота источника:  $L_i = L_k - IPK$ .

Определим расстояние до источника излучения. Для этого рассмотрим треугольник  $IKJ$ , в котором угол  $KJI = PJN + PJK$ , угол  $IKJ = PKJ - PKM$ , а угол

В результате расчетов по приведенным выше формулам было получено, что расстояние Камчатка–Якутск  $KJ = 1980$  км, азимут Якутска из Камчатки  $AzJK = 312^\circ$ , азимут Камчатки из Якутска  $AzKJ = 107^\circ$ . Расстояния от источника излучения до Якутска составило  $IJ = 15800$  км, до Камчатки  $IK = 17800$  км, координаты источника  $Fi = 35^\circ S, L_i = 8^\circ W$ . Азимут на источник излучения из Якутска  $294^\circ$ , из Камчатки  $324^\circ$ , угол  $KIJ = 6^\circ$ .

$$KIJ = \arccos(-\cos(IKJ)\cos(KJI) + \sin(IKJ)\sin(KJI)\cos(KJ)).$$

Расстояние от источника излучения до Камчатки:

$$IK = \arccos\left(\frac{\cos(KJI) + \cos(IKJ)\cos(KIJ)}{\sin(IKJ)\sin(KIJ)}\right),$$

расстояние от источника до Якутска:

$$IJ = \arccos\left(\frac{\cos(IKJ) + \cos(KJI)\cos(KIJ)}{\sin(KJI)\sin(KIJ)}\right).$$

Определим широту и долготу источника излучения и треугольника  $PKI$ , учитывая, что угол  $PKI = PKM$ .

Широта источника излучения:

Выполненные расчеты показали: источник излучения располагался далеко от приемных пунктов; трассы распространения (источник – Якутск и источник – Камчатка) находились близко друг к другу и проходили через центральную Африку; угол (Камчатка–источник Якутск)  $KIJ = 6^\circ$ , мал. Анализируя результаты расчетов, можно считать, что трассы распространения сигнала располагались приблизительно на одной линии, и в данном случае можно лишь уверенно утверждать, что сигнал от источника излучения по длине большого круга приходит с северо-западного относительно Камчатки и Якутска направления, пересекая область лунной тени.

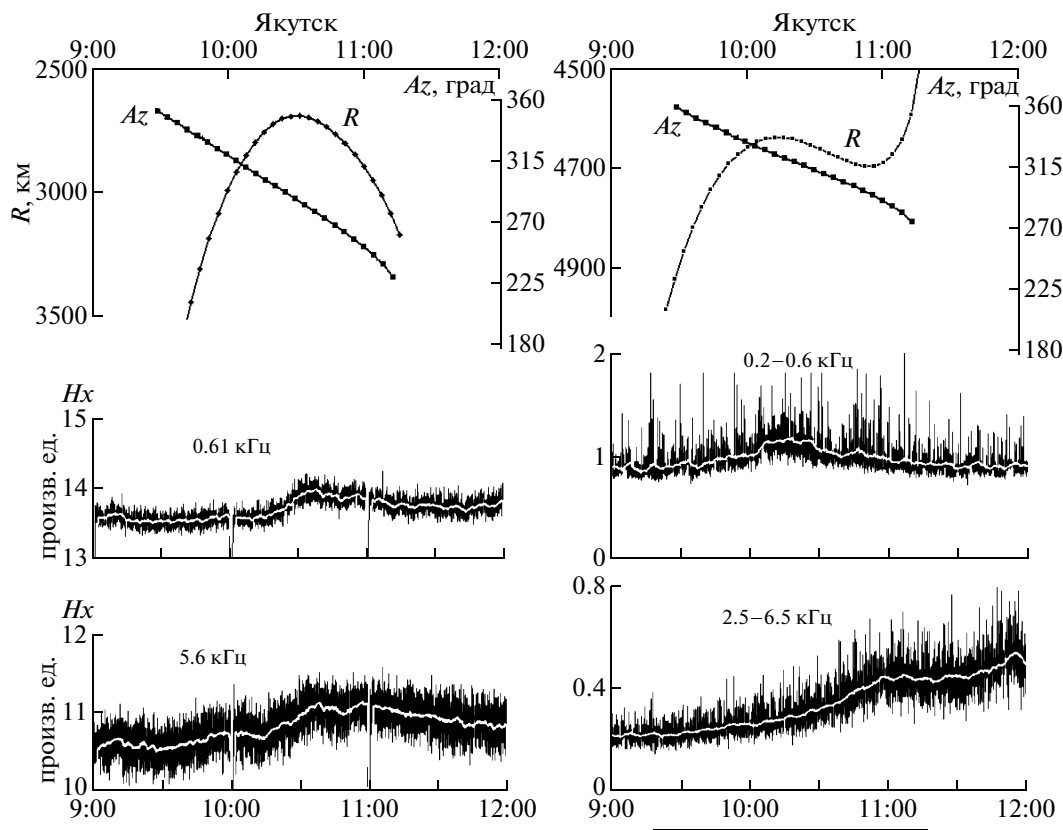


Рис. 6. Зависимости от времени: расстояния  $R$  от центра лунной тени до Якутска и Камчатки; азимута  $Az$  на направлении центра лунной тени от этих же пунктов наблюдения; вариации сигнала.

На основе расчетов было также получено, что максимум излучений в Якутске и на Камчатке на приблизительно одинаковых частотах (0.61, 5.6 кГц и 0.2–0.6 кГц соответственно) наблюдался в периоды времени, когда лунная тень подходила ближе всего к пункту регистрации (рис. 6). На Камчатке этот эффект наблюдался только при прохождении лунной тени в области высоких широт.

Учитывая относительно небольшое расстояние между приемными пунктами по сравнению с предполагаемым источником КНЧ–ОНЧ-шумов и принимая во внимание результаты работ [Дружин и Козлов, 1988; Мурзаева и др., 2001], можно полагать, что эффект солнечного затмения наблюдался в сигналах от одного доминирующего источника излучения, в качестве которого выступает Африканский центр мировой грозовой активности.

Наличие в записи на Камчатке значительного подъема шумового сигнала в 10:15 UT на нижних частотах и его отсутствие в это время на верхних можно объяснить следующим. Допустим, что бухтообразное повышение сигнала в пунктах приема происходит за счет эффектов распространения сигнала от грозовых разрядов, возникающих на больших расстояниях от пунктов наблюдения

(тысячи км) при их прохождении через область лунной тени. Тогда в диапазоне частот от десятков Гц до  $\sim 2$  кГц напряженность поля  $E$  в пункте приема с повышением частоты  $f$  уменьшается:  $E \sim 1/f$ , поскольку на нижних частотах затухание мало, а на верхних – велико [Альперт, 1972]. На частотах выше 2 кГц напряженность поля растет, но затухание сигнала на этих частотах может быть больше затухания на нижних частотах. Следовательно, из-за большого затухания на верхних частотах эффект не проявляется. В Якутске расстояние до лунной тени меньше, поэтому и затухание сигнала на верхних частотах меньше и эффект от затмения проявился на всех частотах.

Рассмотрим возможную причину появления бухтообразного повышения сигнала на Камчатке на нижних частотах только в  $Hx$ -компоненте и отсутствие повышения в  $Hу$ - и  $Ez$ -компонентах. Из рис. 4 видно, что в диапазоне частот 70–200 Гц медианные значения шумовой составляющей компонент  $Hx$  и  $Hу$  приблизительно одинаковы, и бухтообразное возмущение во время затмения наблюдалось только по компоненте  $Hx$ . Это означает, что возмущение приходило в пункт приема практически только с направления восток–запад. Видно также, что амплитуда сигнала по  $Ez$ -компоненте

значительно выше  $H_x$ - и  $H_y$ -компонент. Это может быть в том случае, если имелся дополнительный источник излучения, расположенный в ближней зоне, который вносил существенный вклад в амплитуду  $E_z$ -компоненты поля и “маскировал” сигнал, пришедший с дальней зоны приема.

При распространении сигналов лунная тень может оказывать фокусирующее воздействие за счет увеличения высоты ионосферы в области лунной тени. Вместе с тем не исключено, что кроме гроз, определенный вклад в излучение могут вносить и ионосферно-магнитосферные источники. Какой из этих механизмов превалирует, могут показать дальнейшие исследования. Суточные же вариации шумов в это время сезона аналогичны приведенным в работах [Дружин и Шапаев, 1988; Дружин и Козлов, 1994; Мурзаева и др., 2001; Михайлов и др., 2004].

## 5. ВЫВОДЫ

1. По наблюдениям 1 августа 2008 г. в Якутске за сигналами СДВ-радиостанций, находящихся в Краснодаре, Новосибирске, Хабаровске и излучающих на частотах 11.905, 12.649 и 14.880 кГц, рассмотрены эффекты солнечного затмения на распространение радиоволн. Показано, что при прохождении трассы распространения через область лунной тени происходит увеличение амплитуды сигнала на 3–5% и фазы на 30–45° от фонового уровня. На контрольной хабаровской трассе, расположенной вне области лунной тени, подобные эффекты не обнаружены.

2. Впервые в период солнечного затмения выполнена синхронная регистрация естественного электромагнитного шумового КНЧ–ОНЧ излучения в Якутске и на Камчатке. Во время прохождения лунной тени 1 августа 2008 г. в период с ~10:00 до 11:30 UT было зарегистрировано в обоих пунктах бухтообразное повышение интенсивности излучения с последующим его понижением до первоначального уровня. В Якутске этот эффект наблюдался в диапазоне частот от 0.6 до 5.6 кГц, на Камчатке – от 30 до 200 Гц и от 2.5 до 11 кГц. Время наступления максимума интенсивности зависело от частоты, наибольшее увеличение, в два раза от фонового уровня, имело место на нижних регистрируемых частотах. При этом максимум интенсивности шумового сигнала на этих частотах наблюдался в период времени, когда лунная тень подходила ближе всего к пункту наблюдения. Максимум интенсивности на верхних частотах в обоих пунктах регистрации наблюдался практически в одно и то же время, в 11:00 UT, и за-

паздывал относительно максимумов на нижних частотах.

3. Возможной причиной повышения интенсивности естественного КНЧ–ОНЧ-излучения на Камчатке и в Якутске во время солнечного затмения 1 августа 2008 г. могут быть процессы, связанные с прохождением сигнала от Африканского центра мировой грозовой активности через область лунной тени.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16 “Окружающая среда в условиях изменяющегося климата: экстремальные природные явления и катастрофы. Часть 3”.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Альперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн в ионосфере. М.: Наука, 564 с. 1972.
- Беликович В.В., Вяхирев В.Д., Калинина Е.Е., Терещенко В.Д., Черняков С.М., Терещенко В.А. Отклик ионосферы на частное солнечное затмение 29 марта 2006 г. по наблюдениям в Н. Новгороде и Мурманске // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 48. № 1. С. 103–108. 2008.
- Дружин Г.И., Торопчинова Т.В., Шапаев В.И. Регулярный шумовой фон в ОНЧ-излучении и мировые очаги гроз // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 26. № 2. С. 258–268. 1986.
- Дружин Г.И., Шапаев В.И. Роль мировой грозовой активности в формировании амплитуды регулярного шумового фона // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 28. № 1. С. 81–86. 1988.
- Дружин Г.И., Козлов В.И. Экспериментальные исследования влияния трассы распространения на регистрацию излучения мировых очагов гроз // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 34. № 6. С. 174–176. 1994.
- Каримов Р.Р., Козлов В.И., Муллаяров В.А. Особенности вариаций характеристик ОНЧ-сигналов при прохождении лунной тени по трассе в период солнечного затмения 29 марта 2006 г. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 48. № 2. С. 250–254. 2008.
- Михайлов Ю.М., Михайлова Г.А., Дружин Г.И., Капустина О.В. Обнаружение атмосферных волн в спектрах мощности атмосферных помех на Камчатке // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 44. № 2. С. 245–253. 2004.
- Муллаяров В.А., Козлов В.И., Вальков С.П. Наблюдения ОНЧ-шумов и сигналов радиостанций в период солнечного затмения 9 марта 1997 г. // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 39. № 1. С. 110–114. 1999.
- Мурзаева Н.Н., Муллаяров В.А., Козлов В.И., Каримов Р.Р. Морфологические характеристики среднеширотного регулярного шумового фона естественного низкочастотного излучения // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 41. № 1. С. 76–83. 2001.