

Салихов З.С., Арабский А.К., ООО «Газпром добыча Ямбург», **Кузнецов В.Д., Зайцев А.Н., Петров В.Г., Фомичев В.В.**, Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук (ИЗМИРАН), **Трошичев О.А., Янжура А.С.**, Арктический и антарктический научно-исследовательский институт (АНИИ)

Система контроля космической погоды для оценки технологических рисков на территории полуострова Ямал

Ключевые слова: космическая погода, магнитные возмущения, контроль состояния электромагнитного поля Земли

Keywords: space weather, magnetic disturbances, the Earth's electromagnetic field monitoring

Введение. Эффекты космической погоды и их проявления в высоких широтах

В последнее десятилетие учеными разных стран выполнены большие программы космических исследований, которые по-новому позволили оценить механизмы воздействия космической среды на околоземное пространство, человека и его деятельность. Общая схема эффектов солнечного ветра (СВ) в околоземном пространстве представлена на рис. 1. Видно, что воздействие проявляется на всех объектах в космосе и на земле – на космонавтах (радиационная опасность), на спутниках (пробои в электронике и деградация солнечных панелей), на состоянии ионосферы (нарушения радиосвязи и



Рис. 1. Общая схема эффектов солнечного ветра (СВ) в околоземном пространстве была любезно предоставлена нам в английском варианте проф. Л. Ланзеротти, редактором журнала Space Weather

Z.S. Salikhov, A.K. Arabsky, Gazprom добыча Yamburg, **V.D. Kuznetsov, A.N. Zaitsev, V.G. Petrov, V.V. Fomichev,** Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation, **O.A. Troshichev, A.S. Yanzhura,** Arctic and Antarctic Research Institute

Space Weather Monitoring System in Assessing Operational Risks on Yamal Peninsula

Among other impacts, the Sun influences the near-Earth space weather. This is evidenced by magnetic storms followed with high space radiation, radio disturbances, induced current in power lines, etc. Space effects are most tangible at high latitudes and in auroral zones due to the structure and behavior of the Earth's magnetic field. Intense development of the Arctic and the Yamal Peninsula required a space weather monitoring system to report on the Earth's magnetic field status. The paper summarizes the expertise and elaborates proposals on shaping the Yamal Polar Geophysics information system.



Салихов

Зульффар Салихович

главный инженер, первый заместитель генерального директора ООО «Газпром добыча Ямбург», e-mail: yamburg@yamburg.gazprom.ru

Арабский

Анатолий Кузьмич

заместитель главного инженера по научно-технической работе и экологии ООО «Газпром добыча Ямбург», доктор технических наук, e-mail: yamburg@yamburg.gazprom.ru

Кузнецов

Владимир Дмитриевич

директор Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук, лауреат Государственной премии РФ, доктор физико-математических наук, тел.: (496) 751-01-20, e-mail: kvd@izmiran.ru

Зайцев

Александр Николаевич

зав. сектором полярных геофизических исследований Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук, доктор физико-математических наук, тел.: (496) 751-02-93, e-mail: zaitsev@izmiran.ru

снижение точности систем навигации), на приземном слое (индукционные эффекты во всех технологических системах от линий электропередач до точных измерительных установок). Для предприятий нефти и газа внешние воздействия в первую очередь будут проявляться в нарушениях энергоснабжения, при работе геофизических приборов, в том числе приборов для прецизионной навигации бурового инструмента при наклонно-направленном бурении. Не следует упускать из виду воздействие космических бурь (геомагнитных возмущений) на биосферу, в том числе и на человека. Такое воздействие не является катастрофой для большинства людей, но те, кто периодически находится в экстремальных полярных условиях (вахтовики), страдающие сердечной недостаточностью, депрессивными (психическими) расстройствами и т.п. проявляют отчетливую реакцию на магнитные бури, которая иногда становится фатальной.

Следует отметить то, что с самых высоких трибун объявлено, что альтернативы развитию высоких технологий на пути развития России нет. К сожалению, в ряде областей сегодня наблюдается такое отставание. Его преодоление потребует значительных усилий и грамотной оценки сил и возможностей. В том числе получил определенную направленность вектор развития страны путем освоения природных и иных ресурсов Крайнего Севера. А это значит, что целый ряд направлений внедрения высоких технологий окажется в зоне интенсивного влияния космической погоды. Следовательно, уже сейчас крайне необходимо не только восстановить сеть магнитовариационных станций, но и начать исследовательские работы по положительному использованию получаемых данных и предупреждению потенциальных рисков. Так, в Норвегии на каждой буровой и добывающей платформе в Северном море установлена своя магнитовариационная станция.

