

УДК 20.23.27

Требования к геоинформационной системе для сбора, обработки, визуализации и анализа экспериментальных геофизических наземных и спутниковых данных

Мукашева С.Н., к. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник,
Институт ионосферы, г. Алматы, Республика Казахстан, +77273858759,
E-mail: snmukasheva@gmail.com

Малимбаев А.М., магистрант, научный сотрудник, Институт ионосферы
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы,
Республика Казахстан, +77473779330, E-mail: nanozavr@mail.ru

Шарипова Г. научный сотрудник, Институт ионосферы,
г. Алматы, Республика Казахстан, +77079074858, E-mail: gunya-87@mail.ru

Информационные и компьютерные технологии широко используются для решения актуальных задач, стоящих перед современной наукой. Целью настоящей работы является обоснование и подготовка рекомендаций к требованиям геоинформационной системе (ГИС) для сбора, обработки и визуализации экспериментальных геофизических наземных и спутниковых данных в периоды сейсмической активизации на Северном Тянь-Шане. На основе современных информационных технологий с использованием экспериментальных данных, математического моделирования и средств вычислительной техники рекомендуется реализовать функциональные возможности геоинформационной системы. В едином геоинформационном пространстве рекомендуется организовать доступ к необходимым ресурсам: спутниковые измерения параметров межпланетного магнитного поля (скорость, температура, плотность, давление, концентрация потоков частиц солнечного ветра); GPS-измерения (полное электронное содержание); наземные измерения параметров геомагнитного поля; доступ к международным и казахстанским сейсмологическим каталогам. С помощью компьютерных программных средств, портлетов (внутренних служебных программ), рекомендуется реализовать графическое представление данных для конкретного сейсмического события в необходимом временном интервале. Создаваемая ГИС позволит для конкретного сейсмического события в регионе Северного Тянь-Шаня проанализировать эффекты в геофизических полях на стадии подготовки и во время землетрясений.

Ключевые слова: геоинформационная система, литосфера, ионосфера, землетрясение.

Геоақпараттық жүйені жинау, өңдеу, визуалды және эксперименттік геофизикалық жер үсті және жер серікті деректерді талдау талаптары қойылған

Мукашева С.Н., ф.-м. ф. канд., жетекші ғылыми қызметкер, Ионосфера институты,
Алматы қ., Қазақстан Республикасы, +77273858759, e-mail: snmukasheva@gmail.com

Малимбаев А.М., магистранты, ғылыми қызметкер, Ионосфера институты, аль-Фараби атындағы
Қазақ

Ұлттық Университеті, Алматы қ., Қазақстан Республикасы
+77473779330, e-mail: nanozavr@mail.ru

Шарипова Г., ғылыми қызметкер, Ионосфера институты, Алматы қ.,
Қазақстан Республикасы, +77079074858, e-mail: gunya-87@mail.ru

Өзекті міндеттерді шешу үшін ақпараттық және компьютерлік технологиялар кеңінен пайдаланып, заманауи ғылыми тұрған алдында. Геоақпараттық жүйесін (ГАЗ) жинау үшін, осы жұмыс мақсаты дайындау талаптарының ұсыныстары мен негіздеулері болып табылып, Солтүстік Тянь-Шандегі жер серіктік деректерін сейсмикалық жандандыру кезеңдері мен геофизикалық жер үсті эксперименттерін визуалды өңдеу. Заманауи ақпараттық технологияларды негізін эксперименттік деректерді пайдалана отырып, геоинфоақпараттық жүйелердің функционалды мүмкіндіктерін іске асыруы математикалық моделдеу және есептеу техника құралдары ұсынылады.

Бірыңғай геоақпараттық кеңістікте қажетті ресурстарға қол жеткізу ұйымдастырылады: планета аралық магнит өрісін жерсерік параметрлерін өлшеу (жылдамдығы, температура-сы, тығыздығы, қысымы, күн және жел бөлшектер ағынының концентрациясы); GPS-өлшеу (толық электрондық мазмұны); геомагнитті өрісінің жер үсті параметрлерін өлшеу; халықаралық және қазақстандық сейсмологиялық каталогтарға қол жетімділігі. Компьютерлік бағдарламалар құралдары көмегімен, портлеттер (ішкі қызметтік бағдарламалар), графикалық мәліметтерді іске асырылуын ұсынлуы үшін нақты сейсмикалық оқиғалар уақытша қажетті аралықтары ұсынылады. Солтүстік Тянь-Шань өңірінде нақты сейсмикалық оқиғаларды ГАЗ құрылатын мүмкіндігі, геофизикалық өрістердегі дайындау сатысындағы талдау әсерлері мен жер сілкінісі уақытында.

Түйін сөздер: Геоақпараттық жүйе, литосфера, ионосфера, жер сілкінісі.

