

УДК 550.388.2

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАЗВЕРТЫВАНИЮ СЕТЕЙ ПРИЕМНИКОВ GPS/ГЛОНАСС  
И НИЗКООРБИТАЛЬНЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ  
СОСТОЯНИЯ ИОНОСФЕРЫ В СИБИРСКОМ РЕГИОНЕ**

**С.В. Воейков, И.К. Едемский, А.Б. Ишин, Н.П. Первалова, К.Г. Ратовский,  
Р.А. Рахматулин, Ю.В. Ясюкевич**

**PROPOSALS TO DEPLOY NETWORKS OF GPS-GLONASS AND LOW/ORBIT SATELLITE SYSTEMS  
FOR DIAGNOSTICS OF IONOSPHERIC CONDITIONS IN THE SIBERIAN REGION**

**S.V. Voeykov, I.K. Edemsky, A.B. Ishin, N.P. Perevalova, K.G. Ratovsky,  
R.A. Rakhmatulin, Yu.V. Yasyukevich**

Исследование ионосферы в Сибирском регионе представляет достаточно большой интерес. Для развития сети зондирования ионосферы в 2011–2012 гг. в ИСЗФ планируется установка станций GPS/ГЛОНАСС. Размещение планируется по двум «треугольникам»: 1) Торы–Усолье–Сибирское–Листвянка, 2) Монды–Братск–Узурь. В дополнение к развиваемой сети GPS/ГЛОНАСС предполагается развертывание меридиональной цепочки станций для радиотомографии ионосферы с использованием сигналов низкоорбитальных спутников (COSMOS, FORMASAT, OSCAR и др.). Приемники планируется расположить по Енисею в Красноярске, Енисейске, Подкаменной Тунгуске, Туруханске, Игарке. Данная цепочка позволит восстанавливать двумерный профиль ионосферы, что дополнит интегральные измерения, производимые приемниками GPS/ГЛОНАСС.

Investigation of ionosphere in Siberian region is of great importance. In the ISTP SB RAS in order to expand array of investigation instruments the project of ionosphere sounding network based on navigation GPS/GLONASS system receivers and receivers of LEO systems (COSMOS, FORMASAT, OSCAR etc.) is suggested. We suggest location of sites in form of triangles: Toty–Usolie–Sibirskoe–Listyanka and Mondy–Bratsk–Uzury. Such geometry should allow to investigate ionospheric disturbances with scales of 300 km and longer. Location of LEO receivers is proposed in form of meridian chain, which nodes are located along Enisey river: in Krasnoyarsk, Eniseysk, Podkamennaya Tunguska, Turukhansk, Igarka. Such network should allow to get 2D profile of ionosphere and it will append GPS-GLONASS integral measurements data.

**Введение**

Одним из приоритетных направлений является развитие в Сибири сети постоянно действующих станций GPS/ГЛОНАСС, которые обеспечивают контроль состояния ионосферной плазмы. В ИСЗФ СО РАН разработаны методы, алгоритмы и программное обеспечение для анализа ионосферных возмущений по данным навигационных систем, а также получен ряд интересных результатов на основе этих данных [Афраймович, Первалова, 2006]. В настоящее время Россия располагает одной из двух функционирующих в мире навигационных спутниковых систем второго поколения – системой ГЛОНАСС. В то же время количество приемных станций GPS/ГЛОНАСС, с помощью которых можно вести мониторинг состояния ионосферы, на территории России крайне низко: около 50 станций (Камчатская сеть КАМNET – 7 станций, сеть НАВГЕОКОМ – 30 станций, мировая сеть IGS – 14 станций), в то время как в Японии их более 1200. ИСЗФ СО РАН планирует развертывание в 2011–2012 гг. в Байкальском регионе региональной сети наземных двухчастотных приемников GPS/ГЛОНАСС и приемников сигналов низкоорбитальных спутников.

**Требования к пункту размещения приемника**

Пункт, в котором может быть расположен приемник, должен удовлетворять ряду требований. Эти требования обусловлены в первую очередь необходимостью обеспечения непрерывного режима наблюдений, работоспособности и сохранности приемника. Одним из условий, влияющих на выбор пункта размещения приемника, должна служить возможность наблюдения максимального числа спутников.

Неровности рельефа земной поверхности приводят в отдельных случаях к нарушению радиовидимости спутника. Антенну необходимо размещать таким образом, чтобы препятствия, которые могут находиться между спутником и приемником, не мешали регистрации сигнала для углов места, превышающих некоторое пороговое значение. При работе приемника существенное влияние на стабильность приема сигнала оказывает электромагнитное окружение. В области работы приемных станций не должно находиться мощных передатчиков радиосигнала на частотах, близких к частотам спутниковых навигационных систем. Принимая это во внимание, установку постоянно действующих приемников планируется проводить главным образом в обсерваториях ИСЗФ СО РАН, а также на крупных метеостанциях региона, отвечающих указанным требованиям.