Большая интенсивность космических воздействий в полярных широтах определяется тем, что именно здесь, в зоне полярных сияний, чья форма и положение определяются структурой и динамикой магнитного поля Земли, происходит наибольшее выделение энергии потоков солнечных частиц [1, 2]. На высотах слоя E ионосферы (~ 100 км) на ночной стороне в зоне полярных сияний в период больших магнит-

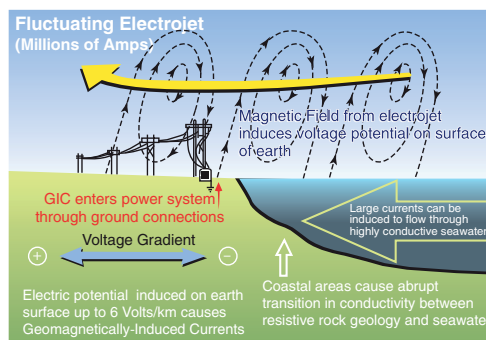


Рис. 2. Общая схема взаимодействия авроральной электроструи и наземной линии электропередач. Основная опасность – выход из строя трансформатора

ных бурь формируются струйные токи, величина которых может достигать десятков миллионов ампер. На рис. 2 представлена общая схема такого явления. И хотя такие токи распределены по большой площади, их индукционная составляющая может достигать на Земле единиц вольт на метр. При длине линий передач в сотни километров наведенные токи могут достигать сотен ампер и приводить к выгоранию конечных устройств – силовых трансформаторов, переключающих устройств и т.п. Для систем катодной защиты трубопроводного транспорта возможно полное или частичное выведение их из строя.

Примеры таких катастрофических явлений хорошо известны и особенно четко документированы на северных территориях в Канаде и Скандинавии в пределах зоны полярных сияний. Для предотвращения катастроф в Канаде и Скандинавии ведется постоянный мониторинг состояния магнитного поля Земли и налажена служба оповещения о развитии особо опасных геофизических явлений в реальном

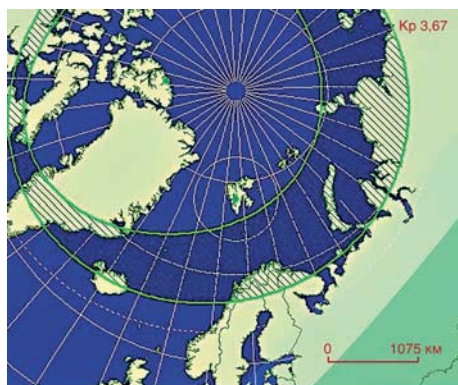


Рис. 3. Положение овала полярных сияний над сектором Восточной Арктики по данным сайта http://kho.unis.no/Forecast_NP.htm для 31 мая 2010 года в 19:30 мирового времени, при средней магнитной возмущенности, Kp индекс 4-

времени. На рис. 3 представлена карта-схема положения зоны полярных сияний, взятая с сайта http://kho.unis.no/Forecast_NP.htm, на которой видно, что в момент 31 мая 2010 года в 19:30 мирового времени зона охватывает значительную часть Арктики. В этот момент зона полярных сияний охватывает половину Ямала, из Салехарда и Нового Уренгоя они будут видны у северной кромки горизонта. Величина Kp-индекса 4- (3,67), что соответствует началу малой магнитной бури. Можно ожидать вариаций магнитного поля на Ямале в пределах 500-800 нТл. В отдельные моменты резкие изменения вариаций магнитного поля (всплески в виде резких импульсов) могут составить величину 100 нТл/мин. Обновление картинки на сайте ведется каждую минуту, что позволяет вести мониторинг появления полярных сияний в реальном времени и использовать эти данные в практической работе при проведении геофизических работ по заданиям газовых и нефтяных компаний в этом секторе Арктики.

