

Г. Д. Курошев

## РОЛЬ КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ИССЛЕДОВАНИИ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Санкт-Петербургский государственный университет, Российская Федерация, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9

Рассмотрены вопросы создания, развития и использования геодезических систем координат, космических, глобальных навигационных спутниковых и геоинформационных систем для проведения картографо-геодезического мониторинга при изучении географического пространства на глобальном, региональном и локальном уровнях. Библиогр. 34 назв.

*Ключевые слова:* геоцентрическая система координат, глобальные спутниковые навигационные системы ГЛОНАСС и GPS, исследование географического пространства, инфраструктура пространственных данных.

G. D. Kuroshev

### GEODETIC AND CARTOGRAPHIC MONITORING'S SIGNIFICANCE IN THE EXPLORATION OF GEOGRAPHIC SPACE

St. Petersburg State University, 7–9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, 199034, Russian Federation

The stages of geodetic and cartographic monitoring of geographic space for construct infrastructure of the spatial dates and its kinematics are considered. Refs 34.

*Keywords:* geocentric system of coordinates, Global Navigation Satellite Systems GLONASS and GPS, geodetic and cartographic monitoring of exploration of geographic space, infrastructure of the spatial dates.

**Введение.** Понятие «мониторинг» в настоящее время стало популярным и употребляется наряду с термином «натурные наблюдения» издавна употреблявшимся. Впервые термин «мониторинг» ввел в употребление Р. Манн (R. Munn) в 1972 г. на Стокгольмской конференции при ООН, объяснив, что это «система повторных наблюдений одного и более элементов окружающей среды в пространстве и во времени в соответствии с заранее подготовленной программой». То есть мониторинг используется по отношению к природным и общественным явлениям, имеющим пространственное распространение в пределах географической оболочки и вне ее, а также изменяющимся во времени. В Большом Энциклопедическом словаре мониторинг трактуется как «наблюдение за состоянием окружающей среды (атмосферы, гидросферы, почвенно-растительного покрова, а также техногенных систем) с целью ее контроля, прогноза и охраны». В работе [1] изложена концепция картографо-геодезического мониторинга Земли на глобальном, региональном и локальном уровнях. За прошедшие полтора десятилетия появились новые средства и технологии для картографо-геодезического мониторинга на исключительно высоком уровне точности. Возникают новые уточнения в понятии «географическое пространство», вводятся новые понятия «географо-геодезический мониторинг» [1], картографо-геодезический мониторинг и др. Понятие «географическое пространство» тесно связано с философскими категориями «пространство и время» и имеет в географической литературе много определений и уточнений.

© Санкт-Петербургский государственный университет, 2016

**Технические возможности исследований.** Физическая геометрия Земли изучается в пространственно-временном изменении. Современные технические возможности позволяют следить за кинематикой Земли в целом, ее географическими сферами и за деформациями земной коры на больших территориях, по существу, выполнять глобальный мониторинг планеты Земля.

Научно-технический прогресс, радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ), лазерная локация Луны и спутников, Доплеровская орбитографическая система, интегрированная спутниками (DORIS), высокоточное нивелирование, глобальные навигационные спутниковые системы позиционирования (ГНСС), большой кольцевой лазер «G» и другие технологии существенно расширили рамки и содержание исследований [2–4].

Новые технологии используются для решения задач, включающих установление небесной и земной опорных систем координат; определение параметров ориентации этих систем — постоянный мониторинг вращательного движения Земли. К параметрам ориентации Земли (ПОЗ) относятся: координаты полюса, Всемирное время, прецессия и нутация. При этом РСДБ-технология позволяет измерять все параметры ориентации как небесной, так и земной систем отсчета. Она же — единственная из современных технологий, способная определять Всемирное время и углы нутации. Радиоинтерферометрический комплекс позволяет изучать структуру Вселенной, оповещать об астероидной опасности, предсказывать землетрясения, осуществлять мониторинг Мирового океана, прогнозировать приход цунами, уточнять годовые циклы перемещения континентов. В настоящее время систематические наблюдения ведутся несколькими сетями межконтинентальных радиоинтерферометров (США, Европа, Австралия, Россия, Япония).

Технические средства и технологии быстро совершенствуются, что приводит к увеличению разрешения и точности геодезических космических определений. За последние два десятилетия выявлены устойчивые колебания в движении полюса Земли с периодами от нескольких недель до 1 года и получены корреляционные зависимости этих колебаний с изменениями приземного атмосферного давления. С высокой точностью определены коэффициенты нутации, характеризующие движение оси вращения Земли в инерциальной системе координат, что необходимо для изучения внутреннего строения Земли и свободной нутации ее жидкого ядра. По результатам ежегодных переопределений координат станций глобальных сетей доказано, что положение центра масс Земли, которое принимается за исходное начало системы координат, испытывает периодические колебания с небольшими амплитудами (3–6 мм) и имеет вековое смещение порядка 1,5–2,0 мм.

Новые возможности в изучении колебания земной оси открывает лазерный ускоритель — кольцевой лазер «G», установленный в 2001 г. в Германии. Он с наибольшей точностью определяет параметры вращения Земли [4].

