

УДК 621.371

Канд. техн. наук С.А. Матвиенко, Т.В. Небосенко, М.А. Андросов

МОНИТОРИНГ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Рассмотрена возможность применения новых GPS-технологий для измерения параметров ионосферы, гравитационного и магнитного полей Земли при решении задач по определению сейсмоактивных участков земной поверхности, временных интервалов, в течение которых происходят выбросы газа в шахтах, а также влияния космогонических факторов на состояние людей и техники.

Розглянуто можливість застосування нових GPS-технологій для вимірювання параметрів іоносфери, гравітаційного та магнітного полів Землі під час вирішення завдань щодо визначення сейсмоактивних ділянок земної поверхні, часових інтервалів, протягом яких відбуваються викиди газу в шахтах, а також впливу космогонічних чинників на стан людей і техніки.

Possibility of new GPS-technology application for measurement of ionosphere, Earth gravitational and magnetic field parameters at solving the problem of determination of seismically active Earth surface areas, time intervals during which gas release is occurred in mines, and also cosmogonic factors influence on the human and technique state is considered.

Введение

Научные исследования, выполненные за последние годы, показывают, что изменение условий на Солнце, в солнечном ветре, магнитосфере и ионосфере (так называемая космическая погода) оказывает влияние на явления природы, работу космических и наземных технических систем (например, нарушение радиосвязи), а также на здоровье человека.

Контроль этих изменений (в первую очередь, обнаружение и предупреждение происходящих на Земле опасных и катастрофических явлений) с помощью мониторинга ионосферы, гравитационного и магнитного полей Земли приобретает все большее практическое значение. Использование для этих целей новых отечественных и зарубежных спутниковых систем позволит получить более точные и актуальные данные для анализа и прогноза последствий чрезвычайных ситуаций.

Мониторинг землетрясений и сейсмической активности

Под прогнозом землетрясения сейсмологи подразумевают заблаговременное определение места, времени и силы ожидаемого сейсмического события. Первым приближением к прогнозу служит сейсмическое районирование, отвечающее на вопрос, какой силы подземные толчки могут ожи-

даться в данной местности. Следующие степени приближения по времени дают соответственно долго-, средне- и краткосрочный прогнозы землетрясений. С учетом районирования и параметров сейсмического цикла выделяются потенциально наиболее опасные области на срок в десятки лет, и на них концентрируются исследования с целью уточнения пространственных и временных рамок возможного сильного землетрясения.

Сложность предсказания землетрясения обуславливается недостаточным знанием о процессе его формирования, отсутствием адекватных физической теории сейсмического процесса и математической модели, описывающей поведение этого природного явления.

В настоящий момент накоплено довольно большое количество свидетельств о проецировании предвестников катастроф на ионосферные высоты, например, на стадии подготовки землетрясений и извержений вулканов.

Как теоретические, так и экспериментальные исследования показали, что зона подготовки землетрясения проецируется в ионосферу вдоль геомагнитных силовых линий, то есть спутник в ряде случаев обнаружит предвестники не над эпицентром, а на участке орбиты, куда спроецированы геомагнитные силовые линии с высоты ~100 км. Существенное влияние будет ока-

зывать экваториальная ионосферная аномалия и другие факторы, возмущающие геомагнитное поле.

Сейчас можно говорить только о принципиальной возможности, но не о точности прогнозирования эпицентра землетрясения по результатам ионосферных измерений ионозондами.

Помимо мониторинга ионосферы, необходимо больше уделять внимания геофизическим предвестникам сейсмоземлетрясений, прежде всего аномалиям гравитации [1, 2], поскольку в настоящее время считаются доказанными аномальные изменения геофизических процессов в пределах нефтегазоносных структур и зонах с повышенной сейсмоактивностью, так как в данных зонах формируются зонально-кольцевые аномалии, прежде всего геофизических полей (гравитационных, электромагнитных и др.) [3]. Для диагностики сейсмического состояния на основании данных о геофизических параметрах необходимо глубокое изучение гравитационного поля Земли, контроль изменения его параметров во времени и сопоставление этих изменений с сейсмической обстановкой.

Использование данных наземных измерений в совокупности с данными космических измерений ускорения свободного падения, приведенных к референц-эллипсоиду, даст возможность обнаружить аномалии, расположенные между поверхностью Земли и референц-эллипсоидом. В результате анализа этих аномалий могут быть определены районы сейсмоактивности.

Все эти данные могли бы предотвратить катастрофы, аналогичные Чернобыльской аварии. В [4] выражено предположение, что именно наличие быстротекущего геофизического деформационного процесса стало ее причиной.

Тектонические деформации в районе ЧАЭС начали инструментально регистрировать начиная с 1984 г. Опасные тектонические процессы под станцией продолжали развиваться, поэтому уже в середине апреля 1986 г. из-за возникших перекосов фундамента была отмечена нестабильная рабо-

та турбогенераторов № 7 и 8 четвертого энергоблока.

Подозрения о наличии деформационного процесса (геофизического как первопричины аварии) объясняются тем, что с середины апреля отслеживался резко выраженный аномальный барический процесс. Авария произошла через пять суток после возникновения глубокого минимума атмосферного давления и через двое суток после наступления его максимума. Такие изменения могут быть вызваны интенсивными локальными геофизическими процессами.

Использование количественного моделирования проявлений этого гипотетического землетрясения на площадке ЧАЭС в виде расчетных акселерограмм и их анализ могли бы дать ответ на вопрос: могло ли землетрясение повлиять на ход технологических процессов в условиях нестабильного режима работы реактора таким образом, чтобы спровоцировать аварию? К сожалению, пока убедительного ответа на этот вопрос нет.

Мониторинг выбросов газа в шахтах

Одним из направлений таких исследований является прогнозирование неблагоприятных временных интервалов на основе использования закономерностей взаимосвязи между проявлением внезапных выбросов газа в шахтах и вариациями параметров космогонических факторов.

Физика и механизм смещения во времени проявлений в зонах геологических сдвигов аномалии потенциала силы тяжести недостаточно изучены, а основные закономерности влияния космогонических факторов на выбросоопасность газов в угольных пластах окончательно не установлены. В связи с этим разработка метода прогноза выбросоопасности на основе учета временных интервалов с неблагоприятными изменениями космогонических факторов является одним из важнейших и актуальных заданий для угледобывающей отрасли.

М.В. Стовас показал, что под действием деформирующих сил на земном шаре устанавливаются семь критических параллелей, которые определяют общие изменения всех внутренних параметров [5]. В пределах од-

ной из критических параллелей 48°11'23" размещен Донбасс. Проведенный авторами сравнительный анализ широтного распределения частоты внезапных выбросов газа показал, что вблизи критических параллелей распределение частоты внезапных выбросов значительно выше, чем в других регионах.

Х. Нойнхефер, применяя вероятностно-статистические методы расчета, корреляционный и гармонический анализ, показал, что больше всего влияют на напряженное деформированное состояние горных пород годовые колебания атмосферного давления. Результаты этих расчетов приведены в [6]. Г. Сортес, проанализировав распределение внезапных выбросов, зафиксированных за период разработки угольного месторождения в районе г. Пекты, связывает сезонное распределение числа выбросов с определенными фазами Луны: частота внезапных выбросов в период перигея Луны в 2,21 раза больше, чем в период апогея [7].

К.Ф. Тяпкин в своих исследованиях, рассмотренных в [8], установил корреляцию между изменениями потенциала силы тяжести и средней плотностью горных пород. Увеличение ускорения свободного падения на 10 мГал отвечает увеличению средней плотности горных пород на $5 \cdot 10^{-5}$ кг/м³.

Связь между изменением плотности пород и возникновением выбросов газа устанавливает и геодинамическая модель. Согласно модели приливные силы деформируют земную поверхность в виде "горба", внутри которого происходит разупрочнение пород. Этой фазе земного прилива соответствуют "отсасывание" газов из глубины массива и их свободная миграция с поверхности Земли. При уменьшении внешней деформирующей силы "горб" постепенно снижается, породы уплотняются, и происходит "выдавливание" газов из пород в приземный слой воздуха. В этой фазе земного прилива стоит ожидать большего выхода газов в приземный слой воздуха, чем при свободной миграции. Эта теория наиболее приемлема в условиях горных пород с высокой степенью пористости, которыми является уголь. Время, когда процесс дегазации достигает максимума, может

быть определено по графикам амплитуды приточных вариаций силы тяжести. Самыми опасными являются дни с максимальной амплитудой земного прилива, во время которых необходимо уделять особое внимание соблюдению техники безопасности.