**Проект сети приемников GPS/ГЛОНАСС  
ИСЗФ СО РАН**

Расположение приемников в сети определяется характером исследуемых с помощью данной сети объектов. Для определения параметров ионосферных неоднородностей необходимо, чтобы расстояние между приемниками составляло не более половины длины волны возмущения. Для детектирования ионосферных неоднородностей крупного масштаба (длина волны 600–1200 км) необходима сеть приемников, разнесенных на 300–600 км; для детектирования неоднородностей среднего масштаба (50–600 км) расстояние между приемниками должно составлять 25–300 км.

Размещение приемников в Прибайкальском регионе планируется с учетом использования сети для

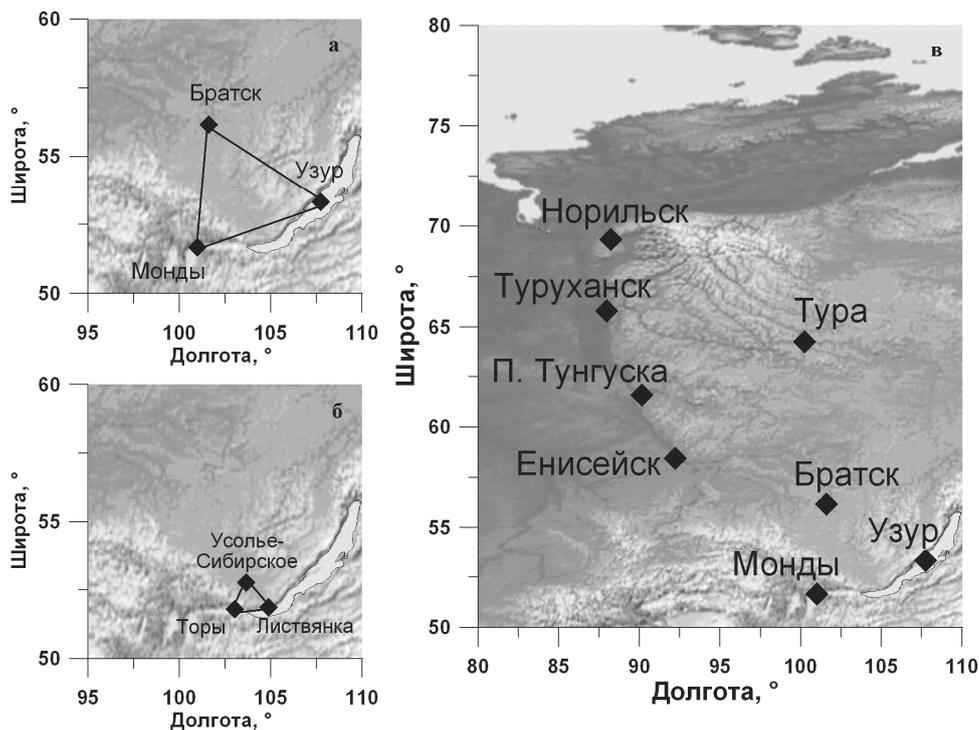


Рис. 1. Планируемое размещение приемников GPS/ГЛОНАСС в обсерваториях ИЗСФ СО РАН для исследования ПИВ с характерными пространственными масштабами порядка 1000 км (а) и 250 км (б) в Прибайкалье и высоких широтах (в).

Расстояния между измерительными пунктами

Базовые пункты	Протяженность	Базовые пункты	Протяженность
Братск–Монды	498 км	Усолье–Торы	115 км
Братск–Узур	506 км	Усолье–Листвянка	132 км
Монды–Узур	491 км	Торы–Листвянка	128 км

исследования неоднородностей различных масштабов. По своему назначению в составе сети условно можно выделить три сегмента (рис. 1).

Для исследования крупномасштабных ионосферных неоднородностей с характерным размером порядка 1000 км предполагается организовать большой измерительный треугольник в Прибайкалье (рис. 1, а): Монды (51.62° N, 100.92° E) – Братск (56.61° N, 101.78° E) – Узур на о. Ольхон (53.32° N, 107.74° E). Станции этого сегмента образуют элементарный GPS-интерферометр. Расстояния между отдельными пунктами указаны в таблице.

Для исследования среднемасштабных ионосферных неоднородностей с характерным размером около 250 км планируется организовать малый измерительный треугольник в Прибайкалье (рис. 1, б): Торы (51.8° N, 103.1° E) – Усолье-Сибирское (52.9° N, 103.3° E) – Листвянка (51.85° N, 104.9° E).

Третий сегмент региональной сети станций планируется разместить в высоких широтах (рис. 1, в). Предполагается организовать меридиональную цепочку станций GPS/ГЛОНАСС вдоль Енисея в населенных пунктах Норильск (69.2° N, 88.2° E), Туруханск (65.47° N, 87.57° E), Подкаменная Тунгуска (61.6° N, 90.1° E), Енисейск (58.47° N, 92.13° E). Расстояние между пунктами составит ~500 км. Данная цепочка позволит исследовать движение крупномасштабных ионосферных возмущений в меридиональном направлении в приполярных широтах. Пред-

полагается также провести изыскательские работы по возможности размещения приемника в п. Тура (64.28° N, 100.25° E). Это позволило бы организовать дополнительные интерферометры (Туруханск–Тунгуска–Тура; Тунгуска–Тура–Енисейск).