Петров

Валерий Григорьевич

ведущий научный сотрудник Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук, кандидат физико-математических наук, тел.: (496) 751-09-21, e-mail: vpetrov@izmiran.ru

Фомичев

Валерий Викторович

заместитель директора Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук, доктор физико-математических наук, тел.: (496) 751-01-23, e-mail: fomichev@izmiran.ru

Трошичев

Олег Александрович

заведующий отделом геофизики Арктического и антарктического научно-исследовательского института, профессор, тел.: (812) 337-3134, e-mail: olegtro@aari.ru

Янжура

Александр Станиславович

старший научный сотрудник Арктического и антарктического научно-исследовательского института, кандидат физико-математических наук, тел.: (812) 337-3157, e-mail: alex_j@aari.ru

Ввиду того, что регион Ямала представляет собой стратегический ресурс России на ближайшие несколько десятилетий, представляется особо важным учитывать эффекты космической погоды именно в этом регионе, имеющем особые геофизические условия. В качестве первого и необходимого шага по учету условий «космической погоды» многократно обсуждался вопрос о создании информационной системы по территории Ямала, в которой отражались бы сведения о состоянии космической погоды и их проявления в высоких широтах. Такая справочная система позволит довести достижения фундаментальной науки до практического применения, в первую очередь к освоению знаний о влиянии космической среды и ее проявлений в виде «космической погоды». В данной работе нами сделана попытка системно изложить состояние вопроса по созданию региональной справочно-информационной системы СИС «Полярная геофизика на Ямале», обеспечивающей контроль и представление данных о состоянии магнитного поля, ионосферы и полярных сияний по территории Ямала.

Ямал как полигон исследований глобальных геофизических явлений

Положение Ямала как наиболее развитого, доступного и важного для экономики России региона определило большой интерес со стороны ученых к исследованиям на Ямале. Что касается наблюдений и исследований внешней среды глобального характера до 1991 г., на Ямале имела развитая сеть метеостанций, включая аэрологию, опорную ионосферную станцию в Салехарде системы Гидрометслужбы и сеть экспедиционных наблюдений за вариациями магнитного поля, созданную ИЗМИРАН [3]. Данные наблюдений по этой сети были доступны через тематические Мировые центры данных в Москве и в Обнинске, а в сети Интернет была размещена открытая база цифровых магнитных данных, см. www.cosmos.ru/magbase. В этой базе данных имеются записи вариаций магнитного поля с 1-мин. разрешением по многим пунктам на Ямале, в том числе по магнитометру на мысе Каменном за период 1986–1998 гг. На рис. 4 приведен пример записи магнитных возмущений во время большой магнитной бури в январе 1997 г. По трем компонентам магнитного поля видно, что

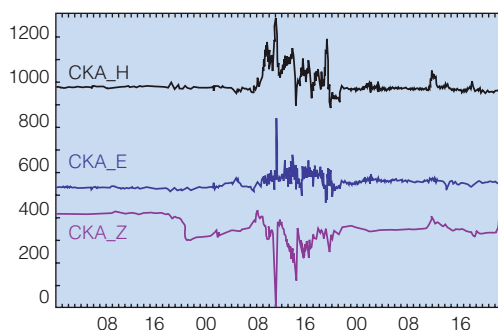


Рис. 4. Магнитные возмущения по данным магнитометра на мысе Каменном, во время большой магнитной бури 9–11 января 1997 г.

основное возмущение произошло с 09 до 21 ч мирового времени 10 января, планетарный Кр-индекс достигал максимальных значений в 9 баллов. Эта буря послужила началом 23 цикла солнечной активности, амплитуда возмущений на мысе Каменном достигала 400 нТл в дневные часы, на ночной стороне в Канаде амплитуда возмущений превышала 1500 нТл (~ 10% от базовых значений).

Плотные сети магнитометров являются наиболее простым, надежным и информативным способом исследований пространственно-временных характеристик ионосферных токов. В Арктике сложилось несколько полигонов, где расставлено большое количество магнитометров. В Скандинавии их число достигает более 40, причем значительная часть данных доступна в реальном времени по сети Интермагнит. Это сервер в Тромсе, Норвегия (<http://geo.phys.uit.no/map.html>) и в Финляндии (<http://www.ava.fmi.fi/image>).

Кроме систем сбора магнитных данных работают система контроля ионосферы с помощью радаров SuperDARN (<http://superdarn.jhuapl.edu/index.html>), система контроля поглощения в ионосфере по риометрам, проект Университета в Ланкастере, Англия, (<http://www.dcs.lancs.ac.uk/iono/iris>), наземная сеть съемки полярных сияний с помощью камер всего неба в Канаде, (<http://aurora.phys.ucalgary.ca/themis>). Отдельно надо упомянуть радары некогерентного рассеяния, работающие в Тромсе, на Шпицбергене, в Гренландии, на Аляске, которые дают новые исследовательские данные по физике ионосферы. Вся эта армада наземных установок и приборов действует согласованно с инструментами в космосе, где на разных орбитах функционируют спутниковые платформы, с которых ведется мониторинг всех электромагнитных параметров космической среды от высот в 500 км до орбиты Луны. Несколько спутников ведут съемку полярных сияний, так что имеется возможность исследовать их динамику во время развития магнитных возмущений.

На рис. 5 представлена карта-схема сети магнитометров в районе Карского моря и полуострова Ямал, работавшая с 1972 г. с аналоговой регистрацией, с 1985 г. часть станций вела цифровую регистрацию. Красным цветом выделены станции, действующие на 01 января 2010 г. (17 – Амдерма, 02 – Диксон, 19 – Норильск, 25 – Надым) и планируемые к восстановлению (18 – Салехард, 15 – Мыс Каменный, 14 – Сеяха, 13 – Харасовей). Жирными линиями нанесены геомагнитные координаты, в системе которых струйные ионосферные токи находятся в пределах от 62 до 70 градусов широты.

Сеть геофизических приборов на Ямале позволит включиться в глобальную сеть магнитометров и в глобальные проекты исследований характера геофизических возмущений в полярных широтах. Это даст возможность использовать данные других полигонов для сравнения, детальной оценки и прогноза ожидаемых эффектов для региона Ямала. На рис. 5 красным цветом выделены точки наблюдений, которые будут основными при создании справочно-информационной системы реального времени. Научное обоснование этой работы будет выполнено в рамках гранта РФФИ № 10-07-00159 на 2010–2012 гг. «Виртуальная магнитная обсерватория в зоне полярных сияний на полуострове Ямал».

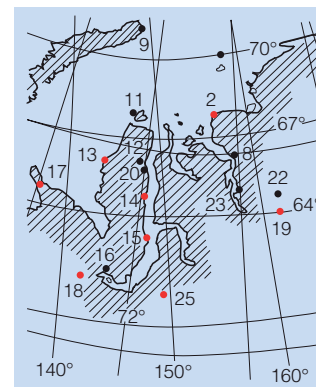


Рис. 5. сеть магнитометров в районе Карского моря и полуострова Ямал, работавшая с 1972 года с аналоговой регистрацией, с 1985 г. часть станций вела цифровую регистрацию. Красным цветом выделены станции, действующие на 01 января 2010 г.

(17 – Амдерма, 02 – Диксон, 19 – Норильск, 25 – Надым) и планируемые к восстановлению (18 – Салехард, мыс Каменный, 14 – Сеяха, 13 – Харасовей) Жирные линии – геомагнитная сетка координат, овал полярных сияний располагается между 62-70 градусами широты в зависимости от интенсивности магнитных возмущений



Новый проект SuperMAG, см. <http://supermag.jhuapl.edu/>, ориентирован на сбор данных в глобальном масштабе под задачи науки, прикладной геофизики и службы «космической погоды». Российские научные организации участвуют во всех этих проектах, а в последнее время создают свои системы мониторинга. Одним из первых шагов в этом направлении является Центр прогноза геофизической обстановки ИЗМИРАН, на сайте которого представлены данные мониторинга магнитного поля <http://forecast.izmiran.ru>.

Открытая справочно-информационная система «Полярная геофизика Ямала»

Из анализа информации по существующим справочно-информационным системам в области солнечно-земной физики и полярной геофизики следует, что система «Полярная геофизика Ямала» может быть создана только в тесной кооперации с имеющимися источниками информации. Более 20 лет работает система сбора данных магнитных обсерваторий в реальном времени Интермагнит (www.intermagnet.org). Основным мотивом начала работ по проекту Интермагнит было задание от нефтяных компаний иметь информацию о состоянии магнитного поля по региону Северного моря. Задача была успешно решена, а сама система Интермагнит охватила всю мировую сеть магнитных обсерваторий и включает более 100 обсерваторий. Недавно сделан следующий шаг, чтобы охватить и полярные широты и увеличить число обсерваторий до 200.

При создании региональной справочно-информационной системы «Полярная геофизика Ямала» планируется использовать весь накопленный опыт по этим разработкам как у нас в стране, так и за рубежом. В институтах России до самого последнего времени попытки создания открытых справочно-информационных систем по космической физике в реальном времени были ограничены тематическими сайтами по одной или нескольким дисциплинам. В планетарном масштабе такие СИС с полным охватом всех наземных и космических данных широко известны, например сайт Центра прогноза состояния космической среды в Боулдере, США <http://swpc.noaa.gov>, который является основным таким центром в мире. В нашем случае мы хотим создать СИС для пользователей конкретного региона и при этом обеспечить пользователей актуальной информацией под их конкретные нужды. Для региональной СИС «Полярная геофизика на Ямале» критически важным является задача сбора и представления данных в реальном времени, так как именно данные в реальном времени будут востребованы конечными пользователями.

На рис. 6 представлена схема основных источников информации и общая структура по наполнению СИС «Полярная геофизика Ямала». Источники информации делятся на две группы: первая – это региональные данные и данные российских организаций, вторая – зарубежные данные, находящиеся в открытом доступе. Среди первой группы наиболее важными являются данные по Ямалу и прилегающим территориям, по второй группе – данные космических аппаратов мониторинга космической среды и солнечного ветра, а также прогнозы «космической погоды» от Центра в Боулдере. Сама СИС «Полярная геофизика Ямала» строится как веб-сервер, в котором входящая информация перерабатывается по алгоритмам и программам, составленным под задачи оперативной оценки состояния космической среды и потребностей локальных пользователей для региона Ямала. Например, из глобального прогноза полярных сияний, составляемого в Норвегии или Геофизическим институтом на Аляске, выделяем часть информации, имеющую приложение к Ямалу в виде, удобном для местных пользователей на Ямале. Важной задачей является

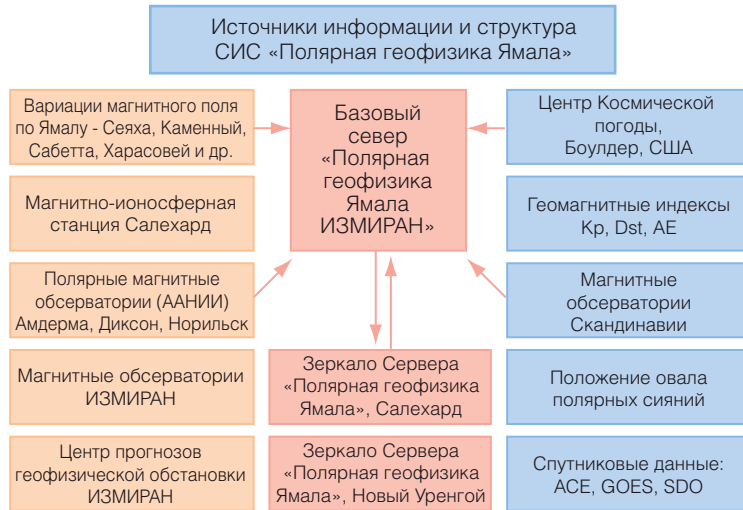


Рис. 6. Схема основных источников наполнения и структура справочноинформационной системы СИС «Полярная геофизика Ямала»

трансляция данных с открытых серверов в Интернет с пояснительным текстом на русском языке. Показано, что использование информации на родном языке существенно увеличивает ее усвоение.

Другим элементом всей системы должно стать создание «зеркал» для пользователей в Салехарде и Новом Уренгое. Это техническое решение позволит привлечь локальных пользователей и обеспечить устойчивость работы сервисов системы в целом.

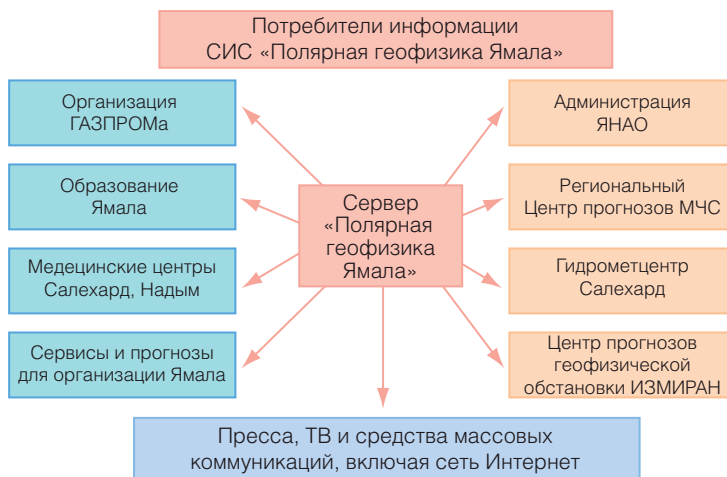


Рис. 7. Схема раздачи информации СИС «Полярная геофизика Ямала» по классам пользователей

Много говорится об эффектах влияния магнитных бурь на здоровье жителей региона. Серьезные работы в этом направлении ведет НИИ медицинских проблем Крайнего Севера РАМН в Надыме, там же работает большой медицинский реабилитационный Центр ОАО «Газпром», где налажена профилактика состояния здоровья сотрудников ОАО «Газпром» с учетом северных условий работы и геофизической обстановки. Научное обоснование подобной практики подтверждено в большом количестве публикаций [4, 5].



Основная работа по созданию справочно-информационной системы «Полярная геофизика Ямала» в 2011-2015 гг. на этапе ее создания будет выполнена сотрудниками Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн имени Н.В. Пушкова Российской Академии наук (ИЗМИРАН). В дальнейшем можно рассчитывать, что на региональном уровне появятся специалисты, способные поддержать работу сервера самостоятельно. В этом случае роль ИЗМИРАН сводится к научно-методическому руководству работой по проекту и поддержанию его высокого уровня как для науки, так и для практики. В качестве базовых организаций могут выступить держатели «зеркал» системы: ООО «Газпром добыча Ямбург» и Департаменты образования и науки ЯНАО в Салехарде.

Предложения по созданию справочно-информационной системы о состоянии магнитного поля, ионосферы и полярных сияний по территории Ямала фактически определяются наличием потребителей информации. На рис. 7 представлена схема раздачи информации СИС «Полярная геофизика Ямала» по классам потребителей. Так как информация структурирована по своим приложениям, то можно рассчитывать на ее востребованность в первую очередь со стороны дочерних компаний ОАО «Газпром», ведущих геофизические исследования и буровые работы.

Одним из первых на Ямале был восстановлен магнитометр в поселке Сеяха с опорой на школу-интернат (см. <http://syoyakha.narod.ru>). Эти наблюдения используются в качестве исходной информации для программы дополнительного образования «Возмущения магнитного поля на Ямале как проявления космической погоды». Можно рассчитывать, что эта программа будет освоена в других школах Ямала, так как данные наблюдений доступны по сети Интернет. Такая программа будет фактором привлечения молодежи к современной науке, введение в эту проблематику представлено в [6]. Пользователями СИС «Полярная геофизика Ямала» также будут многие организации, по своему профилю ведущие мониторинг общей природной обстановки: Гидрометцентр в Салехарде, Региональный Центр прогнозов МЧС, отделы природопользования в Администрации ЯНАО. По опыту работы Центра прогнозов геофизической обстановки ИЗМИРАН, см. <http://forecast.izmiran.ru/>, общественный интерес к данным о магнитных бурях и космической погоде постоянно растет [8]. С 2011 г. ожидается рост солнечной активности, что заведомо приведет к росту числа пользователей СИС «Полярная геофизика Ямала». В прогнозе возможных последствий больших магнитных бурь в период 24-го цикла солнечной активности на 2012–2015 гг., по данным ученых США, риски представляются очень существенными для высокотехнологичной экономики США [7], и учет этих рисков совершенно необходим и в России.

Заключение: практические шаги на период 2011–2015 гг.

Представленные сведения по вопросу создания справочно-информационной системы «Полярная геофизика Ямала» однозначно подтверждают тезис о необходимости формирования региональной справочно-информационной системы, обеспечивающей контроль и представление данных о состоянии магнитного поля, ионосферы и полярных сияний по территории Ямала. Такая система органично вливается в общую открытую информационную структуру России по научным и прикладным направлениям. Среди них можно отметить Федеральную целевую программу «Создание и развитие системы мониторинга геофизической обстановки на территории РФ на 2008–2015 гг.», разрабатываемую Федеральную целевую программу «Использование результатов космической деятельности в интересах социально-экономического развития РФ и ее регионов на 2010–2015 гг.» и региональные научно-прикладные программы, поддерживаемые РФФИ (www.rffi.ru) на паритетных началах с местными администрациями.

При переходе к высокотехнологичной модели развития экономики приходится учитывать все факторы воздействия окружающей среды, в

том числе и космофизический фактор, получивший обобщенное название «космическая погода». Для этого от исследований и сбора данных в регионе Ямала необходимо перейти к созданию системы контроля космической погоды для оценки технологических рисков на территории полуострова Ямала. В качестве первых шагов необходимо:

1. Восстановить наблюдения за вариациями магнитного поля на Ямале в ключевых точках, где возможно подключение приборов к сети Интернет или системам передачи данных в реальном времени.
2. Создать справочно-информационную систему «Полярная геофизика Ямала».
3. Организовать рабочую группу (РГ) специалистов и заинтересованных лиц для координации работ по СИС «Полярная геофизика Ямала» и ее дальнейшего продвижения и развития.
4. Получить поддержку проекта на региональном и федеральном уровне.
5. Информировать общественность о деятельности РГ.

По мере создания региональной справочно-информационной системы «Полярная геофизика Ямала» содержание и решаемые задачи будут уточняться. Главной целью остается контроль космической погоды для оценки технологических рисков на территории полуострова Ямал. В то же время использование данных СИС «Полярная геофизика Ямала» можно ожидать по широкому кругу задач – от образования и медицины до новых направлений исследований в области солнечно-земной физики. ■

Ближайший российский космический проект в этой области, подготовленный в Институте космических исследований РАН (www.cosmos.ru), – запуск четырех спутников системы Резонанс в 2012 г. для исследований электромагнитных свойств магнитосферы. При этом магнитометры на Ямале будут использоваться как часть опорной сети при анализе спутниковых данных. Определенный вклад в планируемую работу составит реализация исследований по гранту РФФИ № 10-07-00159 «Виртуальная магнитная обсерватория в зоне полярных сияний на полуострове Ямал» на период 2010–2012 гг., а также по грантам Департамента науки Администрации ЯНАО на 2011 г.

Список литературы

1. Исаев С.И., Пудовкин М.И., Полярные сияния и процессы в магнитосфере Земли. М.: Наука. – 1972. – 244 с.
2. Сергеев В.А., Цыганенко Н.А. Магнитосфера Земли. М.: Наука. – 1980. – 174 с.
3. Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли, сб.статей к 50-летию ИЗМИРАН, Академия наук СССР. М.: Наука. – 1989. – 360 с.
4. Агаджанян Н.А., Ораевский В.Н., Макарова И.И., Канониди Х.Д., Медико-биологические эффекты геомагнитных возмущений. М.: ИЗМИРАН. – 2001. – 138 с.
5. Бреус Т.К., Чибисов С.М., Баевский Р.М., Шибзухов К.В., Хроно-структура биоритмов сердца и факторы внешней среды. М.: РУДН. – 2002. – 232 с.
6. Бутько Н.И., Зайцев А.Н., Карпачев А.Т., Козлов А.Н., Филиппов Б.П., Космическая среда вокруг нас – введение в исследования околоземного космического пространства, книга и приложение на CD-ROM. Троицк: ТРОВАНТ. – 2006. – 245 с.
7. Severe Space Weather Events-Understanding Societal and Economic Impacts: A Workshop Report, edition of Committee on the Societal and Economic Impacts of Severe Space Weather Events: A Workshop, National Research Council The National Academies Press, pp.144, Washington, USA, 2008, см. http://books.nap.edu/catalog.php?record_id=12507
8. Belov A.V., Gaidash S.P., Kanonidi Kh.D., Kanonidi K.Kh., Kuznetsov V. D., Eroshenko E.A., Operative center of the geophysical prognosis in IZMIRAN // Annales of Geophysicae. – V. 23. – 2005. – №. 9. – p. 3163-3170.