Результаты исследований, проведенных институтом геологии ПВ РАН, со всей очевидностью подтверждают правильность рассмотренной авторами геодинамической модели горного массива.

Мониторинг влияния космогонических факторов на состояние людей и техники

Единовременно в атмосфере действуют несколько сотен волн разного диапазона и интенсивности. Одно из их проявлений – волны на поверхности океана. Помимо обычных ветровых там действуют еще и гравитационные, проявляющиеся в виде лунных и солнечных приливов. Изменение гравитационных волн приводит к возникновению так называемых волн жары, т.е. периодов, когда устанавливается аномально высокая температура (на 5 градусов выше нормы, присущей данному региону). За последние 10 лет наблюдается увеличение количества волн жары.

Это явление расценивается как стихийное бедствие, сопряженное со множеством рисков для здоровья. Перегрев ведет к изменениям гемодинамики, повышению свертываемости крови, возрастанию возможности тромбообразования. Однако нарушение физического состояния человека, вызванное воздействием геофизических факторов, связанных с вариациями солнечной активности, проявляется не только в периоды волн жары. Во время магнитных бурь у людей, страдающих заболеваниями органов дыхания и сердечно-сосудистой системы, наблюдаются снижение показателей жизненной емкости легких и пневмотахеометрии и увеличение случаев возникновения инсультов [9]. Кроме того, во время сильных геомагнитных возмущений регистрируются импульсные головные боли, а также изменение фонового состояния головного мозга.

Волны жары влияют и на психическое здоровье. Люди со слабой психикой в пе-

риоды волн жары страдают от депрессий, нервных срывов и эмоциональной нестабильности. Известно влияние геомагнитной активности и на уровень преступности. При указанных сочетаниях геофизических факторов (максимум солнечной активности и т.п.) число случаев насильственной смерти составляет около 90% всех случаев [10].

Солнечная активность также влияет на вспышки эпидемий. Начало этим исследованиям было положено в 1915 г. А.Л. Чижевским, который, используя данные о числе жертв эпидемий в прошлом веке в разных странах, установил связь между заболеваниями и смертностью от холеры, дифтерии, тифа и других заболеваний с числом солнечных пятен. Было доказано, что размножение вирусов ускоряется в момент максимума солнечной активности.

Солнечная и лунная активности оказывают непосредственное влияние на технику. Неоднократные наблюдения показали, что изменение магнитного поля вызывает нарушения работы самолетов и других сложных механизмов и устройств [11]. Возмущения в атмосфере приводят к отказу навигационной аппаратуры и впоследствии к катастрофам. Мощные магнитные бури могут привести к нарушениям электро-снабжения городов или даже областей: перегрев трансформаторов под действием геомагнитно-индукционных токов, создаваемых вследствие геомагнитных бурь, систематические аварии всей энергетической системы [12].

Поэтому прогноз погоды превращается в вопрос жизни и смерти. Прогноз циклов волн жары и магнитных бурь осуществляется посредством использования общих глобальных климатических моделей, при этом наиболее точно понять ситуацию можно только за несколько дней.

Системы мониторинга геофизических полей

Новые спутниковые технологии позволяют отслеживать деформации земной поверхности, изменения температуры почв при выбросах глубинных флюидов, изменения в свойствах ионосферы, связанные с

подготовкой и реализацией сильных землетрясений.

Задачи измерений гравитационного поля Земли в проектах CHAMP, GRACE и GOCE решают по данным точного позиционирования космического аппарата (КА) с помощью GPS и его лазерной локации. Параметры гравитационного поля Земли определяются по эволюции орбит КА, для этого наземные станции ведут тщательное наблюдение примерно за 30 аппаратами.

В результате проекта CHAMP построена модель, которая описывает геоид (поверхность равного гравитационного потенциала) с точностью 1 м. Задача КА CHAMP – привести точность определения радиуса геоида до 1 см при пространственном разрешении 550–650 км, т. е. улучшить существующую модель на два порядка за счет 16-канального бортового GPS-приемника.