Requirements for Geoinformational System for Gathering, Processing, Visualization, and Analysis of Experimental Geophysical Ground and Satellite Data

Mukasheva S.N., Cand. Sci. (Phys.-Math.), Institute of

Ionosphere, Almaty, Kazakhstan, +77273858759, E-mail: snmukasheva@gmail.com

Malimbayev A.M., researcher, Institute of Ionosphere, graduate student, Kazakh

National University named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan,

+77473779330, E-mail: nanozavr@mail.ru

Sharipova G., researcher, Institute of Ionosphere,

Almaty, Kazakhstan, +87079074858, E-mail: gunya-87@mail.ru

Information and communication technologies are widely used for solving actual problems, faced by modern science. The goal of the current paper is to justify the need for and prepare recommendations for requirements of a geoinformational system (GIS) for gathering, processing, and visualization of experimental geophysical ground and satellite data for the periods of seismic activity on Northern Tian Shan. We recommend to create a geoinformational system, based on modern technologies, and using experimental data, mathematical modelling, and computing technologies. We recommend to organize access to necessary resources in the common geoinformation space: satellite measurements of interplanetary magnetic field (velocity, temperature, density, concentration of streams of solar wind particles); GPS-measurements; Ground-based measurements of geomagnetic field parameters, and International and Kazakhstani seismological catalogs. We recommend to realize a graphical presentation of data for specific seismic event in the demanded time interval with help of computer software and portlets (internal support programs). The created GIS will allow to analyze effects in geophysical fields for specific seismic events in region of Northern Tian Shan on pre-earthquake stages and during the earthquake.

Key words: Geoinformation system, Lithosphere, Ionosphere, Earthquake.

1 Введение

Над эпицентрами сильных землетрясений по спутниковым данным были зарегистрированы всплески магнитной и электрической компонент поля низкочастотных шумовых излучений за несколько часов до главного сейсмического удара. Обнаружены изменения в электрической и магнитной составляющих поля низкочастотных излучений, регистрируемых на борту спутника, при пересечении проекции его трассы над глубинными разломами литосферы. Все эти излучения обусловлены особенностями нестационарных процессов в зонах тектонических разломов земной коры (Hayakawa, 2003a: 30), (Pulinets, 2003a: 65), (Pulinets, 2006b: 649).

Несмотря на известный прорыв в развитии современных спутниковых и информационных технологий, эффективность прогнозирования землетрясений остается весьма низкой, что затрудняет проведение государственными органами превентивных мер в связи с возможными сильными землетрясениями. Проблема краткосрочного прогноза

землетрясений была и остается одной из важнейших нерешенных проблем геофизики, и цена этой проблемы возрастает с каждым годом.

С развитием космических технологий спутниковая информация и данные наземных геофизических обсерваторий все шире применяются в научных исследованиях различных физических процессов. Использование спутниковой научной информации в исследованиях очаговых зон землетрясений и литосферно-ионосферных связей требует разработок новых методов и методик обработки и анализа данных в быстро изменяющихся физических условиях, обусловленных перемещением спутника в пространстве. Для обработки спутниковой информации приходится использовать кратковременный анализ данных в скользящих окнах, в этих условиях многие традиционные средства обработки данных для спутниковых измерений становятся непригодными. В связи с этим актуальными являются работы по созданию геоинформационной системы для обеспечения наземными и спутниковыми данными исследований в области выявления эффектов в геофизических полях в периоды сейсмической активизации с целью поиска электромагнитных предвестников землетрясений.

При создании новой геоинформационной системы появляется потребность в определении требований к ней. Авторы (Александров, 2007: 105), (Баранов, 1999: 32) приводят следующее определение: требование – это условие или возможность, которой должна соответствовать система.

Целью настоящей работы является обоснование и подготовка рекомендаций к требованиям геоинформационной системе (ГИС) для сбора, обработки и визуализации экспериментальных геофизических наземных и спутниковых данных в периоды сейсмической активизации на Северном Тянь-Шане.

2 Обзор литературы

На основе многолетних теоретических и экспериментальных исследований установлено, что с одной стороны, характеристики околоземного космического пространства (ионосфера, магнитосфера, радиационный пояс Земли) откликаются на активизацию геодинамических процессов в литосфере (Adushkin, 2012: 305), (Afraimovich, 2001: 396), (Hobara, 2005: 679), (Lefeuvre, 2006: 747), а с другой стороны, геодинамические процессы в литосфере откликаются на активизацию процессов на Солнце и в околоземном космическом пространстве (Закржевская, 2001: 7), (Иванов, 2012: 738).

В последние годы активно ведутся исследования влияния на сейсмичность электромагнитных источников естественного происхождения, а именно, воздействия магнитных бурь с внезапным началом, обусловленных поступлением в магнитосферу Земли высокоскоростной солнечной плазмы, генерируемой солнечной вспышкой (Гульельми, 2012a: 85), (Гульельми, 2012b: 23), (Гульельми, 2015c: 98), (Иванов, 2012: 738).

В работе (Соболев, 2003: 228) рассматривается вопрос о возможном воздействии геомагнитных бурь с внезапным началом (SSC, storm sudden commencement) на глобальную сейсмическую активность, проанализировано 405 землетрясений каталога USGS/NEIC с магнитудами $M > 5.0$ за 1973-2010 гг., отмечается понижение глобальной сейсмичности после геомагнитных бурь SSC. В работе (Тертышников, 2013: 69) отмечают, что прослеживается связь между значительными градиентами в Н-составляющей геомагнитного поля и магнитудой землетрясений, чем больше градиент, тем больше вероятность силь-

ного землетрясения. В работе (Узбеков, 2011: 78) приведены результаты исследования закономерностей проявления и природы аномалий в вариациях главного магнитного поля на периодах 5-35 суток и их связи с сейсмичностью земной коры Северного Тянь-Шаня, автор отмечает, что вариации геомагнитного поля и приливообразующих сил являются косвенными признаками, указывающими на вероятность изменения сейсмичности при их воздействии на земную кору.

В работе (Узбеков, 2011: 113) приведены результаты исследования за период 1963-2000 гг. влияния геомагнитных бурь с внезапным началом с геомагнитными индексами $A_p > 48$ (что соответствует индексу планетарной геомагнитной активности $K_p > 5$) на сейсмичность для двух регионов: Средняя Азия и Кавказ. Рассматривались землетрясения представительного каталога с энергетическим классом $K=7.0$. Для сейсмоактивного региона Казахстана и Кыргызии установлено, что в целом по региону отмечается тенденция увеличения числа землетрясений после геомагнитных бурь. Тем не менее, авторы (Соболев, 2003b: 233) отмечают, что в области [44.0-45.25 N; 78.25-79.5 E] количество землетрясений после больших геомагнитных бурь увеличивается (положительный эффект), а в области [41.0-42.25 N; 76.5-77.75 E] – уменьшается (отрицательный эффект). Авторы (Соболев, 2003b: 230) объясняют, что влияние магнитных бурь на сейсмичность носит триггерный характер, поскольку энергия геомагнитной бури на несколько порядков меньше высвобождаемой сейсмической энергии (Соболев, 2002a: 14), а выявленные эффекты различием геоэлектрических разрезах – в районе положительного эффекта залегают пласты с более низким электросопротивлением.

Общей внешней причиной, управляющей и организующей землетрясения на Земле, является крупномасштабное открытое магнитное поле Солнца, мощные корональные выбросы масс, отмечают в работе (Иванов, 2012: 741). Геомагнитные аномалии перед сильными землетрясениями отмечаются в работах (Chen, 2011: 5), (Hayakawa, 2011b: 302), (Zotov, 2013: 883), (Старжинский, 2012: 31), (Довбня, 2014: 160), ультранизкочастотные сейсмо-магнитные феномены перед землетрясениями отмечаются в ряде работ, например (Hattori, 2013: 293). Аномалии в вариациях ионосферных параметров перед землетрясениями отмечаются в работах (Korsunova, 2006: 13005), (Larkina, 1989: 50), (Liu, 2006: 5304), (Рогожин, 2014: 148). Моделированию физических процессов в системе литосфера-атмосфера-ионосфера перед землетрясениями посвящено ряд работ, например, (Gershenzon, 2001: 247).

Накопленные в последние годы знания о процессах в сложной системе литосфера-атмосфера-ионосфера на стадии подготовки сильных землетрясений, позволяют ставить вопрос о возможности практического применения этих знаний в целях краткосрочного прогноза землетрясений. Необходим комплексный подход с привлечением ряда гелиогеофизических параметров для исследования процессов геоболочках перед землетрясениями на базе которых можно строить надежный прогноз. (Липеровский, 2008: 831).

В настоящей работе даются рекомендации к требованиям геоинформационной системе для сбора, обработки и визуализации экспериментальных геофизических наземных и спутниковых данных в периоды сейсмической активизации в регионе Северного Тянь-Шаня.

3 Материал и методы

3.1 Определение предметной области геоинформационной системы

По принятому в настоящее время определению (Александров, 2007: 35), (Баранов, 1999: 32) геоинформационная система, ГИС, – информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственных данных.

Предметной областью создаваемой ГИС является сбор наземных и спутниковых геофизических данных (параметров геомагнитного поля, верхних слоев земной атмосферы, ионосферы) в периоды активизации сейсмических явлений на Северном Тянь-Шане.

На основе современных геоинформационных технологий (ГИС-технологии) с использованием экспериментальных данных, математического моделирования и средств вычислительной техники будут реализованы функциональные возможности ГИС.

В едином геоинформационном пространстве будет организован доступ к необходимым геоинформационным ресурсам:

- National Aeronautics and Space Administration (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov> NASA) – информация о состоянии межпланетного магнитного поля, ММП, (скорость, температура, плотность, давление, концентрация потоков частиц солнечного ветра);

- данные GPS-измерений: в формате RINEX-файлов – HTTP-сервер SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) – <http://lox.ucsd.edu> или на FTP-сервере по адресу <ftp://lox.ucsd.edu/pub/nav>; в формате IONEX-файлов – <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/gps/products/ionex>;

- измерения параметров магнитного поля Земли спутниками группировки SWARM (www.swarm.eo.esa.int);

- INTERMAGNET (www.intermagnet.org);

- данные МЦД Киото, Япония, Кр-индексы, (<http://swdcwww.kugi.kyoto-u.ac.jp>);

- данные геомагнитной обсерватории Алма-Ата, geomag.ionos.kz (<http://89.250.81.120/index.html>);

- Международный каталог USGS United States Geological Survey, NEIC National Earthquake Information Center (<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map>);

- ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки МОН РК» (<http://some.kz/index.php>);

- Казахстанский Национальный Центр данных (<http://www.kndc.kz>) Автоматический бюллетень (<http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni/automatic-bulletin>).

Функциональные возможности ГИС будут реализованы следующим образом:

1. Для конкретного сейсмического события будет организован сервер для хранения наземных и спутниковых данных для региона Северного Тянь-Шаня.

2. Будут разработаны собственные программные средства для преобразования данных при переходе от одной формы представления в другую.

3. В ГИС будут интегрированы стандартные и авторские программы статистической обработки экспериментальных данных.

4. С помощью компьютерных программных средств, портлетов (внутренних служебных программ) будет реализовано графическое представление данных для конкретного события в необходимом временном интервале.

5. На основе разработанной математической модели, компьютерного моделирования и численных расчетов будет осуществлена визуализация геодинамических процессов в земной коре в периоды сейсмической активизации.

6. Разработаны методические указания по обращению и работе с геоинформационной системой (описаны форматы и структура входных и выходных данных, пошагово описаны обращения к разработанным компьютерным программным средствам).

4 Результаты и обсуждение

4.1 Основные требования к общей информационной инфраструктуре

Требования к общей информационной инфраструктуре:

- быстрота и простота развертывания ГИС методом наращивания функциональности;

- общая устойчивость системы – необходимо предусмотреть дублирующие каналы передачи данных между всеми звеньями системы (по возможности), дублирование и защиту основных ее элементов;

- минимизация стоимости программных решений и оборудования, например, где возможно, рекомендуется использовать бесплатные UNIX-подобные операционные системы;

- необходимо обеспечить наивысшую меру защиты информации и системы от противоправных или нарушающих целостность системы посягательств.

Требования для установки необходимых общедоступных комплексов программ, например Gamit/Globk (Gamit это комплекс программ для всесторонней обработки GPS данных, разработанный Массачусетским технологическим институтом):

- работающая операционная система Linux и компиляторы C и FORTRAN для автоматизаций и интерактивной обработки требуется командная оболочка CSH;

- минимальные системные требования для установки и использования комплекса Gamit определяются процессором не ниже чем Pentium 90 и оперативной памятью не ниже 128 Мб. Для программ рекомендуется использовать не менее 1Гб свободного дискового пространства. Для полноценного использования Gamit требуется установка дополнительных программ. Программы TEQC для перевода «сырых» данных GPS-измерений в формат RINEX и программа GMT для создания графиков.

- для проведения обработки требуется бесперебойный и безлимитный интернет так как программа Gamit использует файлы данных которые требуют постоянного обновления для сохранения актуальности, например, список действующих спутников (необходимо обновлять при запуске каждого нового спутника), файл нутаций (необходимо обновлять каждый год). Такие файлы доступны на нескольких серверах в том числе и в FTP сервере Dep. of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences и FTP архиве SOPAC.

Необходимо установить следующие требования к программному обеспечению:

- система должна иметь архитектуру клиент-сервер, сервер должен поддерживать множественную репликацию данных всех уровней (репликация – это процесс, под которым понимается копирование данных из одного источника на другой, или на множество других, и наоборот [25]).

- строгая организация структуры различных геофизических данных;

- поддержка программного комплекса для обработки данных пролетных спутников;

- поддержка программных средств для статистической обработки геофизических данных;
- поддержка программных средств для визуализации результатов математического моделирования;
- поддержка группировки слоев, строгая организация структуры цифровых данных;
- возможность встраивания ГИС-ядра во внешние программные системы, в т.ч. поддержка сервера единого информационного центра;
- поддержка геофизических данных формата MapInfo;
- своевременное поступление, внесение и обработка информации.

4.2 Основные требования к серверу геоинформационной системы

Требования к удобству работы с большим количеством геофизических данных:

- поддержка внесения нетипизированных и типизированных фактографических данных;
- наличие развитой системы прав доступа к картографическим и семантическим данным;
- возможность автоматического учета работы пользователей системы;
- хранение картографической и семантической информации на сервере.
- существование необходимого набора цифровых карт Северного Тянь-Шаня, представленных в формате базовой ГИС.

Для сокращения финансовых издержек можно использовать OPENSOURCE решение на базе ГИС GRASS (бесплатно).

В качестве СУБД (система управления базами данных) предлагается использовать MySQL (свободная реляционная система управления базами данных), которая имеется в свободном доступе.

Потребуется создать специализированные модули для ГИС:

- работа с фактографическими данными измерений на космических аппаратах и наземных обсерваториях;
- моделирование геодинамических процессов в земной коре в периоды сейсмической активизации;
- визуализация результатов моделирования геодинамических процессов в земной коре в периоды сейсмической активизации;
- графическое представление геофизических данных;
- картографическое представление эпицентров землетрясений с магнитудой $M \geq 5.0$ для региона Северного Тянь-Шаня.

Вся информация в ГИС будет организована в виде слоев. Слои, это самый первый уровень абстракции в ГИС. Работая с ГИС, мы обязаны разделить существующие у нас данные на слои. Каждый слой содержит объекты определенного вида, объединенные общими характеристиками. Работая в ГИС, мы можем подключать и отключать интересующие нас слои, или менять порядок их отображения. Структура формирования информационных слоев ГИС для сбора, хранения и обработки наземных и спутниковых геофизических данных в периоды активизации сейсмических явлений на Северном Тянь-Шане представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Структура формирования информационных слоев ГИС для сбора, хранения и обработки наземных и спутниковых геофизических данных в периоды активизации сейсмических явлений на Северном Тянь-Шане

5 Заключение

На основе современных геоинформационных технологий с использованием экспериментальных данных, математического моделирования и средств вычислительной техники будут реализованы функциональные возможности геоинформационной системы для сбора, обработки, визуализации и анализа экспериментальных геофизических наземных и спутниковых данных в периоды сейсмической активизации на Северном Тянь-Шане.

В едином информационном пространстве будет организован доступ к необходимым геоинформационным ресурсам (NASA, HTTP-сервер SOPAC, INTERMAGNET, МЦД Япония, геомагнитная обсерватория Алма-Ата, данные измерений группировки SWARM, NEIC National Earthquake Information Center, ГУ «Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Комитета науки МОН РК», Казахстанский Национальный Центр данных).

С помощью компьютерных программных средств, портлетов (внутренних служебных программ) будет реализовано графическое представление данных для конкретного события в необходимом временном интервале. На основе разработанной математической модели, компьютерного моделирования и численных расчетов будет осуществлена визуализация геодинамических процессов в земной коре в периоды сейсмической активизации.

Геоинформационная система, созданная с учетом вышеизложенных требований, необходима для поиска электромагнитных предвестников землетрясений.

Благодарности.

Авторы выражают благодарность Инчину Александру Сергеевичу за неоценимый вклад в развитие информационных технологий в Республике Казахстан для решения научных и прикладных задач в области геофизики. Его работы по созданию программного обеспечения по получению данных со спутников SWARM (программа TRASSA,

программа AUTOPLOT и другие) войдут структурными элементами в создаваемую ГИС.

Работа выполнена при поддержке грантового финансирования научно-технических программ и проектов Комитетом науки МОН РК, грант № 0079/ГФ4.

Список литературы

- [1] Adushkin V.V., Rjabova S.A., Spivak A.A., Harlamov V.A. Response to seismic background geomagnetic variations // Doklady RAN.–2012.–Vol. 444(3).–P.304-308.
- [2] Afraimovich E.L., Perevalova N.P., Plotnikov A.V., Uralov A.M. The shock-acoustic waves generated by the earthquakes//Ann. Geophys. –2001.– Vol.19.–P.395-409.
- [3] Chen K.J., Chiu B., Wang J.S., Lee C.Y., Lin C.H., Chao K. Geomagnetic anomaly at Lumping before the 1999 Chi-Chi earthquake (Mw =7.6) in Taiwan // Natural Hazards: DOI 10.1007/s11069-011-9726-7. –2011.–P.1-20.
- [4] Gershenzon N., Bambakidis G. Modelling of seismo-electromagnetic phenomena // Russian Journal of Earth sciences.– 2001.– Vol. 3, N4. –P. 247-275.
- [5] Hattori K., Han P., Yoshino C., Febriani F., Yamaguchi H., Chen C.H. Investigation of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan During 2000-2010: Case Studies and Statistical Studies // Surv Geophys: DOI 10.1007/s10712-012-9215-x.–2013.–Vol. 34.–P.293–316.
- [6] Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes // Edited by M. Hayakawa: Tokyo. Terra Scientific Publishing Company.–2003a. – 996p.
- [7] Hayakawa M. On the fluctuation spectra of seismo-electromagnetic phenomena// Nat. Hazards Earth Syst. Sci.–2011b.–Vol.11.–P. 301-308.
- [8] Hobara Y., Parrot M. Ionospheric perturbations linked to a very powerful seismic event// J. Atmos. Sollar-Terr. Phys.–2005.– Vol.67, N 7.–P.677-685.
- [9] Korsunova I.P., Khegai V.V. Medium-term ionospheric precursors to strong earthquakes// J. Geomagn. Aeron.: doi: 10.1029/2005GI000122.2006.–2006.–Vol.6.–P. G13005.
- [10] Larkina V.I., Migulin V.V., Inchin A.S., Molchanov O.A. Some statistical results on very low frequency radio wave emissions in the upper ionosphere over earthquake zones// Physics of the Earth and Planetary Interiors.–1989.–№ 57. –P.50.
- [11] Lefevre F., Biagi P. F., Castellana L., Hayakawa M. Global diagnostics of the ionospheric perturbations related to the seismic activity using the VLF radio signals collected on the DEMETER satellite// J. Nat. Hazards and Earth Syst. Sci. –2006. –Vol.6. –P.745–753.
- [12] Liu I.Y., Chen Y.I. Chuo Y.I., Chen C.S. A statistical investigation of preearthquake ionospheric anomaly// Ann. Geophys.: doi: 10.1029/2005JA01333.2006.–2006.–Vol.111.–P. A05304.
- [13] Pulnits S.A., Boyarchuk K.A. Ionospheric Precursors of Earthquakes / Springer, 2003a. –312p.
- [14] Pullnits S.A. Space technologies for short-term earthquake warning // Adv.Space Res.–2006b.–Vol.37.–P.643-652.
- [15] Zotov O.D., Guglielmi A.V., Sobisevich A.L. On Magnetic Precursors of Earthquakes // Izvestiya, Physics of the Solid Earth.–2013.–Vol. 49, № 6. –P. 882-889.
- [16] Александров В.Н., Базина М.А., Журкин И.Г., Корнилова Л.В., Плешков В.Г., Побединский Г.Г., Ребрий А.В., Тимкина О.В. Справочник стандартных и употребляемых (распространённых) терминов по геодезии и картографии, топографии, геоинформационным системам, пространственным данным.–М.: Братишка, 2007. –736 с.
- [17] Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Серапинас Б.Б., Филиппов Ю.А. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов.– М.: ГИС-АссоциацияЮ, 1999. – 750с. –<http://gisa.ru/geoinfoslovar.html>
- [18] Гульельми А.В., Зотов О.Д. О магнитных возмущениях перед сильными землетрясениями //Физика Земли.–2012а.–№ 2.–С.84-87.
- [19] Гульельми А.В., Зотов О.Д. Явление синхронизма в динамической системе магнитосфера-техносфера-литосфера // Физика Земли.–2012b, № 6.–С. 23-33.

- [20] Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. Внезапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика: DOI: 10.12737/5694. –2015с. –Т. 1, № 1.–С.98-103.
- [21] Довбня Б.В. Электромагнитные предвестники землетрясений и их повторяемость // Геофизический журнал.–2014.–Т.36, № 3.–С.160-165.
- [22] Закржевская Н.А., Соболев Г.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли.–2001.–№ 11.–С. 6-15.
- [23] Иванов К.Г., Харшиладзе А.Ф. Природа сильных землетрясений на Земле и мощных корональных выбросов массы Солнцем. Лето 2012 г. // Геомагнетизм и аэрономия.–2014.–Т. 54, № 6.–С.738-743.
- [24] Липеровский В.А., Похотелов О.А., Мейстер К.-В., Липеровская Е.В. Физические модели связей в системе литосфера-атмосфера-ионосфера перед землетрясениями //Геомагнетизм и аэрономия.–2008.–Т.48, № 6.–С.831-843.
- [25] Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е. Волновые возмущения, наведенные коровыми землетрясениями (на примере двух сильных землетрясений в Кавказско-Анатолийском секторе Альпийского Средиземноморского подвижного пояса // Физика Земли.–2014.–№ 2.–С.148-156.
- [26] Старжинский С.С., Никифиров В.М. Реакция в электромагнитном поле на катастрофическое землетрясение 11 марта 2011 г. //Физика Земли.–2012.–№ 11-12.–С.24-34.
- [27] Соболев Г.А., Закржевская Н.А. О возможности влияния магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли.–2002а.–№ 4.–С. 3-15.
- [28] Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники.–М.: Наука, 2003б. –282 с.
- [29] Тертышников А.В. Оценки практической значимости геомагнитных предвестников сильных землетрясений // Гелиогеофизические исследования. Результаты исследований геофизических рисков. –2013. – № 3. –С. 63–70.
- [30] Узбеков Н.Б. Вариации геомагнитного поля в связи с прогнозом землетрясений в северном Тянь-Шане: дис. ... канд. физ.-мат. наук: 25.00.29 / Институт сейсмологии.–Алматы, 2011.–120с.

References

- [1] Adushkin, V. V., S. A. Ryabova, A. A. Spivak, and V. A. Kharlamov. 2012. "Response of the Seismic Background to Geomagnetic Variations." In *Doklady Earth Sciences*, 444:642–646. Springer. <http://link.springer.com/content/pdf/10.1134/S1028334X12050157.pdf>.
- [2] Afraimovich, E. L., N. P. Perevalova, A. V. Plotnikov, and A. M. Uralov. 2000. "The Shock-Acoustic Waves Generated by Earthquakes." arXiv Preprint Physics/0007041. <https://arxiv.org/abs/physics/0007041>.
- [3] Chen, Kuang-Jung, Bonbbon Chiu, Jee-Shiang Wang, Cheng-Yu Lee, Cheng-Horng Lin, and Kevin Chao. 2011. "Geomagnetic Anomaly at Lumping before the 1999 Chi-Chi Earthquake (Mw= 7.6) in Taiwan." *Natural Hazards* 58 (3): 1233–1252.
- [4] Gershenzon, Naum, and Gust Bambakidis. 2001a. "Modeling of Seismo-Electromagnetic Phenomena." *Russ. J. Earth Sci* 3 (4): 247–275.
- [5] Hattori, Katsumi, Peng Han, Chie Yoshino, Febty Febriani, Hiroki Yamaguchi, and Chieh-Hung Chen. 2013. "Investigation of ULF Seismo-Magnetic Phenomena in Kanto, Japan during 2000–2010: Case Studies and Statistical Studies." *Surveys in Geophysics* 34 (3): 293–316.
- [6] Hayakawa, Masashi. 1999a. *Atmospheric and Ionospheric Electromagnetic Phenomena Associated with Earthquakes*. Terra Scientific Pub. Co.
- [7] Hayakawa, Masashi. 2011b. "On the Fluctuation Spectra of Seismo-Electromagnetic Phenomena." *Natural Hazards and Earth System Sciences* 11 (2): 301–308.
- [8] Hobara, Y., and M. Parrot. 2005. "Ionospheric Perturbations Linked to a Very Powerful Seismic Event." *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 67 (7): 677–685.
- [9] Korsunova, L. P., and V. V. Khagai. 2006. "Medium-Term Ionospheric Precursors to Strong Earthquakes." *Int. J. Geomagn. Aeron* 6. <http://elpub.wdcb.ru/journals/ijga/gi0611/2005GI000122/2005GI000122.pdf>.

- [10] Larkina, V. I., V. V. Migulin, O. A. Molchanov, I. P. Kharkov, A. S. Inchin, and V. B. Schvetcova. 1989. "Some Statistical Results on Very Low Frequency Radiowave Emissions in the Upper Ionosphere over Earthquake Zones." *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 57 (1–2): 100–109.
- [11] Liu, JANN-YENQ, Y. I. Chen, Y. J. Chuo, and Chun-Shu Chen. 2006. "A Statistical Investigation of Preearthquake Ionospheric Anomaly." *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 111 (A5). <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2005JA011333/full>.
- [12] Molchanov, O., A. Rozhnoi, M. Solovieva, O. Akentieva, J. J. Berthelier, M. Parrot, F. Lefeuvre, P. F. Biagi, L. Castellana, and M. Hayakawa. 2006. "Global Diagnostics of the Ionospheric Perturbations Related to the Seismic Activity Using the VLF Radio Signals Collected on the DEMETER Satellite." *Natural Hazards and Earth System Science* 6 (5): 745–753.
- [13] Pulinet, S. A. 2006a. "Space Technologies for Short-Term Earthquake Warning." *Advances in Space Research* 37 (4): 643–652.
- [14] Pulinet S.A., Boyarchuk K.A. *Ionospheric Precursors of Earthquakes* / Springer, 2003a. –312p.
- [15] Zotov, O. D., A. V. Guglielmi, and A. L. Sobisevich. 2013. "On Magnetic Precursors of Earthquakes." *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 49 (6): 882–889.
- [16] Aleksandrov V.N., Bazina M.A., Zhurkin I.G., Kornilova L.V., Pleshkov V.G., Pobedinskiy G.G., Rebriy A.V., Timkina O.V. (2007) *Spravochnik standartnykh i upotrebyayemykh (rasprostranennykh) terminov po geodezii i kartografii, topografii, geoinformatsionnym sistemam, prostranstvennym dannym [Reference book of standard and used (common) terms] on geodesy and cartography, topography, geoinformation systems, spatial data].*–M.: Bratishka, 736 p.
- [17] Baranov YU.B., Berlyant A.M., Kapralov Ye.G., Koshkarev A.V., Serapinas B.B., Filippov YU.A. (1999) *Geoinformatika. Tolkovyy slovar' osnovnykh terminov [Geoinformatics. Explanatory dictionary of basic terms].*– M.: GIS-Assotsiatsiya YU, 750p. <http://gisa.ru/geoinfoslovar.html>
- [18] Gulyelmi A.V., Zotov O.D. (2012a) *O magnitnykh vozmushcheniyakh pered sil'nymi zemletryasenyami [About magnetic disturbances before strong earthquakes].* *Physics of Eart*, № 2, pp. 84-87.
- [19] Gulyelmi A.V., Zotov O.D. (2012b) *Yavleniye sinkhronizma v dinamicheskoy sisteme magnitosfera-tekhnosfera-litosfera [The phenomenon of synchronism in the dynamic magnetosphere-technosphere-lithosphere system].* *Physics of Eart*, № 6, pp. 23-33.
- [20] Gulyelmi A.V., Lavrov I.P., Sobisevich A.L. (2015c) *Vnezapnyye nachala magnitnykh bur' i zemletryaseniya [Sudden beginnings of magnetic storms and earthquakes].* *Solar-terrestrial physics*, vol. 1, No. 1, pp. 98-103. DOI: 10.12737 / 5694.
- [21] Dovbnaya B.V. (2014) *Elektromagnitnyye predvestniki zemletryaseny i ikh povtoryayemost' [Electromagnetic precursors of earthquakes and their frequency].* *Geofizicheskiy zhurnal*, vol.36, № 3, pp.160-165.
- [22] Zakrzhevskaya N.A., Sobolev G.A., Kharin Ye.P. (2001) *O svyazi seysmichnosti s magnitnymi buryami [On the connection of seismicity with magnetic storms].* *Physics of Eart*, № 11, pp. 6-15.
- [23] Ivanov K.G., Kharshiladze A.F. (2014) *Priroda sil'nykh zemletryaseny na Zemle i moshchnykh koronal'nykh vybrosov massy Solntsem. Leto 2012 g. [The nature of strong earthquakes on Earth and powerful coronal mass ejections of the Sun. Summer 2012].* *Geomagnetism and aeronomy*. vol. 54, No. 6, pp. 738-743.
- [24] Liperovskiy V.A., Pokhotelov O.A., Meyster K.-V., Liperovskaya Ye.V. (2008) *Fizicheskiye modeli svyazey v sisteme litosfera-atmosfera-ionosfera pered zemletryasenyami [Physical models of connections in the lithosphere-atmosphere-ionosphere system before earthquakes].* *Geomagnetism and aeronomy*, vol. 48, No. 6, pp. 831-843.
- [25] Rogozhin Ye.A., Sobisevich L.Ye. (2014) *Volnovyye vozmushcheniya, navedennyye korovymi zemletryasenyami (na primere dvukh sil'nykh zemletryaseny v Kavkazsko-Anatoliyskom sektore Al'piyskogo Sredizemnomorskogo podvizhnogogo poyasa [The wave disturbance induced crustal earthquakes (for example, two strong quakes in the Caucasus-Anatolian sector podvizhnogogo Alpine Mediterranean belt] //* *Physics of Eart*, № 2, pp. 148-156.
- [26] Starzhinskiy S.S., Nikifirov V.M. (2012) *Reaktsiya v elektromagnitnom pole na katastroficheskoye zemletryaseniye 11 marta 2011 g. [Reaction in the electromagnetic field to a catastrophic earthquake March 11, 2011].* *Physics of Eart*, № 11-12, pp. 24-34.
- [27] Sobolev G.A., Zakrzhevskaya N.A. (2002a) *O vozmozhnosti vliyaniya magnitnykh bur' na seysmichnost' [On the possibility of the effect of magnetic storms on seismicity].* *Physics of Eart*, № 4, pp. 3-15.
- [28] Sobolev G.A., Ponomarev A.V. (2003b) *Fizika zemletryaseny i predvestniki. [The physics of earthquakes and predvestniki].* M.: Nauka, 282 p.

-
- [29] Tertyshnikov A.V. (2013) Otsenki prakticheskoy znachimosti geomagnitnykh predvestnikov sil'nykh zemletryaseniy [Estimates of the practical importance of geomagnetic precursors of strong earthquakes]. Geliogeofizicheskiye issledovaniya. Rezul'taty issledovaniy geofizicheskikh riskov, № 3. pp. 63–70.
- [30] Uzbekov N.B. (2011) Variatsii geomagnitnogo polya v svyazi s prognozom zemletryaseniya v severnom Tyan'-Shane [Variations of the geomagnetic field in connection with the forecast of earthquakes in the northern Tien Shan]; dis. ... kand. fiz.-mat. nauk: 25.00.29 / Institut seysmologii.–Almaty, 120p.