Исследования выполняются различными международными службами, организованными в сообщества. Международная служба вращения Земли (IERS) публикует ежегодные данные о ПОЗ в отчетах, месячных и еженедельных бюллетенях с точностью 1 см в положении полюса и 0,3 мс по времени. Среди различных видов мониторинга земной поверхности с применением ГНСС выделяют мониторинг международной земной отсчетной основы ITRF, включающий мониторинг тектонических плит, параметров ориентировки Земли, параметров движения спутников

GPS и ГЛОНАСС; региональные геодинамические сети с размерами порядка 100–1000 км; локальный геодинамический мониторинг земной поверхности, уровня воды, поверхности снега (льда), движения ледников, деятельности вулканов и т. п. Мониторинг движений литосферных плит методами космической геодезии подтвердил достоверность кинематических моделей, построенных по геологическим данным. Наблюдения в региональных и локальных сетях мониторинга обычно проводятся циклами, непрерывно, или применяется смешанная технология работ [5].

Признано, что для геодинамических исследований необходимы две системы координат:

- инерциальная, реализуемая с точностью в радианной мере порядка  $10^{-9}$  путем определения направлений, полученных из наблюдений на РСДБ, внегалактических подобных звездам точечных объектов (квazarов), генерирующих сильное радиоизлучение;
- земная, определяемая с точностью порядка сантиметра и связанная с некоторой идеальной Нормальной Землей.

В настоящее время используется несколько общеземных основ координат [3]: ITRF с 1984 г. (поддерживается IERS), WGS-84 (связана с применением GPS), «Параметры Земли 1990» (ПЗ-90) для обеспечения орбитальных полетов космических аппаратов и решения навигационных задач (ГЛОНАСС). К региональному уровню относят Европейскую геоцентрическую основу EUREF, или ETRF, и Североамериканские геодезические основы. Отсчетная основа ITRF содержит сотни пунктов, с погрешностями их положения, не превышающими 10 см. Координаты пунктов меняют свои значения со скоростью 1–2 см/год из-за геодинамических процессов и поэтому постоянно обновляются. В каталогах указывается год, к которому они отнесены (например, ITRF-84..., ITRF-2000... и т. д.). В качестве начала координатной системы ITRF используется некое среднее положение «геоцентра» на начало каждого года. Однако любое перемещение масс в системе Земля вызывает смещения центра масс, которые могут определяться современными методами спутниковой геодезии с миллиметровой точностью и разрешением 1 неделя.

С 1993 г. функционирует Международная геодинамическая служба IGS. Ее основа насчитывает около 400 станций (в РФ две основных станции — «Менделеево» и «Иркутск» и около десятка опорных), на которых ведутся круглосуточные наблюдения для решения ряда геодезических и геодинамических задач и уточнения координат спутников GPS.

Региональные системы отсчета относятся к отдельному континенту, объединяющему территории нескольких государств.

**Содержание современных научных исследований.** К 2020 г. планируется полное развертывание Глобальной Геодезической системы наблюдений — GGOS под эгидой IAG [6]. Главными научными содержанием GGOS является изучение и мониторинг трех тем: геометрической формы и деформаций Земли, параметров ее ориентации и вращения, гравитационного поля Земли [6, 7]. Динамика системы Земли исследуется как взаимодействие составляющих ее компонентов: океана, атмосферы, гидросферы, криосферы. Наиболее полное значение GGOS охарактеризовано в статье С. К. Татевян «Глобальная геодезическая система GGOS и ее научное значение», помещенной на сайте GGOS. Приводятся сведения об изменениях точности определения параметров вращения Земли (на пятидневных интервалах) за

период 1962–2005 гг., интерпретация вариаций «геоцентра» и долгопериодических флуктуаций угловой скорости Земли.

Построение планетарных моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ) является одной из фундаментальных научных задач геодезии. Создание высокоточных гравиметрических приборов (абсолютный баллистический и относительные гравиметры) и совершенствование методов картографирования гравитационного поля Земли позволяют создавать цифровые модели, характеризующие ГПЗ на ее твердой поверхности. Под цифровой моделью ГПЗ понимается упорядоченная совокупность дискретных значений одной или нескольких ее характеристик в узлах равномерной сетки меридианов и параллелей в единой системе координат, высот и гравиметрической системе, записанных на машинный носитель в установленном формате, сопровождаемая алгоритмом интерполяции, обеспечивающим получение промежуточных значений этих характеристик с необходимой точностью [8]. После строгой математической обработки результатов измерений на пунктах гравиметрической сети получают урavnенные значения аномалий силы тяжести (АСТ), которые затем специальными методами интерполируют в узлы регулярной сетки меридианов и параллелей. Такая локальная модель ГПЗ в сейсмоопасном и тектонически активном регионе может служить основой для геодинамического мониторинга, заключающегося в переопределении с заданной временной дискретностью данных локальной модели в районе исследований, что позволит своевременно выявить деформации земной коры. Модели ГПЗ требуются для решения задач геодинамики и гравиметрической разведки полезных ископаемых.

На водных акваториях морей и океанов используют спутниковые методы: анализ возмущений орбит по данным траекторного слежения в системе «Земля—спутник» или «спутник—Земля»; спутниковая альтиметрия; анализ возмущений орбит по межспутниковым данным траекторного слежения (по линиям «низкий — высокий», «низкий — низкий») определения параметров ГПЗ.

Высоты геоида WGS-84 определены на Земле по трапециям до 10' по долготе и широте. ГПЗ ПЗ-90 представлено в виде параметров нормального и аномального полей. Нормальное гравитационное поле имеет две формы: в виде нормированных гармонических коэффициентов нормального потенциала и в виде системы семи точечных масс.

Среди множества проектов изучения поля силы тяжести с помощью спутников повышение точности и детальности построения планетарных гравитационных моделей связывают с проектами CHAMP (15.07.2000 — Научно исследовательский геоцентр Потсдама), GRACE (17.03.2002 — совместный проект NASA и немецкого центра авиационных и космических полетов (DLR)) и GOCE (Европейское Космическое Агентство — ESA), реализующими метод спутниковой градиентометрии [9]. Гравитационное поле Земли представляют в виде параметров нормального (эллипсоидального, отнесенного к общеземному эллипсоиду) и аномального полей.

В связи с получением высот из спутниковых определений, отсчитываемых от поверхности эллипсоида, построение точного геоида по гравиметрическим данным имеет большое значение для построения единой мировой системы высот. В настоящее время высоты отсчитываются в большинстве стран от среднего многолетнего уровня моря, определяемого на равномерных постах и отличающихся в разных морях на метр и более (только на территории Европы существует порядка деся-

ти систем нормальных высот). Использование ГНСС с данными высокоточного гравиметрического геоида позволяет решить эту проблему на качественно новом уровне.

На сайте национального агентства геопространственных исследований Министерства обороны США (NGA) опубликованы результаты создания новой гравитационной модели Земли — EGM 2008 степени 2160. Модель EGM 2008 включает детальные гравитационные аномалии в разрешении  $5' \times 5'$  и использует современные результаты новых проектов в области изучения гравитационного поля Земли — спутниковых решений на базе GRACE, CHAMP. Она включает улучшенные, полученные из альтиметрии, аномалии силы тяжести.

Исследования белорусских ученых, показали, что модель EGM 2008 можно успешно использовать для решения ряда геодезических задач (пересчет геодезических высот в нормальные или ортометрические; редуцирование результатов линейных и угловых измерений с поверхности Земли на поверхность земного эллипсоида; вычисление поправок за переход от астрономического азимута к геодезическому азимуту) [10].

Изучением кинематических закономерностей деформирования земной поверхности с целью прогнозирования землетрясений в нашей стране начали заниматься полвека назад [11]. В сейсмоактивных районах было создано несколько десятков геодинамических (прогностических) полигонов (ГДП), на которых выполнялись астрономо-геодезические и гравиметрические измерения. На геодинамических полигонах стран СНГ, на Камчатке и Сахалине определены закономерности связи деформаций земной поверхности с сейсмической и вулканической активностью [12].

В настоящее время с использованием GPS в мире выполнено много проектов по геодинамике. В публикации [13] приведены некоторые сведения о работах по GPS-геодинамике, проводимых Институтом физики Земли РАН по Средиземноморскому Альпийскому поясу. Длины линий, по которым вычислялись деформации, составляли 300–500 км. Для районов Кавказа сеть GPS позволила определить деформационные характеристики в результатах наблюдений в 1994, 1996, 1998, 2000 гг.

Изучение последдневого подъема Фенноскандии ведется уже более 300 лет, около ста лет для количественной оценки используются данные уровнемерных постов и прецизионных нивелировок. С 1989 г. начинается новый этап инструментального спутникового изучения Фенноскандии.

Автор публикации [13] отмечает, что GPS-технологии настоящего времени не обеспечивают решения существенно более важной задачи — изучения развития сейсмического процесса в плане краткосрочного и оперативного прогноза землетрясений. Он приводит условия, которым должны удовлетворять GPS-сети и частота наблюдения в них.

Техногенные ГДП создаются на территории, подвергающейся перемещению больших масс вещества. Среди них выделяют ГДП высоконапорных ГЭС, расположенных в зонах повышенной сейсмичности. Техногенные полигоны создаются в местах эксплуатации месторождений полезных ископаемых и интенсивного использования подземных вод. Проводится мониторинг и на морских акваториях.

В горных районах и в местах со сложными гидрогеологическими условиями при проектировании гидротехнических сооружений и атомных электростанций

геодезический мониторинг начинает проводиться до начала строительства сооружений, сопровождает их строительство и эксплуатацию. При выборе створа для сооружений Саяно-Шушенской ГЭС для проверки проявлений неотектонических движений в регионе было выполнено высокоточное нивелирование I класса. Нивелирование было выполнено по схеме тектонических блоков и разломов, составленной Московским государственным университетом [14]. Результаты и анализ качества проведенных Ленгидропроектом высокоточных нивелирований в период с 1967 по 1980 г. не выявили резко выраженных неотектонических движений на участке строительства ГЭС.

Традиционные геодезические методы широко использовались в гидротехническом, промышленном и гражданском строительстве для наблюдения за устойчивостью склонов долин [15], оползневыми процессами [16], поведением грунтов в зонах многолетней мерзлоты [17] и на других территориях.

Четверть века проводятся исследования методом космической радиолокационной дифференциальной интерферометрии (КРДИ) (SAR — Synthetic-aperture radar) [18] для изучения деформаций земной поверхности после сильных землетрясений [19], извержений вулканов, оползней [20], прокладки горных выработок [21], добычи полезных ископаемых (угля, нефти, воды), изучения деформаций поверхности мегаполисов на значительных площадях [22] и других причин деформаций. Методом КРДИ определяются относительные изменения в рельефе земной поверхности на основании изменений за некоторый интервал времени зарегистрированных амплитуд и фаз отраженных от земной поверхности зондирующих сигналов. Для использования метода КРДИ в настоящее время применяются спутниковые системы ERS, Radarsat, JERS, SIR, ALOS (PALSAR).

Комплексное изучение и картографирование природных ресурсов и экологических условий несколько десятилетий проводилось на основе материалов космической съемки госцентром «Природа». Непрерывное и ускоряющееся (усиливающееся) воздействие антропогенного воздействия на природные объекты требует оперативного контроля за ними. В последние десятилетия такой контроль выполняется с помощью разновременных аэрокосмических наблюдений (мониторинг средствами дистанционного зондирования) за особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) [23]. Среди них, например, государственные природные заповедники «Денежкин камень», «Столбы» [24].

**Научное обоснование проведения мониторинга географических объектов и создания инфраструктуры пространственных данных.** Мониторинг географических (природных и социально-экономических) объектов в настоящее время выполняется на государственном и отраслевом уровнях. «Государственный топографический мониторинг (ГТМ) — организованное на государственном уровне постоянное, регламентированное, непрерывное картографическое слежение за состоянием и изменениями местности на основе космической и другой информации, получаемой в близком к реальному масштабе времени, оперативное картографирование зафиксированных изменений на цифровой дежурной топографической основе (ЦДТО) и регистрация выявленных изменений в базе данных изменений объектов местности (БД ИОМ)» [25].

В качестве исходной информации используются материалы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Оптико-электронные космические снимки (КС) полу-

чаются с отечественных и зарубежных космических аппаратов (КА). В настоящее время в оперативной эксплуатации находятся отечественные КА «Ресурс-ДК», «Электро-Л», «Метеор-М», «Канопус-В», «Ресурс-П» и зарубежные «MODIS», «Radarsat-1SAR», «ALOS PALSAR», «ISESat», «ERS» и др.

Базовым элементом системы ГТМ является информационно-программный комплекс (ИПК), реализация которого осуществляется в программной среде «ГИС-Панорама». Актуализация баз пространственных данных и поддержание их на актуальном уровне осуществляется в соответствии с планом ведения ГТМ.

В России формирование инфраструктуры пространственных данных (ИПД) и создание банков пространственных данных в качестве государственных информационных ресурсов предусматривалось завершить в 2015 г. [26]. Под инфраструктурой пространственных данных Российской Федерации понимается территориально распределенная система сбора, обработки, хранения и предоставления потребителям пространственных данных (актуальных цифровых топографических карт, моделей рельефа и ортофотоснимков).

В соответствии с принимаемыми на государственном и международном уровне концепциями ИПД представляет собой систему, имеющую национальный, региональный и муниципальный уровни. В ИПД любого уровня центральное место занимают каталоги метаданных, создаваемые для облегчения поиска географических информационных ресурсов по их описаниям [26–29]. Развитие ИПД в РФ находится на начальной стадии.

В ближайшей перспективе актуальное значение имеет проведение мониторинга природных объектов, который в современных условиях выполняется только на специальных ключевых участках или стационарных полигонах. Основой для формирования ИПД может служить богатый опыт, накопленный со времени предложения заведующего кафедрой картографии МГУ, профессора К. А. Салищева, на втором съезде Географического общества СССР в январе 1947 г., создавать комплексные географические атласы и взаимосвязанные серии карт природы, социально-экономические карты [30].

Системное геоинформационное картографирование началось в 90-х гг. XX в. и продолжается в настоящее время. Большие работы по картографированию природы выполнены географическими центрами — Институтом географии Сибирского отделения Академии наук и Ленинградским государственным университетом. Академик В. Б. Сочава внес существенный вклад в теорию картографирования природы и комплексного картографирования Сибири, Дальнего Востока и России в целом. Профессор А. Г. Исаченко обосновал ландшафтообразующий базис картографирования природы [30].

В работе [31] представлены теоретические основы и возможности практической реализации картографо-аэрокосмических технологий мониторинга гляциальной сферы высокогорья с использованием наземных воздушных и орбитальных дистанционных материалов, определены параметры, характеризующие эволюцию оледенения Эльбруса.

Общегеографический блок ИПД содержит наборы данных, входящие в цифровую модель местности топографической карты. Тематический блок может иметь неограниченный объем с учетом того, что съемки природных объектов и явлений отличаются большим разнообразием (геологические, включающие геоморфологи-

ческие, аномалий магнитного и гравитационных полей, тектонические, полезных ископаемых, почвенного покрова, грунтов, растительности, поверхностных вод, фауны и др.). На локальном уровне базовые данные ИПД РФ охватят только территории крупных городов.

Создание на всю территорию страны и дальнейшее совершенствование ИПД должно сопровождаться их интеграцией и созданием доступных для широкого круга пользователей актуальных геопространственных данных на базе современных информационных технологий.

Одной из сложнейших экологических проблем является создание эффективной системы контроля окружающей среды, включающей прогноз землетрясений и оползней в районах крупных промышленных центров, населенных пунктов, трубопроводных систем и транспортных магистралей, где существует угроза массовой гибели людей и экологических катастроф.

Важнейший компонент природной среды — земля в значительной мере определяет состояние всей природной обстановки и отдельных видов природных ресурсов (лес, вода, растительность, животный мир). Мониторинг земель — это система регулярных наблюдений за состоянием и выявлением изменений земельного фонда независимо от правового режима и характера использования с целью предупреждения и устранения негативных последствий в природной среде. Мониторинг земель является государственным мероприятием по управлению земельными ресурсами, которое предусмотрено ст. 67 Земельного кодекса Российской Федерации [32], и он должен выполняться на основе постоянно действующих базовых станций ГНСС.

Актуальное значение в настоящее время имеет мониторинг объектов недропользования шельфовых зон РФ. Базы данных такой ГИС, очевидно, должны иметь различные тематические блоки: ситуационный, физико-географический, геологический, экономико-географический и др. При этом следует иметь в виду, что если поверхность суши обзревается наземными и дистанционными средствами съемки и достаточно хорошо изучена, то облик 70,8% Земли скрыт от непосредственного наблюдения, описания, измерения и остается еще недостаточно и неравномерно изученным. Проводятся мониторинговые исследования отдельных участков шельфовых и береговых зон, где основными причинами их изменений являются антропогенные факторы. Например, за период 1984–2000 гг. проведена оценка изменений берегового ландшафта и состояния основных экологически значимых компонентов прибрежной зоны Красного моря в Египте (коралловые рифы, мангровые заросли, морские травы и макроводоросли) [33]. Исследование и картографирование рельефа дна в познании природы Мирового океана рассматриваются как одно из базовых направлений [34].

**Выводы.** 1. В современных условиях потребность в мониторинге природных и техногенных объектов постоянно возрастает, так как это обусловлено получением информации, в первую очередь, способствующей предотвращению природных и техногенных катастроф.

2. Научное обеспечение мониторинга обеспечивается наличием выше отмеченных технических возможностей исследований.

3. В настоящее время используется несколько геоцентрических общеземных систем координат, позволяющих проводить глобальный мониторинг Земли и ее сфер.

4. Особое значение имеет изучение поля силы тяжести Земли на планетарном и локальном уровнях.

5. При проведении картографо-геодезического мониторинга на региональном и локальном уровнях необходимо создавать каталоги инфраструктуры пространственных данных.

В заключение следует отметить постоянно увеличивающиеся виды мониторинга природных и техногенных объектов, общественных явлений и их возрастающую роль. Информация, получаемая от них, способствует правильной организации хозяйственной и социальной жизни человечества, предотвращению природных, техногенных и экологических бедствий.

#### Литература

1. *Смирнов Л. Е., Курошев Г. Д.* Географо-геодезический мониторинг Земли // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология. География. 2001. Вып. 2 (15). С. 43–48.
2. *Курошев Г. Д.* Картографо-геодезические и географические основы мониторинга земной поверхности // Сб. тезисов докладов. Четвертая международная конференция «Земля из космоса — наиболее эффективные решения». 1–3 декабря 2009 г. Инженерно-технологический центр «СканЭкс», НП «Прозрачный мир». М.: Изд-во БИНОМ, 2009. С. 70–72.
3. *Курошев Г. Д.* Космическая геодезия и глобальные системы позиционирования: учеб. пособие для студентов-картографов, географов, аспирантов. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2011. 184 с.
4. *Кафтан В. И.* Три источника и три составные части геодезии: геометрия, гравиметрия, астрометрия // Изыскательский вестн. 2012. № 1(13). С. 3–13.
5. *Антонович К. М.* Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. М.: ФГУП «Картгеоцентр», 2005. Т. 2. 360 с.
6. URL: <http://www.ggos.org> The Global Geodetic Observing System (GGOS) (дата обращения: 11.08.2014).
7. URL: <http://192.106.234.28/Activities/GGOS-IAG.pdf> The Global Geodetic Observing System (GGOS) of the International Association of Geodesy, IAG (дата обращения: 11.08.2014).
8. *Алексеев В. Ф.* Оперативный мониторинг гравитационного поля Земли в сейсмически опасных и тектонически активных районах. СПб.: Изд-во Балт. гос. техн. ун-т, 2009. 106 с.
9. URL: <http://osmangravity.far.ru/proekt.htm> Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE) (дата обращения: 11.08.2014).
10. *Курошев Г. Д., Харунжий А. А.* Методы трансформации геодезических и пространственных прямоугольных координат, их алгоритмы, параметры, точность // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология. География. 2012. Вып. 3. С. 79–90.
11. Геодезические методы изучения деформаций земной коры на геодинамических полигонах. М.: ЦНИИГАиК, 1985. 113 с.
12. *Серебрякова Л. И., Пикалов О. О.* Некоторые сведения о геодинамике для геодезистов // Геодезия и картография. 2011. № 8. С. 49–56; № 9. С. 42–49; № 10. С. 39–48; № 12. С. 34–42.
13. *Прилепин М. Т.* Некоторые результаты решения геодинамических задач геодезическими методами // Международная научно-техническая конференция, посвященная 225-летию МИИГАиК. М., 2004. С. 7–14.
14. *Курошев Г. Д., Кондратьев В. И.* Геодезические работы по изучению неотектонических движений земной коры в районе строительства Саяно-Шушенской ГЭС // Труды Гидропроекта. 1981. № 77. С. 146–156.
15. *Курошев Г. Д.* Наблюдения за устойчивостью склонов долины реки Сулак в районе Чиркейской ГЭС // Гидротехническое строительство. 1981. № 12. С. 11–13.
16. *Курошев Г. Д., Власенко В. Н., Андреев В. Г.* Опыт определения числовых характеристик подвжек оползня // Гидротехническое строительство. 1987. № 1. С. 28–30.
17. *Курошев Г. Д., Власенко В. Н.* Геодезические наблюдения за солифлюкцией грунтов // Труды Гидропроекта. 1985. № 110. С. 65–71.
18. *Gabriel A. K., Goldstein R. M., Zebker H. A.* Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry // Journal of Geophysical Res. 1989. Vol. 94. P. 9183–9191.
19. *Massonet D., Rossi M., Garmona C., Adragna F.* The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry // Nature. 1993. Vol. 364. P. 138–142.

20. Takeuchi S., Suga Y., Yonezawa C., Chen A. J. Detection of urban disaster using InSAR. A case study for the 1999 Great Taiwan Earthquake // Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International. 2000. Vol. 1. P. 339–341.
21. Liu G., Luo X., Chen Q., Huang D., Ding X. Detecting Land Subsidence in Shanghai by PS-Networking SAR Interferometry // Sensors. 2008. N 8. P. 4725–4741.
22. Mouelic Le. S., Raucoules D., Carnec C., King C. A Least Squares Adjustment of Multitemporal InSAR Data: Application to the Ground Deformation of Paris // PhEngRS(71). 2005. February. N 2. P. 197–204.
23. Григорьев А. А. Космический мониторинг динамики антропогенных изменений особо охраняемых природных территорий Петербурга и ленинградской области // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. География. 2009. Вып. 1. С. 73–81.
24. Кондратьева Г. А. Геоинформационные системы для целей экологического мониторинга особо охраняемых природных территорий // Геодезия и картография. 2013. № 12. С. 33–38.
25. Бровко Е. А. Система ведения государственного топографического мониторинга — инновационная модель актуализации пространственных данных // Геодезия и картография. 2008. № 8. С. 9–14.
26. Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации // Геодезия и картография. 2006. № 10. С. 1–6.
27. World Spatial Metadata Standards / Ed. by H. Moellering. International Cartographic Association. Elsevier. First edition 2005. Reprinted 2006. 689 p.
28. Курошев Г. Д., Фролов Р. В. О развитии инфраструктуры пространственных данных. Современная картография: наука и практика // Научное издание. Памяти проф. Л. Е. Смирнова посвящается. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та. Старый Петергоф. С. 169–174.
29. Осокин С. А. Теоретические основы и методика создания локальной инфраструктуры пространственных данных: дис. ... канд. геогр. наук. М.: МГУ, 2010. 145 с.
30. Божилкина Е. А., Емельянова Л. Г., Котова Н. Н. и др. Географическое картографирование: карты природы: учеб. пособие. М.: КДУ, 2010. 316 с.
31. Золотарев Е. А. Теоретические основы картографо-аэрокосмических технологий дистанционного мониторинга опасных гляциальных процессов высокогорных геосистем: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: МГУ, 2014. 44 с.
32. Земельный кодекс Российской Федерации / Закон РФ от 25.10.2001 г. №136-ФЗ.
33. Вахид М. М. Оценка антропогенно- и природно обусловленных изменений в береговой зоне Красного моря на основе спутниковой информации в районе между Рас Гемша и Сафага, Египет: дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2002. 175 с.
34. Агапова Г. В. Исследование и картографирование подводного рельефа в познании природы мирового океана: дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2008. 46 с.

**Для цитирования:** Курошев Г. Д. Роль картографо-геодезического мониторинга в исследовании географического пространства // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7. Геология. География. 2016. Вып. 4. С. 112–123. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.409

## Reference

1. Smirnov L. E., Kuroshev G. D. Geografo-geodezicheskiy monitoring Zemli [The Geographic-geodetic monitoring of the Earth]. *Vestnik of Saint Petersburg. Series 7. Geology. Geography*, 2001, issue 2 (15), pp. 43–48. (In Russian)
2. Kuroshev G. D. Kartografo-geodezicheskie i geograficheskie osnovy monitoringa zemnoi poverkhnosti [Cartographic-geodetic and geographical bases of monitoring of the earth's surface]. *Sb. tezisov dokladov. Chetvertaia mezhdunarodnaia konferentsiia "Zemlia iz kosmosa — naibolee effektivnye resheniia". 1–3 dekabria 2009 g. Inzhenerno-tehnologicheskii tsentr "ScanEks", NP "Prozrachnyi mir"* [The book of abstracts. Fourth international conference from 1 to 3 December 2009 "Earth from space — the most effective solutions". M., Engineering and technology Center ScanEx RDC, NGO "Transparent world"]. Moscow, BINOM Publ., 2009, pp. 70–72. (In Russian)
3. Kuroshev G. D. *Kosmicheskaiia geodeziia i global'nye sistemy pozitsionirovaniia: ucheb. posobie dlia studentov-kartografov, geografov, aspirantov* [Space geodesy and global positioning systems: proc. A manual for students, cartographers, geographers, and graduate students]. St. Petersburg, St. Petersburg University Press, 2011. 184 p. (In Russian)
4. Kaftan V. I. Tri istochnika i tri sostavnnye chasti geodezii: geometriia, gravimetriia, astrometriia [Three sources and three components of geodesy: geometry, gravimetry, astrometry]. *Izyskatel'skii vestn. [Vestn. Survey]*, 2012, no. 1(13), pp. 3–13. (In Russian)

5. Antonovich K. M. *Ispol'zovanie sputnikovyykh radionavigatsionnykh sistem v geodezii* [Use of satellite navigation systems in geodesy]. Moscow, FGUP "Kartgeotsentr" Publ., 2005, vol. 2. 360 p. (In Russian)
6. Available at: <http://www.ggos.org> The Global Geodetic Observing System (GGOS) (accessed 11.08.2014). (In Russian)
7. Available at: <http://192.106.234.28/Activities/GGOS-IAG.pdf> The Global Geodetic Observing System (GGOS) of the International Association of Geodesy, IAG (accessed 11.08.2014). (In Russian)
8. Alekseev V. F. *Operativnyi monitoring gravitatsionnogo polia Zemli v seismicheski opasnykh i tektonicheski aktivnykh raionakh* [Operational monitoring of the Earth's gravitational field in a seismically active and tectonically active regions]. St. Petersburg, Balt. gos. tekhn. un-t Publ., 2009. 106 p. (In Russian)
9. Available at: <http://osmangravity.far.ru/proekt.htm> Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer (GOCE) (accessed 11.08.2014). (In Russian)
10. Kuroshev G. D., Kharunzhii A. A. *Metody transformatsii geodezicheskikh i prostranstvennykh priamougol'nykh koordinat, ikh algoritmy, parametry, tochnost'* [The transformation methods of the geodetic spatial rectangular coordinate, their algorithms, parameters, accuracy]. *Vestnik of Saint Petersburg. Series 7. Geology. Geography*, 2012, issue 3, pp. 79–90. (In Russian)
11. *Geodezicheskie metody izucheniia deformatsii zemnoi kory na geodinamicheskikh poligonakh* [Geodetic methods of studying deformations of the earth crust on geodynamic polygons]. Moscow, TsNIIGAiK Publ., 1985. 113 p. (In Russian)
12. Serebriakova L. I., Pikalov O. O. *Nekotorye svedeniia o geodinamike dlia geodezistov* [Some information about the geodynamics for geodesists]. *Geodeziia i kartografiia* [Geodesy and cartography], 2011, no. 8, pp. 49–56; no. 9, pp. 42–49; no. 10, pp. 39–48; no. 12, pp. 34–42. (In Russian)
13. Prilepin M. T. *Nekotorye rezul'taty resheniia geodinamicheskikh zadach geodezicheskimi metodami* [Some results of solving geodynamic problems by geodetic methods]. *Mezhdunarodnaia nauchno-tekhnicheskaiia konferentsiia, posviashchennaia 225-letiiu MIIGAiK* [International scientific-technical conference dedicated to 225 anniversary of MIIGAiK]. Moscow, 2004, pp. 7–14. (In Russian)
14. Kuroshev G. D., Kondrat'ev V. I. *Geodezicheskie raboty po izucheniiu neotektonicheskikh dvizhenii zemnoi kory v raione stroitel'stva Saiano-Shushenskoi GES* [Geodetic works for the study of neotectonic movements of the earth crust in the area of construction of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station]. *Trudy Gidroproekta* [Proceedings of Hydroproject], 1981, no. 77, pp. 146–156. (In Russian)
15. Kuroshev G. D. *Nabliudeniia za ustoiчивost'iu sklonov doliny reki Sulak v raione Chirkeiskoi GES* [Monitoring the stability of the slopes of the valley of the Sulak river in the area of Chirkey HPS]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], 1981, no. 12, pp. 11–13. (In Russian)
16. Kuroshev G. D., Vlasenko V. N., Andreev V. G. *Opyt opredeleniia chislovyykh kharakteristik podvizhek opolznia* [The experience of determining the numerical characteristics of landslide movements]. *Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo* [Hydrotechnical construction], 1987, no. 1, pp. 28–30. (In Russian)
17. Kuroshev G. D., Vlasenko V. N. *Geodezicheskie nabliudeniia za solifluktsiei gruntov* [Geodetic monitoring of solifluction of soils]. *Trudy Gidroproekta* [Proceedings of Hydroproject], 1985, no. 110, pp. 65–71. (In Russian)
18. Gabriel A. K., Goldstein R. M., Zebker H. A. *Mapping small elevation changes over large areas: differential radar interferometry*. *Journal of Geophysical Res.*, 1989, vol. 94, pp. 9183–9191.
19. Massonet D., Rossi M., Garmona C., Adragna F. *The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry*. *Nature*, 1993, 364, pp. 138–142.
20. Takeuchi S., Suga Y., Yonezawa C., Chen A. J. *Detection of urban disaster using InSAR. A case study for the 1999 Great Taiwan Earthquake*. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2000. Proceedings. IGARSS 2000. IEEE 2000 International. 2000*, vol. 1, pp. 339–341.
21. Liu G., Luo X., Chen Q., Huang D., Ding X. *Detecting Land Subsidence in Shanghai by PS-Networking SAR Interferometry*. *Sensors*, 2008, no. 8, pp. 4725–4741.
22. Mouelic Le. S., Raucoules D., Carnec C., King C. *A Least Squares Adjustment of Multitemporal InSAR Data: Application to the Ground Deformation of Paris*. *PhEngRS(71)*, 2005, February, no. 2, pp. 197–204.
23. Grigor'ev A. A. *Kosmicheskii monitoring dinamiki antropogennykh izmenenii osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii Peterburga i leningradskoi oblasti* [Satellite monitoring of the dynamics of anthropogenic changes of especially protected natural territories of St. Petersburg and the Leningrad region]. *Vestnik of Saint Petersburg. Series 7. Geology. Geography*, 2009, issue 1, pp. 73–81. (In Russian)
24. Kondrat'eva G. A. *Geoinformatsionnye sistemy dlia tselei ekologicheskogo monitoringa osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii* [Geoinformation system for ecological monitoring of especially protected natural territories]. *Geodeziia i kartografiia* [Geodesy and cartography], 2013, no. 12, pp. 33–38. (In Russian)

25. Brovko E. A. Sistema vedeniia gosudarstvennogo topograficheskogo monitoringa — innovatsionnaia model' aktualizatsii prostranstvennykh dannykh [The System of state topographic monitoring — an innovative model of mainstreaming of spatial data]. *Geodeziia i kartografiia* [Geodesy and cartography], 2008, no. 8, pp. 9–14. (In Russian)
26. Kontseptsiiia sozdaniia i razvitiia infrastruktury prostranstvennykh dannykh Rossiiskoi Federatsii [The concept of creation and development of spatial data infrastructure of the Russian Federation]. *Geodeziia i kartografiia* [Geodesy and cartography], 2006, no. 10, pp. 1–6. (In Russian)
27. World Spatial Metadata Standards. Ed. by H. Moellering. *International Cartographic Association. Elsevier. First edition*, 2005. Reprinted 2006, 689 p.
28. Kuroshv G. D., Frolov R. V. O razvitiia infrastruktury prostranstvennykh dannykh. Sovremennaiia kartografiia: nauka i praktika [About the development of spatial data infrastructure. Modern cartography: science and practice]. *Nauchnoe izdanie. Pamiati prof. L. E. Smirnova posviashchaetsia* [Research publication. To the memory of Professor L. E. Smirnov]. St. Petersburg, St. Petersburg University Press. Staryi Petergof, pp. 169–174. (In Russian)
29. Osokin S. A. *Teoreticheskie osnovy i metodika sozdaniia lokal'noi infrastruktury prostranstvennykh dannykh*: dis. ... kand. geogr. nauk [The Theoretical basis and methodology for creating a local spatial data infrastructure: PhD Diss.]. Moscow, MGU Publ., 2010. 145 p. (In Russian)
30. Bozhilina E. A., Emel'ianova L. G., Kotova N. N. et al. *Geograficheskoe kartografirovanie: karty prirody: ucheb. posobie* [Geographical mapping: maps of nature: A manual for students]. Moscow, KDU Publ., 2010. 316 p. (In Russian)
31. Zolotarev E. A. *Teoreticheskie osnovy kartografo-aerokosmicheskikh tekhnologii distantsionnogo monitoringa opasnykh gliatsial'nykh protsessov vysokogornnykh geosistem*: avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk [The theoretical basis of cartographic and aerospace technologies of remote monitoring of hazardous glacial processes of high mountain geosystems: Thesis of Doct. Diss.]. Moscow, MGU Publ., 2014. 44 p. (In Russian)
32. *Zemel'nyi kodeks Rossiiskoi Federatsii. Zakon RF ot 25.10.2001 g. №136-FZ* [Land code of the Russian Federation. Law of RF 25.10.2001, no. 136-FZ]. (In Russian)
33. Vakhid M. M. *Otsenka antropogenno- i prirodno obuslovlennykh izmenenii v beregovoi zone Krasnogo moria na osnove sputnikovoi informatsii v raione mezhdu Ras Gemsha i Safaga, Egipet*: dis. ... kand. geogr. nauk [The Evaluation of anthropogenic and natural-caused changes in the coastal zone of the Red sea based on satellite information in the area between Ras Gemsa and Safaga, Egypt: PhD Diss.]. St. Petersburg, 2002. 175 p. (In Russian)
34. Agapova G. V. *Issledovanie i kartografirovanie podvodnogo rel'efa v poznanii prirody mirovogo okeana*: dis. ... d-ra geogr. nauk [The study and mapping of underwater topography in the knowledge of the nature of the world ocean: Doct. Diss.]. Moscow, 2008. 46 p. (In Russian)

**For citation:** Kuroshv G. D. Geodetic and cartographic monitoring's significance in exploration of geographic space. *Vestnik of Saint Petersburg University. Series 7. Geology. Geography*, 2016, issue 4, pp. 112–123. DOI: 10.21638/11701/spbu07.2016.409

Статья поступила в редакцию 23 сентября 2016 г.

#### Контактная информация:

Курошев Герман Дмитриевич — доктор географических наук, профессор; kgd@gk6816.spb.edu  
Kuroshv German D. — Doctor of Geography, Professor; kgd@gk6816.spb.edu