Модель CHAMP обнаруживает только среднemasштабные детали гравитационного поля. Однако к ней можно привязать результаты наземных измерений и данные альтиметрии над океанами, прибавив необходимые детали. Появится также возможность пересчета высот, измеряемых космическими навигационными системами относительно земного эллипсоида с погрешностью в несколько сантиметров, в "обычные" высоты относительно уровня моря. Тем самым отпадет необходимость в дорогих геодезических измерениях.

В рамках проекта GRACE для сбора максимально точных данных о гравитационном поле Земли два идентичных спутника "Том" и "Джерри" были выведены на орбиту высотой 500 км над Землей. Изменения расстояния между аппаратами фиксируют микроволновым дальномером с точностью до тысячных частей миллиметра. Положение спутников над Землей ученые определяют с помощью системы GPS.

Спутники "Том" и "Джерри", выведенные на орбиту в марте 2003 г., собрали дополнительные данные о гравитационном поле Земли, и результатом этой работы стала новая гравитационная карта нашей планеты. А после возобновления программного обеспечения спутников будут получены карты, в 100 и больше раз пре-

восходящие по точности карты, которые были до запуска "Тома" и "Джерри".

КА GOCE, предназначенный для наблюдений за гравитационным полем и режимом циркуляции океана, – первый проект в рамках программы ЕКА "Живая планета". КА предназначен для измерений распределения гравитационного поля Земли с помощью сверхточного гравитационного градиентометра. КА GOCE оснащен тремя парами трехосных градиентометров, 12-канальным GPS-приемником, шестью датчиками акселерометров. КА обеспечит определение аномалий гравитационного поля Земли с точностью 1 мГал, точность определения формы геоида – 1-2 см. Запуск GOCE осуществлен в 2009 г. с космодрома Плесецк.

Аппарат размещается на высоте ~ 250 км. На этой высоте в разреженной атмосфере длина звуковых волн, которые вызывают масштабные землетрясения, достигает нескольких метров, что позволяет регистрировать их с помощью КА. Низкочастотный звук или инфразвук, который достигает этих высот, вызывает вертикальные движения, которые расширяют и сжимают атмосферу. Это именно те движения, которые GOCE зафиксировал от землетрясения 11 марта 2011 года в Тохоку.

Точность результатов измерений КА на расстояниях порядка 100 км превосходит точность всех более ранних моделей, включая миссию GRACE.

Огромный вклад в мониторинг геофизических полей вносит наземный сегмент. В настоящее время в мире насчитывается более 3000 GPS-станций, которые проводят непрерывные наблюдения на регулярной основе и свободно предоставляют свои данные мировому сообществу. Каждая отдельная станция обеспечивает мониторинг в радиусе более 1000 км, в том числе в труднодоступных местах. GPS позволяет с точностью до миллиметров отслеживать положения точек земной поверхности, где установлены стационарные приемники, и оценивать их перемещение и скорость движения.

Глобальная сеть IGS (International GNSS Service) насчитывает более 1500 станций по

всему миру. Использование сети IGS для исследований имеет несколько преимуществ: одновременное глобальное покрытие, высокое временное разрешение, непрерывность во времени, доступность данных.

Необходимо отметить бурный рост региональных сетей GPS-станций, обеспечивающих более совершенное пространственно-временное разрешение. Европейская сеть EUREF Permanent GPS Network (EPN) в настоящий момент насчитывает 187 станций. Мощная сеть GEONET, развернутая в Японии, предоставляет информацию от 1200 GPS-станций. Плотная сеть GPS-станций (около 300) создана в сейсмоопасной зоне в штате Калифорния (США). Развитие данных сетей представляет собой экспериментальную основу для осуществления GPS-мониторинга основных сейсмоактивных районов мира.

В Украине также разрабатывают региональные сети GPS-мониторинга. В настоящий момент существует пять коммерческих сетей референчных станций ГНСС-наблюдений с центрами во Львовской, Киевской, Закарпатской, Харьковской и Запорожской областях. Целью создания сетей является удовлетворение нужд потребителей в проведении высокоточных GPS-наблюдений в режиме реального времени и послесеансных определениях пространственных координат объектов.

В рамках проекта создания единой европейской инфраструктурной GPS-ГНСС сети EUPOS в Западной Украине были созданы две сети при поддержке Национального космического агентства Украины и Национальной службы геодезии и картографии. В Закарпатской области используется аппаратное и программное обеспечение Trimble, а во Львовской – Leica Geosystems. Оборудование Leica Geosystems использует сеть в Харьковской области, развертывание которой проводит Научно-производственное предприятие "Навигационно-геодезический центр", а также новая сеть в Киевской области, принадлежащая совместной украинно-швейцарской фирме System Solutions. ООО "ТНТ ТПИ" – дистрибьютер Topcon в

Украине – развернул сети станций в Харьковской и Запорожской областях.

В Днепропетровской области существуют четыре коммерческие GPS-станции, использующие оборудование ТНТ ТПИ, а также частная станция DNMU Национального горного университета.

Информация, принимаемая постоянно действующими референсными станциями ГНСС, собирается в центрах обработки данных сетей, в которых проводится анализ качества собранных данных, их предварительная обработка и архивирование. Данные наблюдений с большинства станций пересылаются в Операторский центр данных Главной астрономической обсерватории Национальной академии наук Украины (ГАО НАНУ), в котором их преобразуют в формат RINEX и направляют в Региональный центр сбора данных ВКГ Федерального агентства картографии и геодезии, г. Франкфурт-на-Майне, и Локальный центр сбора данных EPN Института космических исследований (OLG), г. Грац.

Использование информации, накапливаемой на референсных станциях сетей, позволит предприятиям отказаться от установки собственной базовой станции для высокоточного определения пространственных координат и увеличить количество используемых подвижных спутниковых приемников.

ГП "КБ "Южное" обладает технологией мониторинга гравитационного и магнитного полей Земли (ГМПЗ) [патенты Украины на изобретения № 83239, 84704, 90960, 90961, 98358], которая позволяет определять все составляющие гравитационного поля и обеспечивает высокую точность из-

мерений за счет исключения влияния внешних факторов.

Для практической реализации эксперимента по определению ускорения свободного падения вблизи поверхности Земли необходимо использовать дифференциальный метод измерения разности частот сигналов [13], формируемых на выходе двух ГНСС-приемников (рисунок). Для увеличения точности эксперимента частотные выходы антенн ГНСС-приемников должны быть подключены к двум частотомерам перекрестным образом. Измерение параметров ГМПЗ осуществляется с помощью фазового компаратора, в качестве которого используется работающий в режиме измерения интервалов времени частотомер CNT-91. Для CNT-91 № 1 получен коэффициент линейной аппроксимации, который отвечает разнице частот $8,73 \cdot 10^{-16}$ (при $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ погрешность эксперимента – 1,2%). Для CNT-91 № 2 получен коэффициент линейной аппроксимации, который отвечает разнице частот $9,04 \cdot 10^{-16}$ (при $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ погрешность эксперимента – 4,7%).

Было проведено обесшумливание данных относительно линии тренда с помощью прямого вейвлет-преобразования (вейвлет db4, 12 уровней декомпозиции), после чего с учетом систематической погрешности были получены такие суммарные погрешности: для CNT-91 № 1 – 0,6%, для CNT-91 № 2 – 2,9%.

Таким образом, можно утверждать, что ускорение силы тяжести на поверхности Земли с помощью двух ГНСС-приемников может измеряться на базе 10 м с погрешностью до 100 мГал, что отвечает проведенным теоретическим расчетам.

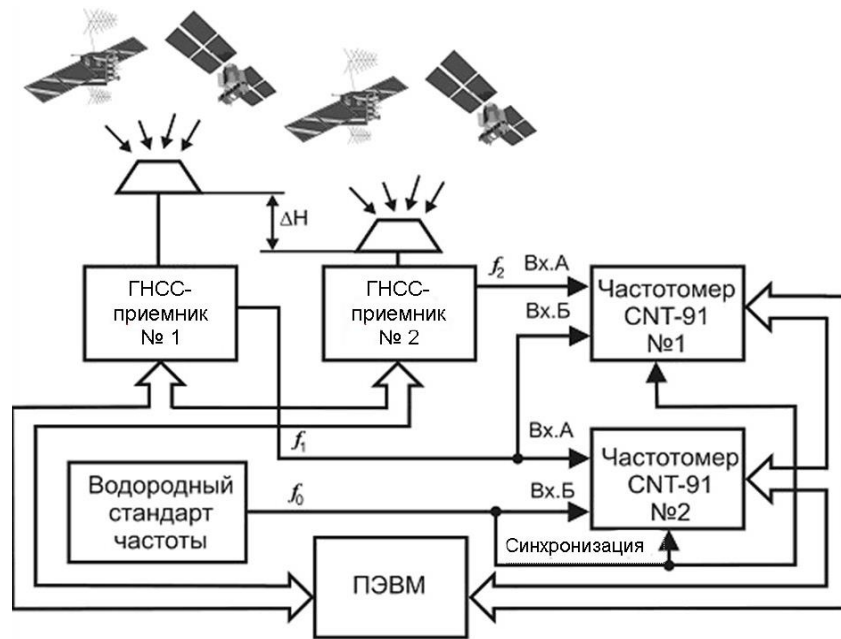


Схема эксперимента по определению ускорения силы тяжести двумя ГНСС-приемниками

Методы обработки данных мониторинга

Авторами статьи предложена методика обнаружения сейсмо-ионосферных предвестников в вариациях полного электронного содержания, в основе которой лежит информационно-статистический подход. Для предварительной оценки возможной регистрации сейсмо-ионосферного предвестника применяется анализ глобальных ТЕС-карт (Total Electronic Concentration).

Так как основными особенностями ионосферных предвестников являются четко выраженная локальность и ограниченность времени проявления (не более 4–6 ч), возникает необходимость изучать карты с более высоким пространственно-временным разрешением. Для построения региональных ТЕС-карт по данным измерений сетей GPS-станций должна использоваться методика, которая позволяет получать карты с заданным интервалом и высоким пространственным разрешением, дающим возможность детектировать ионосферные неоднородности размером более 100 км. В каждом изучаемом регионе выделяется сеть опорных GPS-станций. Для выбранных станций изучается поведение суточной вариации ТЕС: строится временной ряд, который исследуется с помощью методов статистического анализа. Определяется локальная область с наибольшими отклонениями в ТЕС-вариации. Таким образом, анализ региональных карт с подобным разрешением позволяет изучать морфологические и динамические характеристики возбуждаемых сейсмической активностью ионосферных возмущений и оценить пространственные масштабы и амплитуду сейсмо-ионосферного возмущения.

В случае изучения гравитационного и магнитного полей Земли применяются аналогичные действия, только в качестве исследуемых параметров выступают ускорение силы тяжести, гравитационный потенциал, напряженность магнитного поля (полученные с использованием математического представления World Magnetic Model [14]).

Огромную роль играют данные об изменении значений ускорения силы тяже-

сти и атмосферного давления при использовании методов прогноза выбросов газа в шахтах и построения прогнозных карт на основе учета временных интервалов с неблагоприятными изменениями космогонических факторов.

Сущность методики заключается в следующем:

1. Определяются данные по суточным вариациям силы тяжести для определенного участка горного массива.

2. Анализируется наличие геологических сдвигов и их расположение относительно рассматриваемого участка.

3. По критериям (А – скорость изменения приращения силы тяжести и В – изменение знака приращения) определяются неблагоприятные временные интервалы с учетом аномалий потенциала силы тяжести, вызванные геологическими сдвигами, и соответствующего смещения по времени возможных внезапных выбросов.

В качестве исходных данных выступают географические координаты шахтопластов, данные по геологическим сдвигам и данные по силе тяжести, полученные Полтавской гравиметрической обсерваторией для каждой конкретной шахты.

Карты с вероятностью 0,98 отображают временные интервалы, в течение которых возникают выбросы газа.

Выводы

Согласно современным представлениям прогноз землетрясений и выбросов газа в шахтах принципиально возможен, по крайней мере, в вероятностном понимании. Однако даже при выявлении космических предвестников современное научно-методическое обеспечение позволяет создать на их базе приблизительный прогноз землетрясений. ГП "КБ "Южное" обладает оригинальными техническими решениями и методиками, которые призваны решить задачу прогнозирования этих природных явлений.

С целью совершенствования методов прогнозирования чрезвычайных ситуаций необходимо сосредоточить внимание на исследовании самих предвестников землетрясений и выбросов, первоисточником

которых является аномальное электрическое поле. По результатам исследований может быть решена обратная задача: воспроизведение структуры аномального электрического поля над зонами, где будут происходить землетрясения и выбросы, по характеристикам предвестников. Располагая такой моделью, можно ставить вопрос о прогнозировании чрезвычайных ситуаций по космическим предвестникам, поскольку данные о структуре, интенсивности и динамике изменений аномального электрического поля позволят намного точнее предсказывать место, время и интенсивность подземных толчков.

Для сокращения негативного влияния чрезвычайных ситуаций в Украине необходимо внедрить систему мониторинга параметров геофизических полей, которая бы проводила регулярные измерения с использованием собственного оборудования и отечественных сетей референсных станций GPS-ГНСС-наблюдения.

Список использованной литературы

1. Бородзич Э.В. Воздействие короткоживущих подкорковых локальных возмущений на лито-, гидро- и атмосферу/ Гагаринские науч. чтения по космонавтике и авиации, 1989 г. – М.: Наука, 1999. – С. 130–141.
2. Морозова Л.И. Атмосферные индикаторы землетрясений Ближнего Востока // Исследование Земли из космоса. – 1993. – № 6. – С. 81–83.
3. Перерва В.М. и др. Некоторые аспекты механизма формирования полезного сигнала в оптическом поле ландшафтов над залежами углеводородов// Космическая наука и технология. – Т. 8, №2/3. – К.: ЦАКИЗ ИГН ИАН Украины, 2002. – С. 187.
4. Васильев В., Старостенко В., Страхов В. и др. Причины и уроки Чернобыльской катастрофы // Энергетика Земли, ее геолого-экологические проявления, научно-практическое применение: Сб. науч. тр. – К., 2006. – С. 59–65.
5. Забигайло В.Е. и др. Геологические условия выбросоопасности угольных пластов Донбасса / В.Е. Забигайло, А.З. Широков, В.В. Лукинов, Г.М. Стовас. – К.: Наук. думка, 1980. – 189 с.
6. Чернов О.И., Пузырев В.Н. Прогноз внезапных выбросов угля и газа. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
7. Нестеренко П.Г., Стовас М.В. Изменение гравитационного поля как одна из причин сейсмичности Земли // Геофизика и астрономия. – К., 1963. – С. 85–92.
8. Тяпкин К.Ф. Физика Земли. – К.: Вища шк., 1998. – 312 с.
9. Цыганков К.В., Григорьев П.Е. Влияние гелиогеофизических факторов на латерализацию инсультов головного мозга // Асимметрия. – 2009. – Т. 3, №4. – С. 56–79.
10. Кравченко К.Л., Кудрявцева А.О., Язев С.А. Влияние геомагнитной активности на уровень уличной преступности в Иркутске // VI Междунар. конф. "Космос и биосфера". – Партезит, 2005. – С. 97–99.
11. Зенченко Т.А., Мерзлый А.М., Астахов С.А. Анализ статистической связи гелиогеофизических факторов и динамики аварийности на международных авиалиниях за период 1947–2005 гг. // VI Междунар. конф. "Космос и биосфера". – Партезит, 2005. – С. 39–41.
12. Бабаев Э.С., Аскеров А.Б. Эффекты воздействия космической погоды и связанных с ней геомагнитных бурь на системы передачи электроэнергии на средних широтах // VI Междунар. конф. "Космос и биосфера". – Партезит, 2005. – С. 41–43.
13. Матвиенко С.А. Радіофізичний метод вимірювання параметрів гравітаційного поля Землі: Дис... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 2011. – 183 с.
14. Матвиенко С.А. и др. О возможности определения локальных значений электронной концентрации ионосферы и магнитного поля Земли с помощью ГНСС-измерений на малой базе / С.А. Матвиенко, А.В. Прокопов, В.Н. Романько, В.К. Копыл// Наук. пр. VII Міжнар. наук.-техн. конф. "Метрологія та вимірювальна техніка" (Метрологія-2010), 12-14 жовт. 2010 р., у 2-х т. Т. 1. – Харків: ННЦ "Інститут метрології", 2010. – С. 189–191.

Статья поступила 30.07.2013