Станции сети GPS/ГЛОНАСС, создаваемой ИЗСФ СО РАН, будут оснащены приемниками «Delta-G3T», «SigmaQ-G3D» фирмы «Javad». Данные приемники наряду с групповыми и фазовыми осуществляют также амплитудные измерения. Приемник «Javad Delta-G3T» имеет 216 каналов и осуществляет измерения на основных рабочих частотах по всем находящимся в зоне видимости спутникам навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, «Galileo».

### Сеть приемников низкоорбитальных ИСЗ

Помимо сети GPS/ГЛОНАСС ИЗСФ СО РАН планирует организовать цепь станций для томографии ионосферы сигналами низкоорбитальных спутников (COSMOS, FORMASAT и др.). Располагать приемники предполагается в населенных пунктах вдоль Енисея (серые точки на рис. 2). При этом цепь приемников будет иметь почти меридиональное расположение. Предполагается работать со спутниками на «нисходящих» (направленных с северо-запада на юго-восток) траекториях.

Планируемая установка станций в населенных пунктах, расположенных по Енисею, обладает следующими преимуществами: во-первых, она практи-

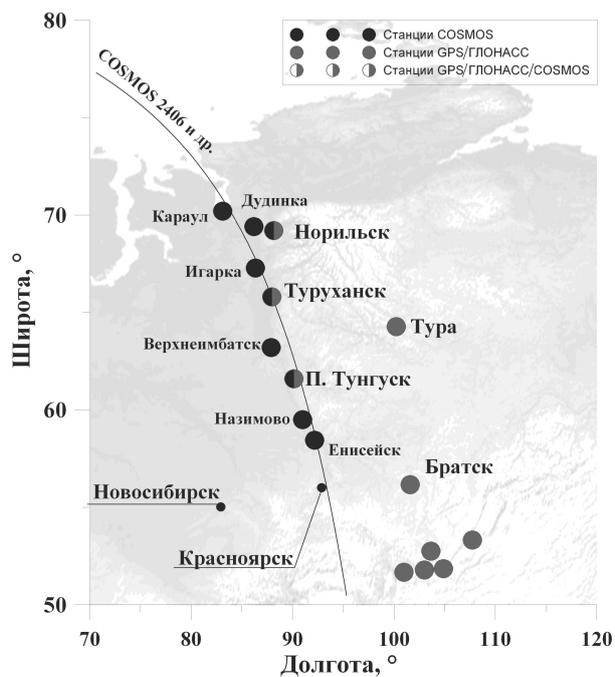


Рис. 2. Схема размещения приемников сигналов низкоорбитальных и высокоорбитальных спутниковых систем. Серые точки – станции GPS/ГЛОНАСС, черные точки – станции COSMOS.

чески идеально подходит для использования сигналов отечественных спутников серии COSMOS (таких как COSMOS 2407, COSMOS 2414, COSMOS 2429 и т. п.); во-вторых, все планируемые станции могут быть размещены в относительно больших населенных пунктах, в которых есть условия для установки и функционирования станции в непрерывном режиме.

В то же время предлагаемая енисейская цепочка по своему географическому положению не подходит для использования в качестве продолжения уже действующих тайваньской и индийской цепочек. В

случае проектирования цепи станций для семейства спутников FORMASAT можно было бы выйти на тайваньскую цепь станций, однако тогда планируемая енисейская цепь перестанет быть «меридиональной» и получить меридиональный разрез ионосферы будет невозможно.

При использовании низкоорбитальных спутников (например, серии COSMOS) нужно учитывать, что один спутник будет пролетать над цепью станций на подходящем для томографии расстоянии в среднем один раз в сутки. Траектория каждого следующего пролета из-за вращения Земли смещается относительно предыдущего на  $26^\circ$  по долготе. Траектории спутников в следующие сутки сместятся относительно предыдущих на  $8^\circ$ .

### Заключение

В 2011–2012 гг. в ИСЗФ СО РАН планируется размещение приемников GPS/ГЛОНАСС, которые станут основой для создания региональной Прибайкальской сети. Данная сеть послужит существенным дополнением к инструментам ИСЗФ СО РАН для исследования ионосферных возмущений среднего и крупного масштабов.

Авторы выражают благодарность В.И. Куркину, а также сотрудникам МГУ В.Е. Куницыну и А.М. Падохину за многочисленные консультации. Работа поддержана грантом РФФИ 10-05-00113, грантом Президента РФ МК-2194.2011.05, а также Министерством образования и науки Российской Федерации (ГК 14.740.11.0078 и 16.518.11.7097).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афраймович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск, 2006. 480 с.

*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск*