

РАСЧЕТ ТЕКУЩИХ ЗНАЧЕНИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ НА ОСНОВЕ КОРРЕКТИРУЕМОЙ СРЕДНЕМЕСЯЧНОЙ МОДЕЛИ

Е.М. Вдовин, С.И. Книжин, А.А. Мыльникова, В.И. Сажин

CALCULATION OF CURRENT VALUES OF THE TOTAL ELECTRON CONTENT OF THE IONOSPHERE ON THE BASIS OF THE AVERAGE CORRECTED MODEL

E.M. Vdovin, S.I. Knizhin, A.A. Mylnikova, V.I. Sazhin

Проводится оценка эффективности определения текущих значений полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы на основе коррекции среднемесячной ионосферной модели, дающей высотный профиль электронной концентрации. Для пункта Иркутска использованы данные по критической частоте, полученные при вертикальном зондировании (ВЗ) ионосферы, проводимом в ИСЗФ СО РАН, и взятые из известной базы данных SPIDR. Оценка эффективности коррекции выполнена посредством сравнения величин ПЭС, рассчитываемых по скорректированной модели, и данных по ПЭС глобальных ионосферных карт GIM лаборатории CODE, размещенных в Интернет, а также данных, найденных по результатам измерений на двухчастотном приемнике в системе GPS-ГЛОНАСС, обработанных по методике, представленной в [Мыльникова, 2013]. Кроме того, оценивается возможность использования данных ПЭС, найденных из измерений, для оперативной коррекции среднемесячной модели ионосферы, вместо данных ВЗ.

Assess the effectiveness of determining the current values of the total electron content (TEC) of the ionosphere on the basis of the average of the ionospheric correction model, which gives the altitude profile of the electron density. For the item Irkutsk used data on the critical frequency, obtained by vertical sounding (OT) of the ionosphere conducted in ISTP, and taken from the well-known database SPIDR.

Определение полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы на основе использования моделей, дающих высотный профиль электронной концентрации $N(h)$ в ней, имеет важное теоретическое значение в ионосферных исследованиях. Также оно имеет прикладное значение для уточнения вклада ионосферной погрешности в ошибку позиционирования, выполняемого глобальными навигационными спутниковыми системами (ГНСС). Для получения текущих значений ПЭС используется при этом коррекция среднемесячной модели ионосферы по оперативной информации. В настоящей работе проводится оценка эффективности моделирования текущих значений ПЭС в рамках полуэмпирической модели ионосферы (ПЭМИ), основы которой [Поляков, 1986] разработаны в ИГУ и дальнейшее развитие (вариант ПЭМИм) выполнено в [Вдовин, 2011]. Особенностью модели является то, что форма профиля $N(h)$ в ней может корректироваться в нескольких высотных областях. Первым, основным этапом коррекции является уточнение формы профиля $N(h)$ в области максимума. В качестве оперативной информации при этом могут использоваться данные вертикального зондирования (ВЗ) ионосферы на станции, расположенной вблизи данного пункта земной поверхности. Также возможно использование данных, получаемых при наблюдении сигналов удаленных реперных радиостанций, работающих в декаметровом диапазоне [Гольгин, 2007]. В качестве свидетельства хорошей эффективности первого этапа коррекции модели может служить близость значений ПЭС, получаемых по скорректируемой модели, и определяемых на основе измерений в ГНСС. При наличии данных по критической частоте слоя E на первом этапе коррекции может уточняться и этот параметр модели, хотя его уточнение дает сравнительно малый вклад в величину ПЭС [Сажин, 2014]. Если первый этап коррекции дает недостаточную эффективность, то проводится второй этап – уточняется значение электронной концентрации на

высоте смены доминирующего влияния ионов атомарного кислорода на влияние ионов атомарного водорода – $N_{рав}$. По оценкам работы [Хабитуев, 2014] эта высота в регионе Иркутска для различных геологеофизических условий составляет в среднем 500–600 км ночью и 800–1000 км днем. Вариации $N_{рав}$ в типичных пределах, как показано в работе [Сажин, 2014] изменяют величину ПЭС, вычисляемую по модели ПЭМИм на 10–15 %. Значение $N_{рав}$ для коррекции могут быть получены при измерениях на близко расположенном радаре некогерентного рассеяния [Хабитуев, 2014], либо с меньшей точностью могут быть получены из сравнения величины ПЭС, получаемой в откорректированной на первом этапе модели ионосферы фитингом (разбросом) значений $N_{рав}$ с измеряемой величиной ПЭС [Вдовин, 2013]. Итоговая величина ПЭС соответствует наилучшему совпадению рассчитываемых и наблюдаемых значений ПЭС. Корректируемая модель ионосферы может использоваться при описании текущих значений ПЭС для пункта, в котором проводится первый этап коррекции, если для него отсутствуют данные измерения ПЭС. Кроме того, она, как после первого этапа коррекции, так и после второго может применяться для определения уточненных на текущую ситуацию значений ПЭС в протяженном пространственном регионе с учетом величин радиусов пространственной корреляции отклонения критических частот слоя F2 от среднемесячных значений, исследованных в работе [Поляков, 1986]. Этот регион существенно больше, чем получаемый обычно при дифференциальной коррекции ошибок позиционирования ГНСС по опорному приемнику.

В настоящей работе выполнена оценка эффективности первого этапа коррекции модели для пункта, по которому выбиралась оперативная информация при коррекции. В качестве корректируемой информации взяты данные по критическим частотам из базы данных ВЗ [<http://clust1.wdcb.ru/spidr/index.jsp>], а также полученные для пункта Иркутска 2012 г. В ИСЗФ СО РАН.

Таблица 1

Оценка эффективности модели в двух режимах для нескольких среднеширотных пунктов.

Станция	Дата	Время UTC	f_oF2 , ПЭМИ	f_oF2 , ВЗ	ПЭС ПЭМИ	ПЭС ПЭМИ К	ПЭС IONEX	Ошибка % ПЭМИ БК	Ошибка % ПЭМИ К
Новосибирск	15.1.2000	0:00	3.07	2.9	5	4.5	5	0.0	10.0
Новосибирск	25.1.2000	0:00	3.2	2.2	5.3	2.5	3.1	71.0	19.4
Москва	15.1.2000	9:00	10.5	8.2	36.3	23.2	28.7	26.5	19.2
Иркутск	5.7.2003	12:00	6.2	5.9	13.3	12	10.5	26.7	14.3
Иркутск	10.1.2006	12:00	2.27	5.1	1.8	9.4	10.2	82.4	7.8
Иркутск	5.7.2006	0:00	4.47	4.1	5.8	4.9	6.9	15.9	29.0
Москва	20.1.2000	15:00	6.7	7.1	17.1	19.2	18.6	8.1	3.2
Новосибирск	10.7.2000	0:00	6.58	8.1	20	31.8	28.4	29.6	12.0
Иркутск	20.7.2003	12:00	5.88	4.7	12.7	7.1	11.6	9.5	38.8
Иркутск	5.1.2006	12:00	2.19	4.7	1.7	8	12	85.8	33.3
Иркутск	5.7.2006	12:00	4.94	4.6	7.8	6.1	8.2	4.9	25.6
Новосибирск	20.1.2000	12:00	6.7	7.5	17.9	22.5	25.5	29.8	11.8
Новосибирск	20.7.2000	12:00	7.22	8.1	22.5	28.4	31.1	27.7	8.7
Иркутск	25.1.2003	12:00	4.8	5.9	9	14.2	18.8	52.1	24.5
средняя относительная ошибка, %								33.6	18.4

Таблица 2

Оценка эффективности модели для пункта Иркутска.

Станция	Дата	Время UTC	f_oF2 , ПЭМИ	f_oF2 , ВЗ	ПЭС ПЭМИ	ПЭС ПЭМИ К	ПЭС ИСЗФ	ошибка % ПЭМИ БК	ошибка % ПЭМИ К
Иркутск	14.09.2012	1	6.49	6.24	13.5	12.1	15.50	12.88	21.91
Иркутск	14.09.2012	2	7.05	6.56	16.5	13.7	14.21	16.15	3.56
Иркутск	14.09.2012	4	7.49	7.61	20.2	20.5	18.93	6.73	8.32
Иркутск	14.09.2012	6	7.41	7.53	19.6	20.3	21.38	8.34	5.07
Иркутск	14.09.2012	8	7.26	7.13	17.8	16.2	21.93	18.83	26.13
Иркутск	14.09.2012	10	7.15	6.57	17.3	14.3	19.02	9.02	24.80
Иркутск	14.09.2012	12	6.65	6.96	16	17.6	19.55	18.16	9.98
Иркутск	14.09.2012	14	5.74	6.16	14.4	16.5	18.57	22.46	11.16
Иркутск	14.09.2012	16	4.87	5.36	10.5	12.8	13.69	23.30	6.50
Иркутск	14.09.2012	18	4.19	5.04	8.1	11.5	11.69	30.73	1.65
Иркутск	14.09.2012	20	3.7	4.08	6.7	8.1	12.15	44.85	33.32
Иркутск	14.09.2012	22	3.98	4	7	7	11.08	36.81	36.81
Иркутск	14.09.2012	24	5.66	5.76	10.8	10.9	13.31	18.88	18.13
средняя относительная ошибка %								20.55	15.95

Оценка эффективности модели в двух режимах проведена на основе использования значений ПЭС, полученных при измерениях на опорных приемниках в системе GPS и размещаемых в Интернет [ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex], а также полученных в результате обработки данных измерений на двухчастотном приемнике по методике, представленной в [Мильникова, 2013]. Показано, что при

этом значения ПЭС близки тем, что размещается в виде карт в Интернет.

В табл. 1 представлены результаты для трех среднеширотных пунктов в различные моменты времени ряда годов. Через ПЭС IONEX обозначены данные, получаемые в Интернет. Значения критических частот в конкретные моменты времени выбирались из вышеуказанной базы данных. Как видно,

коррекция существенно снижает величину средней относительной ошибки описания моделью текущих значений ПЭС.

Также были использованы данные по критическим частотам и ПЭС, полученные в ИСЗФ для трех суток в апреле и трех суток в сентябре 2012 г. для Иркутска. При этом получено значительно меньшее значение ошибки описания моделью ПЭС, чем выше, так как в исходном режиме модель дала близкие величины критических частот к измеренным при ВЗ. В качестве примера такой ситуации приведена табл. 2 для 14.09.2012 г. в которой через ПЭС ИСЗФ обозначены данные, полученные при измерениях в ИСЗФ. Наличие суточных ходов для трех дней месяца позволило выделить отдельно дневные и ночные периоды. В результате получено, что ошибка в ночные периоды значительно больше чем в дневные. Это связано с тем, что в ночные часы ПЭС имеет небольшую, по сравнению с дневными часами величину и хотя абсолютная ошибка между модельными и измеряемыми значениями невелика, относительная ошибка при этом достигает больших значений.

Разумеется, объем выборки при выполнении настоящей работы довольно мал, чтобы объективно оценить эффективность коррекции, однако он позволяет, на наш взгляд, сделать вывод о достигаемом при этом среднем повышении точности описания текущих значений ПЭС моделью.

Работа выполнена при поддержке темы по Программе стратегического развития ФГБОУ ВПО ИГУ (проект № Р212-ОУ-033) на 2014-2015 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вдовин Е.М., Голыгин В.А., Ивельская М.К., Сажин В.И. Модель фоновой ионосферы с возможностью коррекции на текущую ситуацию в нескольких высотных областях // Взаимодействие полей и излучения с веществом: тез. док. 12-й конф. мол. ученых. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2011. С. 37–45.

Вдовин Е.М., Сажин В.И., Голыгин В.А., Ивельская М.К. Коррекция модели ионосферы в нескольких высотных областях // Взаимодействие полей и излучения с веществом: тез. док. 13-й конф. мол. ученых. Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2013. С. 35–36.

Голыгин В.А., Сажин В.И., Унучков В.Е. Адаптация к текущим условиям параметров ионосферного радиоканала по наблюдениям за сигналами реперных радиостанций // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47, № 1. С. 71–75.

Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В., Демьянов В.В. Определение абсолютного вертикального полного электронного содержания в ионосфере по данным ГЛОНАСС/GPS // Солнечно-земная физика: сборник научных трудов. Изд. СО РАН. Вып. 24 (137). 2013. С. 70–77.

Поляков В.М., Суходольская В.Е., Ивельская М.К. и др. Полуэмпирическая модель ионосферы для широкого диапазона геофизических условий. М.: МЦД-Б. 1986. 136 с.

Сажин В.И., Ивельская М.К., Вдовин Е.М., Голыгин В.А. Развитие полуэмпирической модели ионосферы и методов ее адаптации к текущей ситуации // Известия Иркутского государственного университета. 2014. Т. 8. С. 102–116.

Хабитуев Д.С., Шпынев Б.Г. Вариации высоты перехода O+/H+ над Восточной Сибирью по данным Иркутского радара HP и ПЭС GPS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11, № 1. С. 107–117.

SPIDR: SPIDR Home [Электронный ресурс]. The Space Physics Interactive Data Resource (SPIDR). URL:<http://clust1.wdcb.ru/spidr/index.jsp>.

<ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex>.

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия