

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ»
(СГУГиТ)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE-FUNDED EDUCATIONAL INSTITUTION OF HIGHER EDUCATION
SIBERIAN STATE UNIVERSITY OF GEOSYSTEMS AND TECHNOLOGIES
(SSUGT)

XIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2017

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Сборник материалов

XIII International Scientific Congress and Exhibition

INTEREXPO GEO-SIBERIA-2017

PLENARY SESSION

Proceedings

Новосибирск / Novosibirsk
СГУГиТ / SSUGT
2017

УДК 528
С26

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр., 17–21 апреля 2017 г., Новосибирск : Пленарное заседание : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – 112 с.

ISBN 978-5-906948-30-4

ISBN 978-5-906948-11-3

В сборнике опубликованы материалы XIII Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017», представленные на пленарном заседании.

The proceedings include presentations presented at plenary sessions of XIII International scientific congress «Interexpo GEO-Siberia-2017».

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528

ISBN 978-5-906948-30-4

ISBN 978-5-906948-11-3

© СГУГиТ, 2017

Сборник включен в систему РИНЦ.

ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОЗДАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Николай Михайлович Бабашкин

Центр геодезии, картографии и ИПД, Россия, 125413, г. Москва, ул. Онежская, 26, заместитель начальника отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии, тел. (495)456-91-11, e-mail: babashkin_nm@nsdi.rosreestr.ru

Сергей Алексеевич Кадничанский

Центр геодезии, картографии и ИПД, Россия, 125413, г. Москва, ул. Онежская, 26, кандидат технических наук, начальник отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии, тел. (495)456-91-11, e-mail: kadnichanskiy_ss@nsdi.rosreestr.ru

Сергей Степанович Нехин

Центр геодезии, картографии и ИПД, Россия, 125413, г. Москва, ул. Онежская, 26, доктор технических наук, начальник управления фотограмметрических исследований, тел. (495)456-91-36, e-mail: nekhin_ss@nsdi.rosreestr.ru

Леонард Иосифович Яблонский

Центр геодезии, картографии и ИПД, Россия, 125413, г. Москва, ул. Онежская, 26, кандидат технических наук, заместитель директора, тел. (495)456-95-93, e-mail: yablonskiy_li@nsdi.rosreestr.ru

Отмечаются проблемы, связанные с отсутствием нормативно-технической базы, регламентирующей новые технологические процессы работ и использование современных аппаратно-программных средств при получении пространственных данных на основе материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В частности, это касается широкого использования космических изображений высокого разрешения, перехода от аналоговой аэрофотосъемки к цифровой с применением высокоточных бортовых систем определения положения и ориентации, внедрения в практику аэрофототопографической съемки воздушного лазерного сканирования, широкого использования беспилотных воздушных судов (БВС) и программно-аппаратных комплексов для аэрофотосъемки и последующей фотограмметрической обработки материалов ДЗЗ. Отмечается необходимость регламентации всех этих аспектов во вновь разрабатываемых нормативно-технических документах на основе детальной проработки различных вариантов технологических схем аэрофототопографической съемки в целом и отдельных ее этапов в частности, с учетом характера картографируемой территории, масштаба картографирования, а также применяемого оборудования и программного обеспечения.

Ключевые слова: нормативно-техническое обеспечение, пространственные данные, дистанционное зондирование Земли, аэрофототопографическая съемка.

THE NEED OF REGULATORY DOCUMENTS FOR SPATIAL DATA CREATING BASED ON REMOTE SENSING

Nikolay M. Babashkin

Center of Geodesy, Cartography and SDI, 125413, Russia, 26 Onezhskaja St., Deputy head of department on remote sensing and photogrammetry, tel. (495)456-91-11, e-mail: babashkin_nm@nsdi.rosreestr.ru

Sergey A. Kadnichanskiy

Center of Geodesy, Cartography and SDI, 125413, Russia, 26 Onezhskaja St., Ph. D., Head of department on remote sensing and photogrammetry, tel. (495)456-91-11, e-mail: kadnichanskiy_ss@nsdi.rosreestr.ru

Sergey S. Nekhin

Center of Geodesy, Cartography and SDI, 125413, Russia, 26 Onezhskaja St., D. Sc., Head of photogrammetric research division, tel. (495)456-91-36, e-mail: nekhin_ss@nsdi.rosreestr

Leonard I. Yablonskiy

Center of Geodesy, Cartography and SDI, Russia, 125413, Onezhskaja str., 26, Ph. D., Deputy director, tel. (495)456-95-93, e-mail: yablonskiy_li@nsdi.rosreestr

The problems associated with the lack of regulatory framework regulating the new technological processes and the use of modern hardware and software when acquiring spatial data on the basis of materials of remote sensing are observed. It concerns the increased use of satellite high-resolution images, transition from analog aerial photography to digital using high precision on-board positioning and orientation systems, introduction of aerial laser scanning, widespread use of unmanned aerial vehicles. The necessity of regulation of all these aspects in the be developed normative-technical documents on the basis of a detailed study of different variants of technological schemes is pointed out.

Key words: technical regulatory framework, acquiring spatial data, remote sensing, satellite high-resolution images, aerial photography, unmanned aerial vehicles.

Подготовка технических требований к современной продукции аэрогеодезического производства, получаемой в результате аэрофототопографической съемки, ее создание и приемка от исполнителей выявил ряд проблем, связанных с отсутствием соответствующей нормативно-технической базы, регламентирующей новые технологические процессы работ и использование современных аппаратно-программных средств. В настоящее время в качестве принципиальных совершенствований в технике и технологии, существенно изменивших облик аэрофототопографического производства можно отметить следующие:

- практически полный переход от аналоговой аэрофотосъемки к цифровой с использованием топографических кадровых аэрофотокамер среднего и широкого формата;
- появление и все более активное использование беспилотных авиационных систем (БВС) и программно-аппаратных комплексов для аэрофотосъемки и последующей фотограмметрической обработки ее материалов;
- широкое внедрение в практику аэрофототопографической съемки воздушного лазерного сканирования;
- использование высокоточных бортовых систем определения положения и ориентации, основанных на сочетании ГНСС приемников и инерциальных измерительных устройств;
- появление и широкое использование космических цифровых изображений высокого разрешения для создания ортофотопланов и обновления карт;

- широкое внедрение в практику методов геодезических определений, основанных на использовании глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС);

- появление и практическое освоение метода точного определения местоположения – PPP (Precise Point Positioning);

- цифровые методы фотограмметрической обработки полностью вытеснили аналоговые приборы, что принципиально изменило облик камеральных работ и повысило их точность и производительность;

- для составления цифровой топографической карты как конечного продукта повсеместно используются ГИС или САД программные средства;

- программные средства ГИС повсеместно вошли в практику работы с цифровыми картами, планами и ортофотопланами и стали эффективным средством анализа пространственных данных.

В связи с перечисленными изменениями содержание и требования таких нормативно-технических документов (НТД), как Инструкции по топографической съемке [1, 2], Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов [3], практически полностью устарели, не отражают современных возможностей и условий, и их использование никакого практического смысла не имеет. Существенно более адекватно отражающая современную технологию Инструкция по фотограмметрическим работам [4] 2002 года, также нуждается в обновлении, т.к. за прошедшие 15 лет произошло много серьезных изменений в технике и технологии работ [5, 6].

Таким образом, совершенно очевидна необходимость иметь нормативно-технические и методические документы, отражающие современные условия и технические возможности выполнения аэрофототопографической съемки. Разработка таких документов должна опираться на накопленный практический опыт и научные исследования.

Так, например, в инструкциях по топографической съемке [1, 2] содержатся требования к параметрам аэрофотосъемки в зависимости от масштаба карты (плана), высоты сечения рельефа, способа аэрофототопографической съемки, характера местности, назначения материалов аэрофотосъемки (дешифрирование, изготовление фотопланов, съемка рельефа), используемых универсальных фотограмметрических приборов для стереоскопической съемки. Такими параметрами являлись: фокусное расстояние аэрофотокамеры, масштаб фотографирования, продольное и поперечное перекрытие. Следует отметить, что эти параметры относились к аэрофотокамерам с форматом кадра 18×18 см, а для аэрофотосъемки производство располагало весьма широким выбором фокусных расстояний аэрофотокамер (70, 100, 140, 200, 350 мм). При формулировании требований к параметрам аэрофотосъемки цифровыми аэрофотокамерами использовать фокусное расстояние и масштаб фотографирования не имеет никакого смысла. Вместо этих параметров следует использовать размер пикселя на местности, значение которого, или диапазон допустимых значений, должен

быть обоснован и установлен для каждого масштаба топографической карты или плана с учетом обеспечения задач дешифрирования и требуемой точности планового положения контуров объектов местности на фотоплане и карте. Это также касается материалов космической съемки. Если аэрофотосъемка выполняется с целью стереотопографической съемки рельефа и/или контуров объектов, должна быть определена допустимая максимальная высота фотографирования для продольного размера матрицы цифрового снимка используемой аэрофотокамеры. Важным аспектом являются требования к цифровому фотоплану (ортофотоплану), в особенности те из них, которые прежде вообще не существовали. Необходимо сформулировать требования к максимальному эффективному поперечному углу поля зрения при выполнении аэрофотосъемки, т. е. углу поля зрения, ограничивающему ту часть кадра аэрофотоснимка, которая может быть использована при монтаже ортофотоплана, и тем самым ограничить значения видимых на ортофотоплане перспективных смещений крыш зданий или иных высотных объектов относительно основания, т. е. так называемых «завалов зданий». Такие требования должны быть сформулированы применительно к различным типам местности: застроенные территории и межселенные.

Следует отметить, что при этом также нуждается отражения в новых государственных стандартах современная терминология, возникшая в связи с перечисленными выше изменениями. Так, например, принципиально меняет смысл понятие комбинированной аэрофототопографической съемки и стереотопографической съемки, и появляются новые типы съемки. Появились новые понятия и связанная с ними терминология.

Пространственные данные, получаемые на основе материалов ДЗЗ, предназначены для целей топографического картографирования, создания картографической основы навигационных карт, использования для целей государственного кадастра недвижимости, а также решения других задач. При этом в зависимости от требований оперативности, точности, пространственного разрешения, а также с учетом технико-экономических показателей пространственные данные могут быть получены на основе: космической съемки высокого разрешения; традиционной аэрофотосъемки с пилотируемых воздушных средств; аэрофотосъемки с беспилотных воздушных средств. В этой связи необходима разработка методических рекомендаций по выбору оптимальных материалов ДЗЗ с учетом технических, экономических и временных показателей.

Что касается аэрофотосъемки с использованием БВС, следует отметить, что на практике она выполняется не только топографическими камерами, но и камерами, не предназначенными для топографической аэрофотосъемки, обладающими существенными геометрическими искажениями [7]. Учитывая широкое использование комплексов технических и программных средств аэрофототопографической съемки с использованием БВС, для обоснования возможности и целесообразности их использования рекомендуется проведение исследо-

вательских испытаний комплексов с целью установления и контроля их метрологических характеристик.

Все упомянутые вопросы, должны быть отражены в соответствующих нормативно-технических документах, что требует в первую очередь проработки различных вариантов технологических схем аэрофототопографической съемки в целом и отдельных этапов обработки в зависимости от свойств местности, масштаба карты и применяемого оборудования.

Вместе с тем, успешному решению задач по разработке новых НТД, наряду с отмеченными выше, препятствуют следующие основные проблемы:

- отсутствие целевых научно-исследовательских работ по разработке и практической технологической проверке вновь создаваемых НТД;
- отсутствие регламентированных требований к созданию новых видов пространственных данных и использованию перспективных средств ДЗЗ;
- недостаточная информированность и отсутствие профессиональных переводов НТД и технических стандартов передовых в области создания пространственных данных зарубежных государств;
- недостаточное финансирование проведения работ по стандартизации в области топографического картографирования в рамках деятельности ТК 404;
- отсутствие отрегулированных полномочий Минэкономразвития и Росреестра по разработке и утверждению НТД;
- дефицит профессионального кадрового состава в области разработки современных НТД.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000, 1 : 500 ГКИНП-02-033-82. – М. : Недра, 1982.
2. Инструкция по топографическим съемкам в масштабах 1 : 10 000 и 1 : 25 000. Полевые работы. ГКИНП-34. Утверждена ГУГК 26.04.77. – М. : Недра, 1978.
3. Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов. ГКИНП-09-32-80. Утверждены ГУГК 22.04.80 и МГА 25.04.80. – М. : Недра, 1982.
4. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП(ГНТА)-02-036-02. Утверждена Роскартографией 11.06.02. – М. : ЦНИИГАиК, 2002.
5. Бабашкин Н. М., Кадничанский С. А., Нехин С. С. Топографическая аэросъемка в России // Геоматика. – 2016. – № 1 (30). – С. 30–36.
6. Кадничанский С. А., Нехин С. С. Особенности современной технологии аэрофототопографической съемки и необходимость их отражения в новых нормативно-технических документах // Н.-т. сборник № 28 (по материалам н.-т. конференции, 31 мая – 1 июня 2016 г.) 29 НИИ МО РФ. – М., 2016. – С. 130–135.
7. Бабашкин Н. М., Кадничанский С. А., Нехин С. С. Сравнительный анализ эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем // Геопрофи. – 2017. – № 1. – С. 14–19.

© Н. М. Бабашкин, С. А. Кадничанский, С. С. Нехин, Л. И. Яблонский, 2017

ОБЛАЧНАЯ СРЕДА В ПРИКЛАДНЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЗЕМЛИ

Алексей Александрович Бучнев

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, старший научный сотрудник лаборатории обработки изображений, тел. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

Валерий Павлович Пяткин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, зав. лабораторией обработки изображений, тел. (383)333-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Федор Валерьевич Пяткин

Сибирский центр ФГБУ «НИЦ "Планета"», 630099, Россия, г. Новосибирск, ул. Советская, 30, младший научный сотрудник, тел. (383)222-33-07, e-mail: fep@ya.ru

Рассматривается облачная среда, предоставляющая услуги обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в рамках облачной модели SaaS. Фактически это совокупность Web-сервисов, реализующих функциональные модули программного комплекса обработки данных ДЗЗ PlanetaMonitoring.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, облачная среда, Web-сервис, линейменты, кольцевые структуры.

CLOUD IN THE APPLICATION OF EARTH REMOTE SENSING

Aleksey A. Buchnev

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, lab of the images processing senior researcher, tel. (383)333-73-32, e-mail: baa@ooi.sccc.ru

Valeriy P. Pyatkin

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, lab of the images processing head, tel. (383)333-73-32, e-mail: pvp@ooi.sccc.ru

Fedor V. Pyatkin

Siberian Center FGBU "SRC "Planeta", 630099, Russia, Novosibirsk, 30 Sovetskaya St., junior researcher, tel. (383)222-33-07, e-mail: fep@ya.ru

We consider the cloud providing data processing services for remote sensing within the cloud SaaS model. In fact, we have a set of Web-services, software modules implementing the functionality of the complex of remote sensing data processing PlanetaMonitoring.

Key words: remote sensing, cloud, Web-service, lineaments, coils.

Эффективность прикладных дистанционных исследований Земли из космоса во многом определяется используемыми методами тематической обработки данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [1]. Функциональные возможности разработанного в ИВМиМГ СО РАН совместно с ФГБУ «НИЦ «Планета» программного комплекса PlanetaMonitoring для обработки данных ДЗЗ дают возможность использовать при их обработке практически функционально полный набор операций [2]. Программный комплекс PlanetaMonitoring реализует технологии предварительной и тематической обработки многоспектральной спутниковой информации оптического, инфракрасного и микроволнового диапазонов. В процессе предварительной обработки спутниковых данных осуществляются яркостные и геометрические преобразования, геокодирование, составление обзорных монтажей и другие. Тематическая обработка многоспектральных спутниковых данных включает технологии распознавания объектов (без обучения и с обучением), выделения и картирования линейных и кольцевых структур, а также пространственного перемещения природных объектов (ледяных полей, водных масс, облачных образований в атмосфере). Каждая из перечисленных выше программных технологий комплекса PlanetaMonitoring реализована в виде Windows-приложения. В данной работе предлагается подход к организации облачной среды, способной обеспечить надежное и эффективное выполнение этих Windows-приложений при обработке данных ДЗЗ.

В настоящее время становится актуальным использование Internet-технологий для оперативной интеграции информационно-вычислительных ресурсов для решения задач обработки данных ДЗЗ. Новая парадигма облачных вычислений (cloud computing) дает такую возможность [3]. Основная идея облачных вычислений – технологии распределенной обработки и хранения данных, в которых все необходимые ресурсы предоставляются пользователю как Internet-сервис.

Концептуально технологию облачных вычислений делят на предоставление инфраструктуры в качестве сервиса (IaaS, Infrastructure as a Service), платформы в качестве сервиса (PaaS, Platform as a Service) или программного обеспечения в виде сервиса (SaaS, Software as a Service), а также многих других придуманных и еще не придуманных Internet-технологий для удаленных пользовательских вычислений. В данной работе основное внимание будет уделено облачной концепции SaaS (Software as a Service, «программное обеспечение как услуга»). В работе рассматривается разработка макетов Web-сервисов, реализующих программные технологии (Windows-приложения) комплекса PlanetaMonitoring, что решает новую задачу предоставления услуг обработки данных ДЗЗ в рамках облачной модели SaaS. Макеты сервисов реализуются на платформе Windows и состоят из двух компонент. Вычислительной компоненты, созданной на основе разработанного ранее соответствующего Windows-приложения, и Web-интерфейса, выполненного на основе свободного Web-сервера Apache.

Одна из важных операций, реализованных в комплексе PlanetaMonitoring, – обнаружение объектов заданной формы (линеаментов и кольцевых структур) на космических снимках (программа LINECOIL[4]).

Материалы аэрокосмических съемок показали повсеместное распространение линейных и кольцевых образований в структуре земной коры, что обусловило широкий интерес к ним со стороны исследователей, изучающих нашу планету. При обработке космических снимков с целью обнаружения на них объектов, представляющих интерес, в силу целого ряда причин предпочтение отдается статистическому подходу [5, 6]. Основная причина состоит в том, что вследствие случайного характера природных процессов данные дистанционных измерений (спектросовмещенные изображения) содержат много случайных вариаций, маскирующих различия значений яркости изображения в точках области объекта и в точках области фона. В подобной ситуации надежные алгоритмы обнаружения могут быть построены только с помощью вероятностного (статистического) подхода. Есть целый ряд прикладных задач ДЗЗ, для которых очень важна задача выделения линейных и кольцевых структур на космических изображениях. Прежде всего, это геологические исследования Земли из космоса. Так обработка аэрокосмических изображений восточной части Сибирской платформы Якутской кимберлитонной провинции показала геологически значимую корреляцию выделенной статистическим методом системы линейных элементов и типов зон разрывных нарушений [7].

Статистический метод выделения линейных и кольцевых структур на космических снимках оказался достаточно эффективным при решении ряда задач экологических исследований Земли из космоса. Одна из них связана с изучением и картированием сейсмоопасных регионов по данным цифровой обработки космических снимков и комплекса наземных наблюдений. С использованием статистического подхода была проведена автоматизированная обработка космических снимков района Спитакского землетрясения (1988 г.) и выделены две новые, крупные дизъюнктивные зоны, не совпадающие с зонами известных глубинных разломов, и по-видимому, играющие более существенную роль в тектонической структуре территории, чем это представлялось ранее.

На рис. 1 представлены зоны разломов Спитакского землетрясения, нанесенные на карту плотности выделенных линеаментов. На основе этой качественно новой информации, полученной по данным ДЗЗ, изучена геодинамическая обстановка региона. Показано, что практически все известные сейсмодислокации, разрушения в населенных пунктах и афтершоки Спитакского землетрясения приурочены к выделенным зонам и согласуются с их типом. Результаты могут служить основой для разработки новой технологии выделения дизъюнктивных зон, аномальных с точки зрения сейсмоопасности.

В последнее время алгоритм линеаментного анализа космических изображений используется в мониторинге ледовой обстановки в полярных районах Земли в практике оперативной работы ФГБУ «НИЦ «Планета».

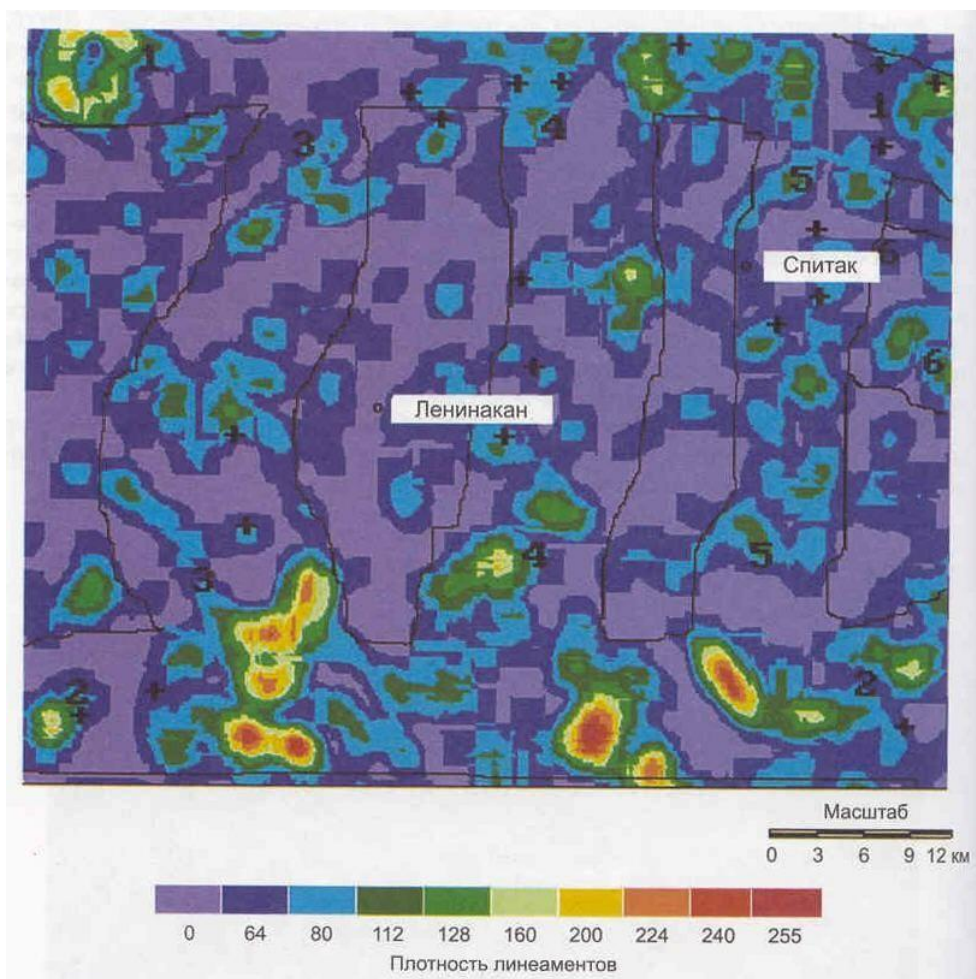


Рис. 1. Зоны разломов Спитакского землетрясения, нанесенные на карту плотности выделенных линеаментов

В проблеме космической охраны Земли существует настоятельная необходимость изучения процессов падения небесных тел на Землю и картирование мест их падения. Два исторических космических факта подчеркивают актуальность решения проблемы выделения импактных кратеров на космических снимках, представленных кольцевыми структурами. Это, безусловно, падение на Землю Тунгусского метеорита (1908 г.) и столкновение кометы Шумейкера-Леви с планетой Юпитер (1994 г.). Заслуживает внимания и Челябинский метеорит (15.03.2013 г.), самый крупный метеорит, упавший на территорию Сибири после Тунгусского метеорита.

На рис. 2 представлен результат выделения импактного кратера Курай (Горный Алтай) с использованием Windows-приложения по данным, полученным с ИСЗ SPOT-4. Учитывая важность программы LINECOIL для прикладных дистанционных исследований Земли, в качестве первого элемента облачной среды обработки данных ДЗЗ был реализован макет Web-сервиса по выделению линейных и кольцевых структур [8].

На рис. 3. представлен скриншот сеанса работы с макетом облачного сервиса по выделению линеаментов и кольцевых структур.

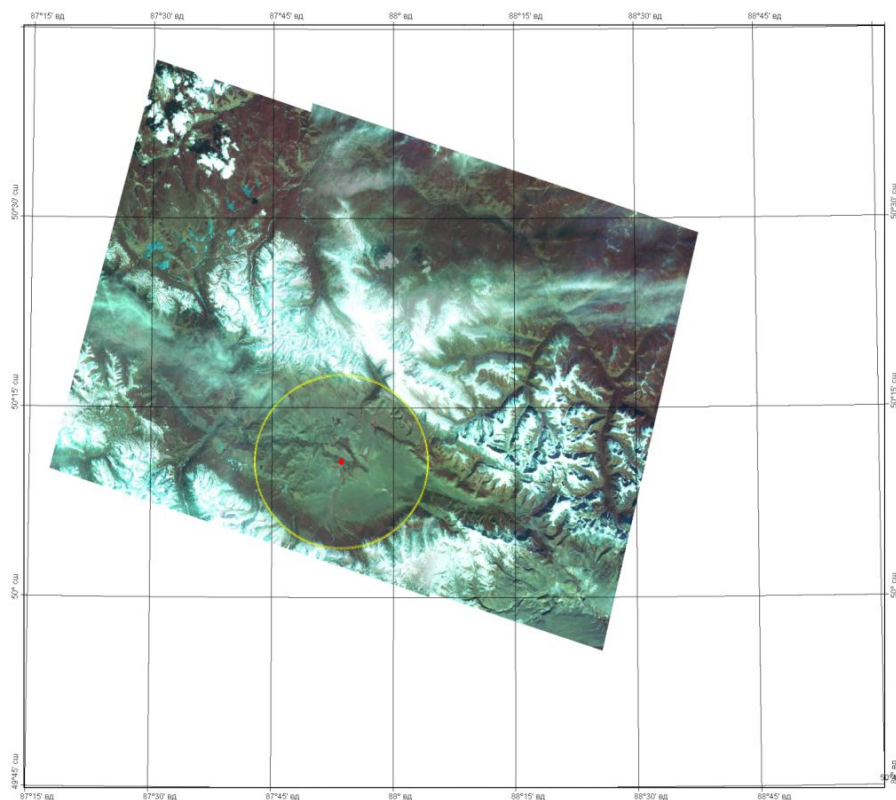


Рис. 2. Результат выделения импактного кратера Курай (Горный Алтай) с использованием Windows-приложения по данным, полученным с ИСЗ SPOT-4



Рис. 3. Скриншот сеанса работы с макетом облачного сервиса по выделению линеаментов и кольцевых структур

На исходном космическом снимке (слева) выделена кольцевая структура (изображена на снимке справа), представляющая импактный кратер Маникуаган (Канада). Все необходимые для работы соответствующей процедуры данные собраны в текстовом файле, имя которого является входным параметром. Все конкретные значения параметров (выделены курсивом в скриншоте) задаются в интерактивном режиме в данном сеансе работы с макетом. Вычислительная компонента передает в вызывающую среду код завершения, означающий либо успешное обнаружение объектов, либо ошибочный вызов (как правило, обнаруживаются неверные значения вводимых параметров). В случае успешного завершения формируются два файла с одним и тем же изображением обнаруженных объектов: один файл в формате BMP, второй в формате JPEG.

В заключение отметим, что успешный опыт реализации макета облачного Web-сервиса по выделению аномальных (линейных и кольцевых) структур на космических изображениях будет использован для предоставления услуг обработки данных ДЗЗ в рамках облачной модели SaaS и по другим программным модулям комплекса PlanetaMonitoring.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-07-00066) и Программы 1.33П фундаментальных исследований Президиума РАН (проект № 0315-2015-0012).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шовенгердт Р. А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. – М. : Техносфера, 2010. – 560 с.
2. Planetamonitoring: программный комплекс обработки спутниковых данных / В. В. Асмус, А. А. Бучнев, В. А. Кровотынцев, В. П. Пяткин, Г. И. Салов // Проблемы информатики. – 2013. – № 3. – С. 85–99.
3. Kim P. A., Kalantaev P. A., Pyatkin V. P. Cloud Multiagent System for the Database of Natural Resources.// Pattern Recognition and Image Analysis. – 2015. – Vol. 25, No. 2. – P. 220–222.
4. Программа выделения линеаментов и кольцевых структур на аэрокосмических изображениях LINECOIL / Асмус В. В., Бучнев А. А., Пяткин В. П., Кровотынцев В. А., Салов Г. И. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ. № 2015663473 от 18 декабря 2015 г.
5. Салов Г. И. Новый статистический критерий для задач с двумя и тремя выборками, более мощный, чем критерии Вилкоксона и Уитни // Автометрия. – 2011. – № 4. – С. 58–70.
6. Пяткин В. П., Салов Г. И. Статистический подход к задаче обнаружения некоторых структур на аэрокосмических изображениях // Научные технологии. – 2002. – №3, т. 3. – С. 52–58.
7. Об одном статистическом подходе к задаче автоматизированного выделения линейных элементов на аэрокосмических снимках / Л. П. Аргунов, В. П. Пяткин, Г. И. Салов и др. // Докл. РАН. – 1988. – Т. 299, № 1. – С. 76–79.
8. Макет облачного WEB-сервиса по выделению линейных и кольцевых структур на космических изображениях / А. А. Бучнев, П. А. Ким, В. П. Пяткин, Г. И. Салов // Материалы III Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли», 13–16 сентября 2016 г. – Красноярск, 2016. – С. 7–10.

© А. А. Бучнев, В. П. Пяткин, Ф. В. Пяткин, 2017

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ЕЕ РАЗВИТИЯ

Геннадий Германович Побединский

Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, 125413, Россия, г. Москва, ул. Онежская, 26, кандидат технических наук, директор, тел. (495)456-95-80, e-mail: pobedinskiy_gg@nsdi.rosreestr.ru

Игорь Анатольевич Столяров

Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, 125413, Россия, г. Москва, ул. Онежская, 26, начальник управления геодезических исследований, тел. (495)456-93-50, e-mail: stolyarov_ia@nsdi.rosreestr.ru

Приведен анализ современного состояния единой государственной системы геодезического обеспечения территории Российской Федерации. Показаны перспективы ее дальнейшего развития.

Ключевые слова: геодезическое обеспечение, система координат, государственная геодезическая сеть, главная высотная основа, государственная гравиметрическая сеть.

MODERN STATUS OF THE STATE SYSTEM OF GEODESIC SUPPORT OF THE RUSSIAN FEDERATION AND THE MAIN DIRECTIONS OF ITS DEVELOPMENT

Gennady G. Pobedinskiy

Federal Scientific and Technical Center of Geodesy, Cartography and Spatial Data Infrastructure, 125413, Russia, Moscow, 26 Onezhskaya St., Ph. D., Director, tel. (495)456-95-80, e-mail: pobedinskiy_gg@nsdi.rosreestr.ru

Igor A. Stolyarov

Federal Scientific and Technical Center of Geodesy, Cartography and Spatial Data Infrastructure, 125413, Russia, Moscow, 26 Onezhskaya St., Head of the Department of geodetic studies, tel. (495)456-93-50, e-mail: stolyarov_ia@nsdi.rosreestr.ru

The analysis of the current state of the unified state system of geodetic support of the territory of the Russian Federation is given. The prospects of its further development are shown.

Key words: geodetic support, coordinate system, state geodetic network, main altitudinal base, state gravity network.

В соответствии с «Концепцией развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.12.2010 №2378-р, под системой геодезического обеспечения Российской Федерации понимается генеральная совокупность параметров фигуры Земли и внешнего гравитационного поля Земли, реализуемых на территории Российской Федерации через государственную координатную основу и структуру государственных сетей.

Геодезическое обеспечение Российской Федерации состоит из (рис. 1):

1. Единой государственной системы геодезического обеспечения, включающей в себя:

- а) государственные координатную, высотную и гравиметрическую основы;
- б) систему обеспечения потребителей информацией, необходимой для точного определения места положения объектов в реальном режиме времени;
- в) систему определения параметров фигуры Земли и внешнего гравитационного поля;
- г) систему мониторинга деформаций земной поверхности;
- д) систему геодезического обеспечения картографирования Антарктиды.

2. Геодезического обеспечения ведомственного, регионального и муниципального значения, в том числе и геодезического обеспечения кадастровых работ.

3. Геодезического обеспечения специального назначения, к которому относятся геодезические сети сгущения, создаваемые для решения задач инженерно-геодезических изысканий, развития городской инженерной и архитектурной инфраструктуры, для обеспечения наблюдений за смещениями зданий и сооружений, съемки подземных коммуникаций, геодезических работ при строительстве и эксплуатации промышленных объектов.

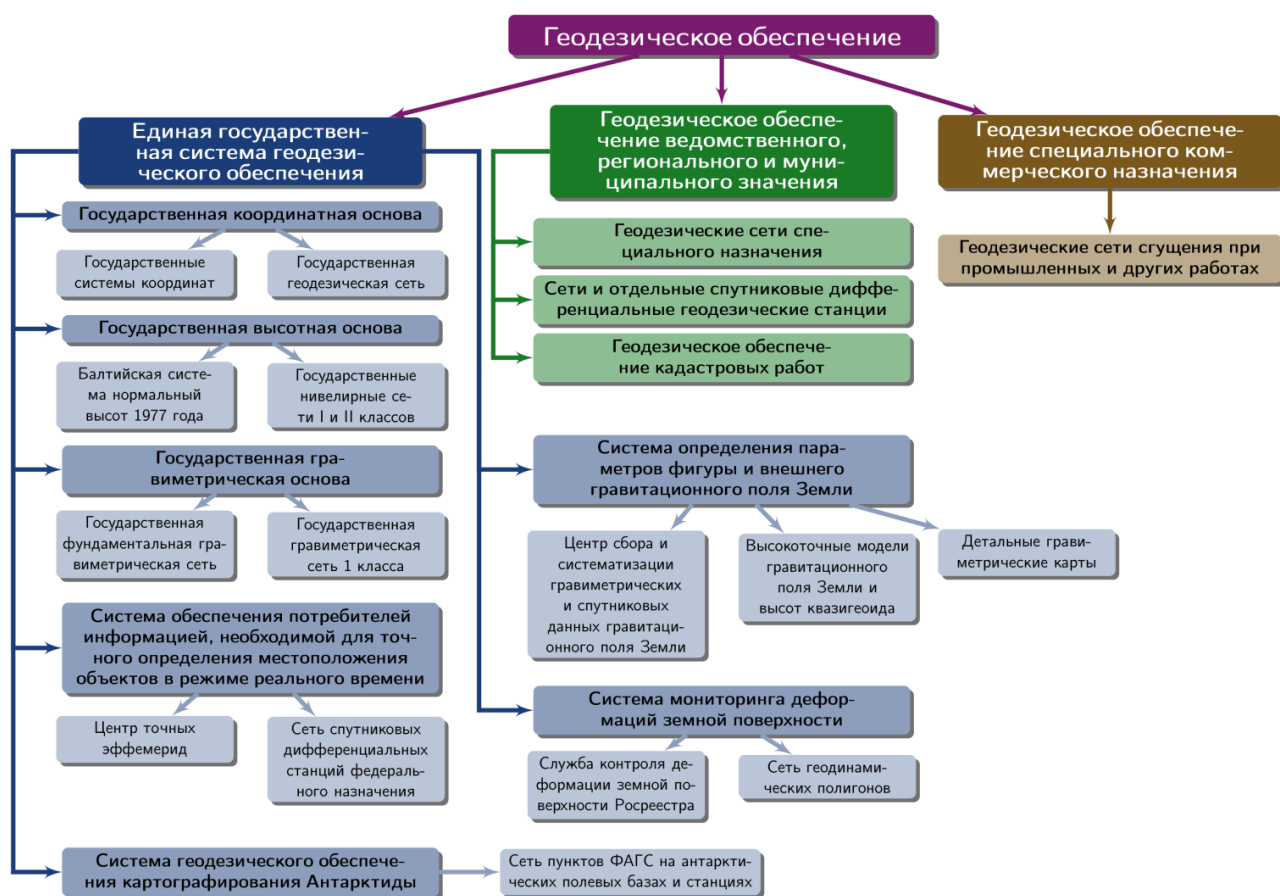


Рис. 1. Структура геодезического обеспечения Российской Федерации

Оценка современного состояния единой государственной системы геодезического обеспечения и основные направления ее дальнейшего развития характеризуются следующими показателями.

1. Государственная геодезическая система координат 2011 года

Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы» для использования при осуществлении геодезических и картографических работ установлена в качестве государственной геодезическая система координат 2011 года.

Целесообразность введения системы координат ГСК-2011, которая является геоцентрической, состояла в повышении эффективности использования спутниковых технологий координатных определений, что в свою очередь должно повысить точность и оперативность решения задач геодезического обеспечения, отвечающего современным требованиям экономики, науки и обороны страны. Кроме того, введение системы координат ГСК-2011 повысит эффективность использования системы ГЛОНАСС и осуществления мониторинга деформаций земной поверхности, что чрезвычайно важно при решении как народнохозяйственных, так и целого ряда научных задач.

Построение системы координат ГСК-2011 осуществлялось в рамках выполнения мероприятий Федеральной целевой программы «Глобальная навигационная система» в период 2002-2011 годы.

Надо сказать, что большинство высокоразвитых стран, имеющих значительные территории, принимая активное участие в международных проектах и программах по созданию единой общеземной геоцентрической системы координат, создают свои национальные (государственные) геоцентрические системы координат, оптимальным образом ориентированные на сохранение и развитие геодезического и картографического потенциала, уже созданного к этому времени (рис. 2).

Государственная геодезическая система координат Российской Федерации ГСК-2011 представляет собой геоцентрическую систему координат, отсчитываемых от центра, осей и поверхности общего земного эллипсоида. По принципам ориентировки в теле Земли ГСК-2011 идентична Международной земной опорной системе координат ITRS, установленной в соответствии с рекомендациями Международной службы вращения Земли (International Earth Rotation and Reference Systems Service – IERS) и Международной ассоциации геодезии (International Association of Geodesy – IAG).

Основные параметры системы координат ГСК-2011, ее физические и геометрические характеристики определены постановлением Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 г. № 1240 и приказом Росреестра от 23.03.2016 №П/0134 «Об утверждении геометрических и физических числовых геодезических параметров государственной геодезической системы координат 2011 года».

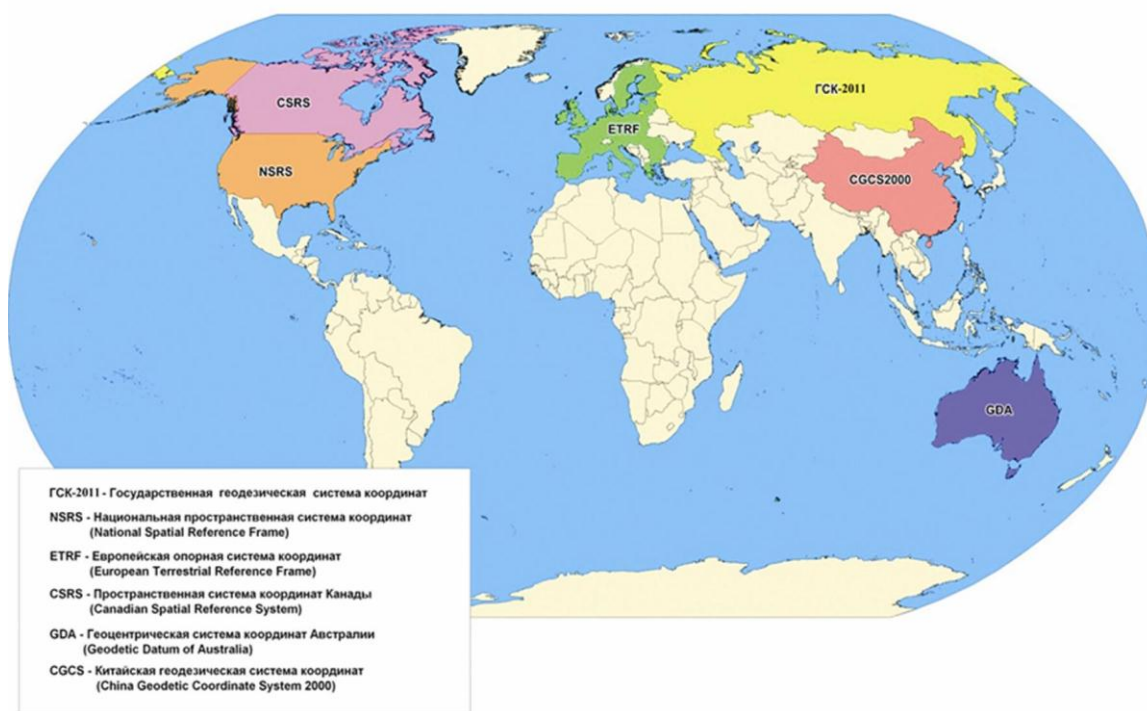


Рис. 2. Национальные системы координат стран, имеющих большие территории

Значение размеров большой полуоси отсчетного эллипсоида ГСК-2011 принято равным 6 378 136,5 метров, что соответствует принятым к настоящему времени размерам большой полуоси общего земного эллипсоида.

Неотъемлемой частью системы координат ГСК-2011 является новая отечественная глобальная модель гравитационного поля Земли ГАО-2012, которая по уровню точности и детальности не уступает современным зарубежным моделям геопотенциала EIGEN5C и EGM2008 (рис. 3).

Основу системы координат ГСК-2011 составляют государственные спутниковые геодезические сети, использованные при выводе параметров этой системы:

- сеть пунктов постоянных наблюдений ГНСС – фундаментальная астрономо-геодезическая сеть (ФАГС) (64 пункта) (рис. 4);
- сеть пунктов периодически повторяемых наблюдений ГНСС – высокоточная геодезическая сеть пунктов (ВГС) (343 пункта);
- спутниковая геодезическая сеть 1-го класса (СГС-1) (4574 пункта).

В структуру государственной геодезической сети, практически реализующих систему координат ГСК-2011 и обеспечивающих ее доступность для использования потребителями, также входят сети триангуляции, полигонометрии и трилатерации 1–4 классов (~283 000 пунктов), уравненные с опорой на пункты ФАГС, ВГС и СГС-1, что обеспечивает возможность использования в системе координат ГСК-2011 огромного количества геодезических, топографических и картографических материалов, созданных ранее на основе традиционных методов и технологий.

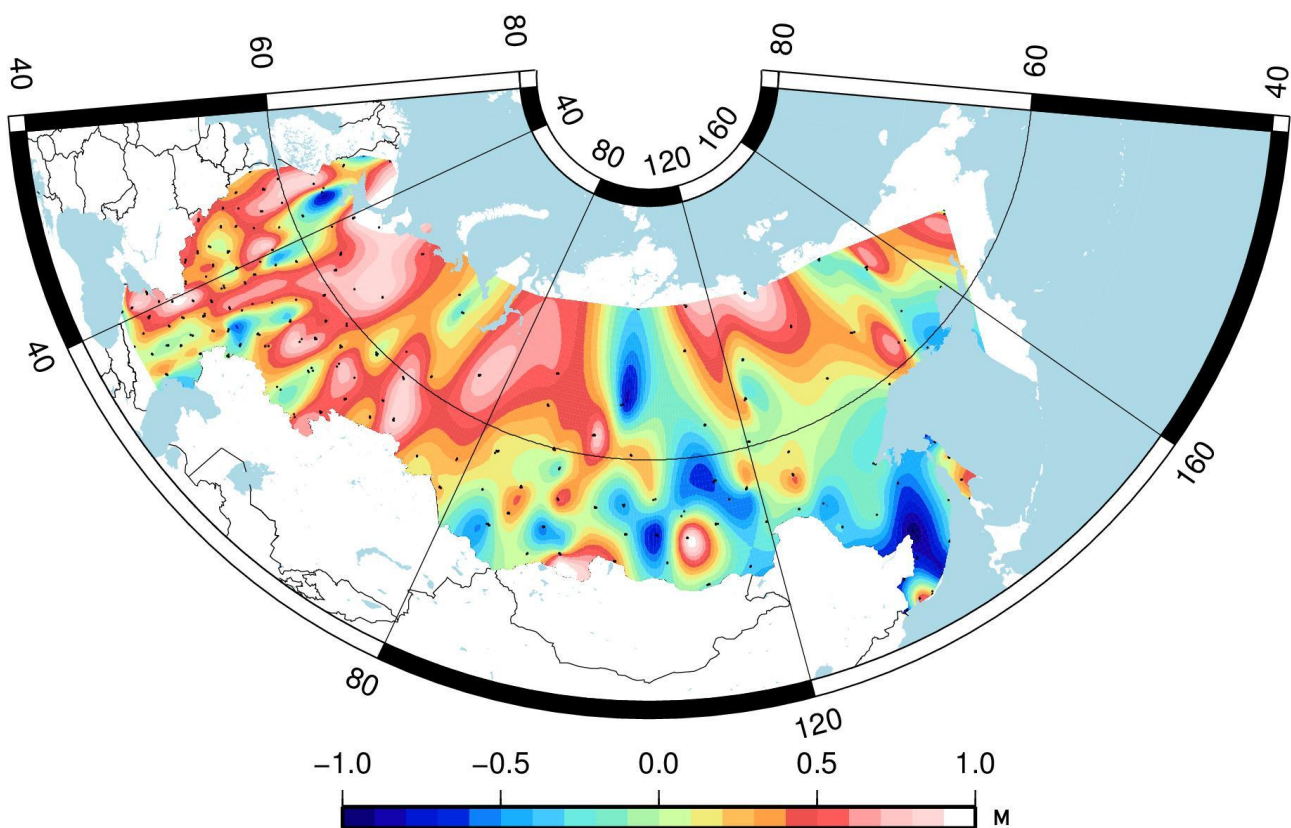


Рис. 3. Расхождения модельных высот квазигеоида для территории Российской Федерации



Рис. 4. Картограмма пунктов Росреестра государственной фундаментальной астрономо-геодезической сети

Система координат ГСК-2011 практически на порядок точнее по сравнению с СК-95 и на два порядка по сравнению с СК-42.

Дальнейшее повышение точности государственной системы координат, также как и системы высот и гравиметрических измерений, связано с необходимостью учета и прогнозирования геодинамических процессов. На современном уровне развития средств и методов геодезических измерений недостаточный учет геодинамических процессов может привести к значительным искажениям при выполнении геодезических работ в составе кадастровой деятельности, проектно-изыскательских и строительных работах, особенно на высокоскоростных магистралях и иных сооружениях большой протяженности.

Вышедшая в январе 2016 г. новая версия реализации Международной земной системы координат ITRS предназначена именно для учета геодинамических явлений, включая пост сейсмические деформации. Введение новой версии Международной земной системы координат ITRF2014 связано с тем, что в результате геодинамических явлений, таких как тектонические движения плит, землетрясения, влияние эффектов, генерируемых в атмосфере, циркуляция вод океана и влияние гидрологии суши, происходят современные движения земной поверхности.

Горизонтальные скорости движения пунктов по данным сайта ITRF2014 показаны на рис. 5.

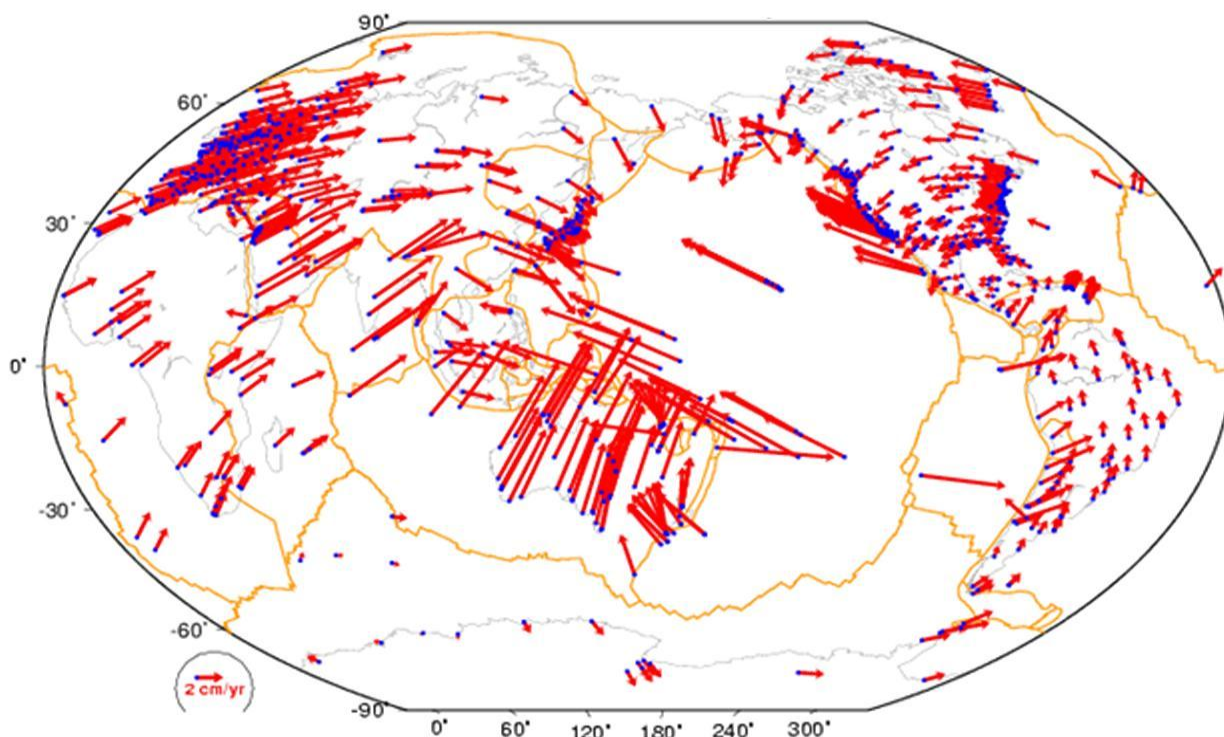


Рис. 5. Скорости движения пунктов по данным сайта ITRF2014

Развитие сети постоянно действующих пунктов ФАГС в перспективе должно вестись с учетом геотектонической структуры территории России и возможностями передачи наблюдений в единый центр обработки в режиме реального времени. С другой стороны, важным требованием к размещению пунктов ФАГС является их относительно равномерное распределение на территории России с расстоянием между пунктами в среднем порядка 500–800 км. Эти требования к размещению новых пунктов ФАГС, во-первых, обеспечат дифференцированный подход к определению скоростей изменений координат во времени для разных геотектонических структур, во-вторых, обеспечат более благоприятные условия для распространения единой системы координат и скоростей на пункты геодезических сетей более низкого уровня (прежде всего при дополнительных или периодических определениях пунктов ВГС) и в третьих, создадут более благоприятные условия для развития систем функциональных дополнений ГНСС (RTK, VRS, PPP и др.).

Увеличение числа постоянно действующих пунктов ФАГС, при условии выбора их местоположения в соответствии с геотектонической структурой, позволит, с одной стороны, более детально учитывать влияние этих региональных деформационных процессов на точность государственной системы координат, с другой стороны, регистрация региональных характеристик движения земной поверхности даст ценную информацию для анализа этих процессов их последующего моделирования и прогнозирования.

Поскольку территория России имеет сложную геотектоническую структуру, то наряду с глобальными изменениями на территории России присутствуют и региональные деформационные процессы, вызывающие движения земной поверхности.

2. Главная высотная основа Российской Федерации

На всей территории России вычисление высот производится в системе нормальных высот, где за начало отсчета принят средний уровень Балтийского моря.

Единую систему нормальных высот на всю территорию страны распространяет Главная высотная основа Российской Федерации. Главную высотную основу Российской Федерации составляют 169 замкнутых полигонов линий нивелирования I класса протяженностью линий 148 тыс. км и 860 полигонов линий нивелирования II класса протяженностью линий 173 тыс. км (см. рис. 6). Средний периметр полигона I класса для территории России составляет 1 640 км, полигоны II класса имеют периметры от 400 до 1 000 км.

На сегодняшний день государственная нивелирная сеть I класса состоит из 97 547 нивелирных пунктов, государственная нивелирная сеть II класса – из 124 931 пункта.

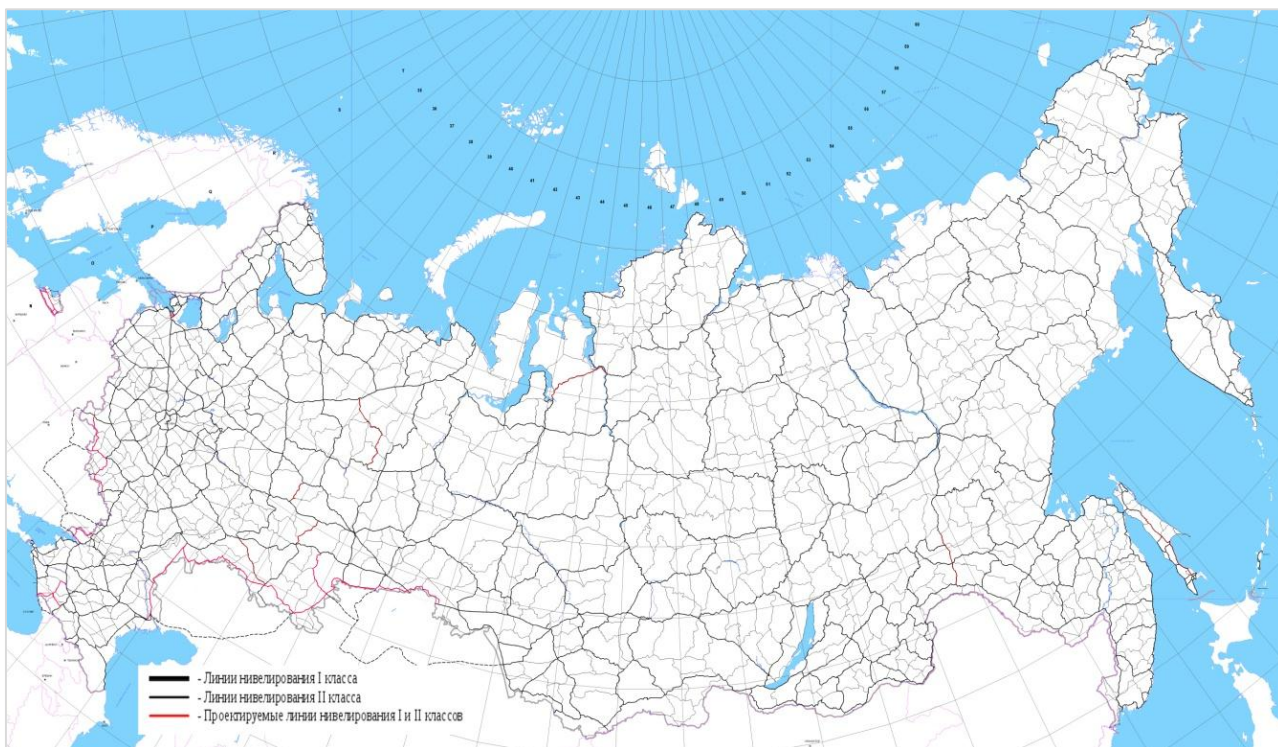


Рис. 6. Государственная нивелирная сеть I и II классов

Сейчас Росреестром в рамках работ по оптимизации и модернизации государственной нивелирной сети завершаются работы по замыканию 25 приграничных полигонов I класса и подготовки исходных данных для переуравнивания Главной высотной основы Российской Федерации и установления системы нормальных высот на новых принципах, которые были изложены в диссертационной работе выдающегося ученого-геодезиста России, профессора Г. В. Демьянова, а именно:

- система отсчета высот определяется поверхностью общего земного эллипсоида и потенциалом на поверхности этого эллипсоида, принимаемым за нормальный;
- система отсчета высот должна основываться на единой системе фундаментальных геодезических параметров Земли, которые приняты при установлении системы координат и системы измерений силы тяжести;
- систему координат и систему высот должна определять одна и та же совокупность геодезических пунктов;
- для надежного определения поправки за переход от региональной системы высот к общеземной должна использоваться достаточно густая сеть опорных пунктов, равномерно распределенная на территории, реализующей данную региональную систему высот.

Частично эти принципы уже апробированы при создании общеевропейской нивелирной сети (UELN), которой занимается с 80-х годов прошлого века Федеральное агентство по геодезии и картографии Германии в рамках реализа-

ции решений Европейской подкомиссии Международной ассоциации геодезии. Вначале в проекте участвовало 20 стран, позднее присоединились еще пять.

На рис. 7 приведены поправки в национальные нивелирные системы за переход к одной из практических реализаций этой системы, а именно EVRF2007.

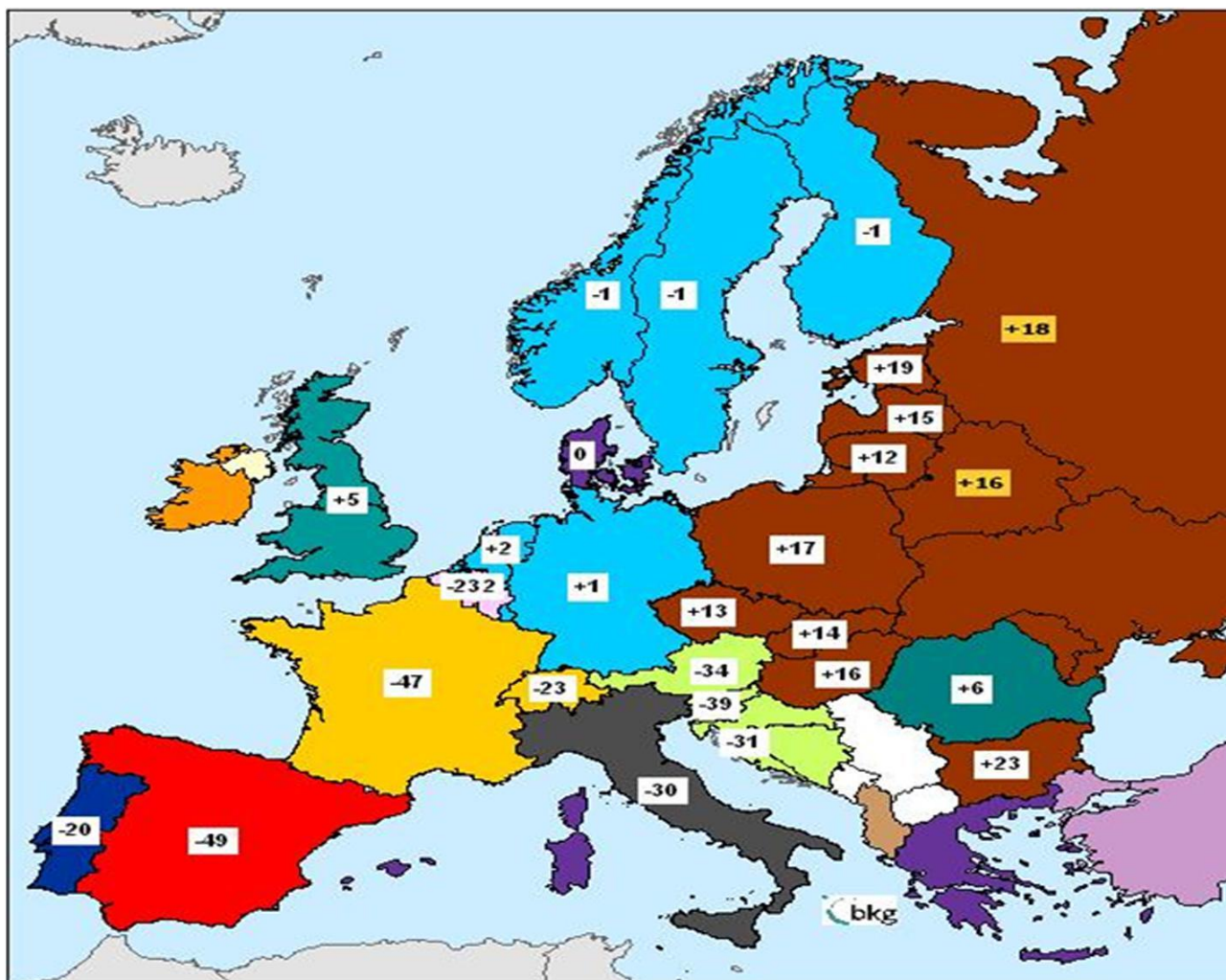


Рис. 7. Поправки в национальные системы высот при переходе к EVRF2007

Кроме того, в рамках Международной ассоциации геодезии создана рабочая группа по разработке стратегии реализации международной общеземной системы высот.

Следует также сказать и о том, что на состоявшейся 18–19 октября 2016 года в г. Кишиневе (Республика Молдова) XXXVIII сессии Межгосударственного совета по геодезии, картографии, кадастру и дистанционному зондированию Земли государств – участников Содружества Независимых Государств (СНГ) принято решение о создании Рабочей группы по системам координат и высот государств-участников СНГ, основными задачами которой являются:

- обеспечение эффективного взаимодействия и координации деятельности специалистов государств-участников СНГ в области геодезии;

- оказание помощи в развитии и поддержании национальных геодезических инфраструктур как необходимого условия создания единых геодезической системы координат и системы высот государств-участников СНГ;
- внедрение практики открытого обмена геодезическими данными и информацией о геодезических стандартах и методах в целях создания, совершенствования и использования единых геодезической системы координат и системы высот государств-участников СНГ;
- содействие разработке информационно-просветительских программ, нацеленных на повышение осведомленности широкой общественности о единых геодезической системе координат и системе высот государств-участников СНГ.

3. Государственная гравиметрическая основа

Гравиметрическую основу территории страны реализует высокоточная государственная гравиметрическая сеть, которая представляет собой совокупность закрепленных на местности и гравиметрически связанных между собой пунктов, на которых выполняются относительные или абсолютные измерения ускорения силы тяжести и осуществляется определение высот и координат этих пунктов.

В настоящее время государственная гравиметрическая сеть состоит из 71 пункта государственной фундаментальной гравиметрической сети, 54 из которых совмещены с пунктами ФАГС, и 690 основных пунктов государственной гравиметрической сети 1-го класса.

Дальнейшее развитие государственной фундаментальной гравиметрической сети с точки зрения экономии финансовых и материальных затрат планируется вести по пути совмещения ее пунктов с новыми пунктами ФАГС. Дальнейшее же развитие государственной гравиметрической сети 1-го класса не целесообразно в силу того, что она создавалась с помощью маятниковых относительных определений ускорения силы тяжести, которые в настоящее время повсеместно заменяются абсолютными высокоточными измерениями.

4. Обеспечение потребителей информацией, необходимой для точного определения места положения объектов в реальном режиме времени

В целях обеспечения потребности граждан общества и государства в геодезической информации, необходимой для определения места положения объекта в реальном режиме времени, к настоящему времени:

- 1) создан и функционирует Центр точных эфемерид Росреестра, одной из основных задач которого является вычисление точных орбитальных параметров спутников ГЛОНАСС на основе результатов наблюдений на пунктах ФАГС, а также доведение результатов вычислений до потребителей в реальном режиме времени посредством интернет-сайта центра (рис. 8);
- 2) создана и эксплуатируется на территории Российской Федерации сеть спутниковых дифференциальных геодезических станций, предназначенных для

обеспечения потребителей информацией о местоположении объектов в реальном режиме времени.

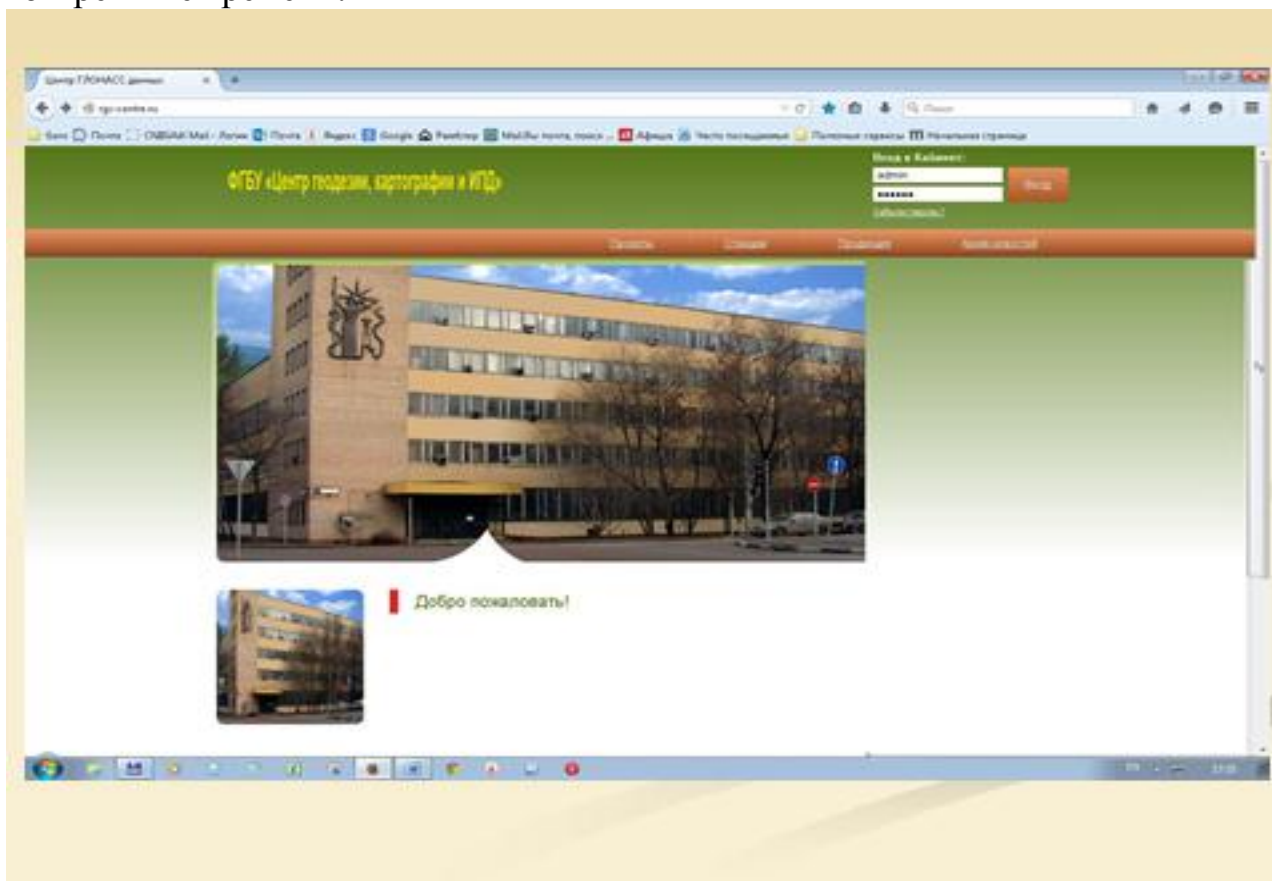


Рис. 8. Сайт Центра точных эфемерид Росреестра

В настоящий момент на территории Российской Федерации эксплуатируются порядка 1 500 спутниковых дифференциальных геодезических станций (далее – СДГС), принадлежащих как субъектам Российской Федерации, так и различным ведомственным и коммерческим организациям, что составляет всего лишь 12% от количества СДГС по требуемым нормам плотности.

На создание еще 12 500 станций потребуется 20 млрд. руб. и еще 810 млн. руб. ежегодно на их обслуживание.

В связи с этим, развитие сети спутниковых дифференциальных геодезических станций за счет бюджетных средств не целесообразно. Скорее всего, более приемлем комбинированный вариант создания интегрированной сети координатно-геодезического обеспечения деятельности кадастровых инженеров и внедрения сервисов предоставления дифференциальной информации на базе этой сети за счет объединения дифференциальных станций и сетей, созданных и создаваемых за счет средств федерального, региональных и местных бюджетов.

Для этого необходимо выполнение следующих основных мероприятий:

- разработка и принятие нормативно-правовых и нормативно-технических документов, определяющих как порядок создания и использования

СДГС и дифференциальных сетей, созданных за счет федерального, региональных и местных бюджетов, так и технические требования к ним;

- создание Центра мониторинга спутниковых дифференциальных геодезических станций (возможно на базе ФГБУ «Центр геодезии картографии и ИПД»), в состав задач которого будут входить не только функции регистрации станций и сетей дифференциальной коррекции и выдачи лицензий на право предоставления потребителям дифференциальной информации, но и функции периодического контроля правильности определения координат станций в системе координат ГСК-2011;

- разработка документов, регламентирующих порядок эксплуатации Центра мониторинга СДГС;

- создание Интернет-сервиса на сайте Росреестра с опубликованием основных сведений о станциях и сетях дифференциальной коррекции;

- создание единого реестра СДГС;

- создание системы контроля качества измерительных данных и сервисов, предоставляемых СДГС.

В настоящее время в части касающейся нормативной базы, определяющей порядок создания и использования СДГС и дифференциальных сетей и технические требования к ним, уже выполнены следующие мероприятия:

- принят и вступил в действие Федеральный закон от 22.12.2015 №431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (статья 9);

- подготовлен проект приказа Минэкономразвития России «Об установлении Порядка предоставления физическим и юридическим лицам информации, полученной с использованием сетей дифференциальных геодезических станций, созданных за счет средств федерального бюджета и бюджетов субъектов Российской Федерации»;

- подготовлен проект приказа Минэкономразвития России «Об установлении требований к программным и техническим средствам, используемым при создании сетей дифференциальных геодезических станций»;

- подготовлен проект приказа Минэкономразвития России «Об установлении требований к содержанию технического проекта геодезической сети специального назначения».

А пока в связи с отсутствием единого государственного реестра СДГС и нормативной правовой базы, требующей их обязательной регистрации, создаются различного рода некоммерческие партнерства.

Так, в августе 2014 г. было создано Некоммерческое партнерство «Операторов сетей высокоточного спутникового позиционирования» (НП «ОСВСП»). Его миссией является формирование и развитие российского рынка высокоточного спутникового позиционирования путем объединения и стимулирования российских компаний к созданию сервисов услуг и аппаратно-программных средств, удовлетворяющих требованиям потребителя, а также формирования

основы для повышения их конкурентоспособности и обеспечения импортозамещения в сфере высокоточной спутниковой навигации.

Идея создания некоммерческого партнерства родилась в результате анализа эффективности использования сетей референчных станций и возникшей необходимости оптимизации процесса формирования зон покрытия высокоточными сервисами.

НП «ОСВСП» ведет разработку сервисов, предназначенных для широкого круга пользователей, и обеспечивает:

- техническую поддержку функционирования интеграционной вычислительной платформы;
- ведение базы данных СДГС;
- техническую поддержку функционирования биллинговой системы расчетов;
- технологию обмена данными между поставщиками и потребителями информации от СДГС;
- функционирование электронной площадки для публикации информации о СДГС национальной сети высокоточного спутникового позиционирования и взаимодействия членов НП «ОСВСП» по заключению сделок между поставщиками и потребителями корректирующей информации.

В соответствии с Федеральным законом от 05.05.2014 № 99-ФЗ Некоммерческое партнерство «Операторов сетей высокоточного спутникового позиционирования» было преобразовано в Союз «Операторов сетей высокоточного спутникового позиционирования».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Демьянов Г. В. Государственные геодезические сети, современное состояние и перспективы развития // Геодезия и картография. – 2008. – № 2.
2. Инструкция по вычислению нивелировок. – М. : Недра, 1971.
3. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов, ГКИНП (ГНТА)-03-010-02. – М., 2002.
4. Инструкция по построению государственной геодезической сети, ЦНИИГАиК. – М., 2006.
5. Инструкция по построению государственной геодезической спутниковой сети, утвержденная Федеральной службой геодезии и картографии. – М., 2000.
6. Инструкция по развитию высокоточной государственной гравиметрической сети России, утвержденная приказом Роскартографии от 28.12.2003 №182-пр.
7. Концепция развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года, утвержденная распоряжением Правительства Российской Федерации от 17.12.2010 №2378-р.
8. Методические указания по построению государственных геодезических сетей с применением глобальных навигационных спутниковых систем. – М., 1997.
9. Нивелирование I и II классов (практическое руководство). – М. : Недра, 1982.
10. Плешаков И. Я., Макаренко Н. Л., Демьянов Г. В. Состояние и перспективы развития системы геодезического обеспечения страны в условиях перехода на спутниковые методы // Материалы юбилейной научно-технической конференции «Современное состояние и перспективы развития геодезии, фототопографии, картографии и геоинформационных систем», посвященная 850-летию г. Москвы (Москва, ЦНИИГАиК, сентябрь 1997 г.). Ч. 1. – М. : ЦНИИГАиК, 1998. – С. 21–30.

11. Об утверждении Положения о государственной геодезической сети и Положения о государственной нивелирной сети [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 09.04.2016 №289. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
12. Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы [Электронный ресурс] : Постановление Правительства РФ от 24.11.2016 №1240. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
13. Демьянов Г. В., Майоров А. Н., Побединский Г. Г. Проблемы непрерывного совершенствования ГГС и геоцентрической системы координат России // Геопрофи. – 2011. – № 2.
14. Пункт фундаментальной астрономо-геодезической сети (пункт ФАГС) : руководство по эксплуатации, БГЕИ.443300.003 РЭ, ЦНИИГАиК. – М., 2011.
15. Об утверждении норм плотности размещения на территории Российской Федерации геодезических пунктов государственной геодезической сети, нивелирных пунктов государственной нивелирной сети и гравиметрических пунктов государственной гравиметрической сети [Электронный ресурс] : Распоряжение Правительства РФ от 03.11.2016 № 2347-р. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
16. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Системы координат (начало) / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геопрофи. – 2013. – № 6. – С. 4–9.
17. Современное состояние и направления развития геодезического обеспечения РФ. Высотное и гравиметрическое обеспечение (окончание) / В. П. Горобец, Г. В. Демьянов, А. Н. Майоров, Г. Г. Побединский // Геопрофи. – 2014. – № 1. – С. 5–11.
18. О геодезии, картографии и пространственных данных [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

© Г. Г. Побединский, И. А. Столяров, 2017

ТРЕБОВАНИЯ К ГЕОДЕЗИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ СТРОИТЕЛЬСТВА В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Иржи Лехнер

Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии, Чешская Республика, пгт. Здибы, Устецка, 98, 250 66, кандидат технических наук, начальник отдела метрологии и инженерной геодезии, тел. (420)603-509-136, e-mail: Jiri.Lechner@vugtk.cz

Описаны требования на проведение геодезических работ в строительстве с точки зрения стандартизации, метрологии и внедрения новых технологий в Чешской Республике. Перечислены геодезические эталоны и пример применения измерительной гидростатической системы на атомной электростанции «Темелин».

Ключевые слова: геодезические измерения, строительство, стандартизация, техническая нормализация, метрология, чешские технические нормы, измерение осадок.

ENGINEERING SURVEYING REQUIREMENTS FOR CONSTRUCTION IN THE CZECH REPUBLIC

Jiri Lechner

Research Institute of Geodesy, Topography and Cartography, Czech Republic, Zdiby, Ústecká, 98, 250 66, Head of Metrology and Surveying Engineering Department, tel. (420)603-509-136, e-mail: Jiri.Lechner@vugtk.cz

The implementation requirements of engineering surveying for construction in regards to standardization, metrology and application of new technologies in the Czech Republic are described. Geodetic standards are listed and an example of using the measuring hydrostatic leveling system at the Temelin nuclear power plant is given.

Key words: surveying, construction, standardization, engineering standardization, metrology, Czech technical standards, deformation monitoring.

Введение

Выполнение инженерно-геодезических работ в рамках инвестиционной деятельности в строительстве регламентируется соответствующим законодательством Чешской Республики – ЧР (Законы о строительстве, геодезии и картографии, уполномоченных инженерах и техниках, работающих в строительстве, правительственные постановления, руководящие технические указания ведомств – далее Указания, технические стандарты и т. п.).

В Законе о геодезии и картографии и Указаниях по их введению в действие установлены виды картографо-геодезической деятельности, которые должны быть заверены уполномоченным инженером-геодезистом. Перечисленные в Законе виды картографо-геодезической деятельности могут выполнять только квалифицированные лица, которыми являются:

1. Физические лица со среднетехническим образованием геодезического направления;

2. Физические лица с высшим образованием геодезического направления.

Результаты картографо-геодезической деятельности, используемые в государственных интересах органами геодезии, картографии и кадастра, должны быть представлены в заданных геодезических системах координат. К таким системам относятся «Система единой тригонометрической кадастровой сети (S-JTSK)» и «Балтийская система высот (Bpv)».

Важной предпосылкой для успешных измерений является использование измерительных приборов, которые отвечают требованиям специального юридического предписания – Закона о метрологии (Закон ЧР № 505/1990 Сб. с последующими изменениями и дополнениями).

Существует ряд проблем, связанных с проведением инженерно-геодезических работ в строительстве.

В процессе строительства (при принятии решений строительными управлениями, например, по проектной документации) часто остается неясным, где на местности проходит граница земельного участка, поэтому не соблюдается ширина полосы отчуждения под строительство, т.е. происходит захват части земельного участка, принадлежащего другому собственнику. Чтобы защитить и не нарушить права собственника на недвижимость, перед таким захватом в рамках строительного закона предлагается выполнить квалифицированный вынос в натуру границы таких земельных участков и всех расположенных на них зданий и построек.

При территориальном или строительном администрировании, в частности, во время реализации жилых строений, постоянной проблемой является надежность, единообразие и доступность документации залегания подземных инженерных сетей в целях их охраны. Составной частью большинства строительных администрирований, ведущих к выдаче разрешений на строительство, является обязательная выписка из технической документации всех организаций, отвечающих за эксплуатацию подземных инженерных сетей. Оптимальным, но удаленным, решением может быть создание *кадастра подземных инженерных сетей, подземных сооружений и других коммуникаций*, так как процесс выяснения наличия и прохождения подземных инженерных сетей во время строительства является весьма трудоемким, поэтому бы было целесообразным ускорить процесс и сделать его эффективным.

Открытое использование пространственных данных во всех заинтересованных министерствах, в органах местного самоуправления и в частной сфере возможно только на основе наличия качественной, актуальной и доступной инфраструктуры пространственных данных. Доступность и качество геодезической основы и документации позволят повысить и качество проектной подготовки территории, ее развития, и общую эффективность всех подобных работ.

Существует социальный заказ и потребность большинства государственных и местных органов власти иметь качественную *«подоснову для принятия решений о территории»*. Такая подоснова должна включать пространственное положение прохождения границ землевладений и доступную достоверную информацию о собственности на данной территории, например, связанную с либерализа-

цией арендной платы (ценовая карта), а также цифровые карты государственного управления, как например, действующая *«Единая цифровая карта Праги»*.

Внедрение метода BIM

В наше время ускоренными темпами меняются требования к геодезическим работам для целевого картографирования и строительства. Основной причиной этого является постепенное внедрение 3D изображения строительных объектов и новый метод работы с информацией, когда одновременно создается модель и чертежи строительства методом BIM. Изменение методов работы привело к тесному сотрудничеству всех задействованных на строительстве инженерно-технических работников с геодезистами, роль, которых стала решающей. Все проектные и строительные работы осуществляются по одной 3D-модели здания, где каждый участник выполняет свою задачу и вносит в данную модель свои данные, которые используются всеми участниками строительства в качестве *«подосновы для принятия решений о территории»*.

Проблематика строительных процессов остается той же, только изменилась задача геодезистов в процессе строительства, которая состоит в получении исходных геодезических данных, выносе частей строящегося объекта в натуру, в контроле его геометрических параметров и, в конечном счете, в фиксации действительной реализации строительства и создании завершающей документации законченного строительства.

Основной задачей геодезистов является создание цифровой модели местности с границами участков, определенными со среднеквадратичным отклонением в плане $\sigma_{xy} = 0,14$ м и $\sigma_h = 0,12$ м по высоте и точнее. Для реализации проекта используются методы BIM и 3D-программные средства, дополняя модель проекта геодезическими данными для проведения последующих разбивочных геодезических работ. При этом, рекомендуется проводить контроль пространственной точности текущей модели BIM в соответствии со стандартами ISO, обновлять измеренные значения и, главное, сотрудничать с проектировщиками.

Организация труда методом BIM требует гораздо более тесного сотрудничества инженерно-технических работников, постоянное использование цифровых данных в системе клиент-сервер, более высокую точность работ, соблюдение терминов и пространственной точности объектов, устранение ошибок, выполнение соответствующих решений руководства строительства. Без необходимой квалификации геодезистов при применении существующих геодезических технологий невозможно успешное внедрение новой BIM-технологии.

Обеспечение требований к качеству, геометрической точности и их контроль

Основными принципами, органически связанными с деятельностью геодезистов в народном хозяйстве, стали поддержка предпринимательства и защита общественных интересов в договорных отношениях (в большинстве случаев защита потребителей), в том числе в условиях глобальной экономики. Это относится как к работам в интересах общества, так и к работам в собственных ин-

тересах и в рамках деятельности государственных организаций, юридических и физических лиц.

Задачи метрологии по обеспечению качества геодезических работ

С точки зрения законодательства задачи метрологии решены в юридических предписаниях (Закон о метрологии с тремя Указаниями по внедрению его положений, постановления правительства и рядом технических предписаний – стандартов).

Требования к качеству геодезических работ регламентированы в следующих чешских технических стандартах:

- ČSN EN ISO ряда 9000 и связанные с ними предписания;
- ČSN ISO ряда 17123 и ряда 8322.

В системе Чешского управления землеустройства (геодезического + картографического) и кадастра используются три геометрические и один физический параметры – длина, угол, трехмерное положение, ускорение силы тяжести. Для метрологического контроля этих параметров были созданы следующие эталоны:

1. Государственный эталон ускорения силы тяжести – абсолютный гравиметр FG5 № 215 производства фирмы Micro-g Solutions (USA), который расположен в Геодезической обсерватории (ПО) «Пецны» (пгт. Ондржейов). Кодовое обозначение ECM 120-3/08-040. Точность $2 \cdot 10^{-9} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$.

2. Государственный эталон больших длин «Коштице» (район Лоуны), состоящий из геодезического базиса-компаратора «Коштице» и электронного тахеометра Leica TCA 2003 № 440056. Кодовое обозначение ECM 110-13/08-041. Точность: лабораторная $u = Q(0.001; 0.04 \cdot L[\text{м}]) \text{ мкм}$, полевая $u = Q(0.05; 0,50 \cdot L_{[\text{км}]}) \text{ мм}$.

3. Референционный эталон пространственного положения ЧР, расположенный на территории филиала ГО «Пецны» – «Скалка» в поселке Костелни-Стржимелице. Кодовое обозначение ECR 110-14 (21.05.2009 г.). С помощью данного эталона обеспечивается метрологическая непрерывность и калибровка оборудования GNSS (GPS, GLONASS и Galileo). Точность 0,3 мм.

4. Азимутальный (угловой) эталон – полевой эталон «Жидовске-пеце» (г. Прага). Точность 0,3 мгон.



Рис. 1–4. Эталоны: абсолютный гравиметр, азимутальный, больших длин и пространственного положения (проверки приборов GNSS)

Предполагается дальнейшее усовершенствование этих эталонов, обслуживающихся и используемых Научно-исследовательским институтом геодезии, топографии и картографии (VÚGTK), для того, чтобы они могли выполнять свою роль при обеспечении метрологической непрерывности геометрического или физического параметра собственных измерительных приборов в связи с требуемой точностью применяемой технологии.

За последние пять лет отмечается массовое развитие технологий, основанных на *лазерных сканируемых системах*, для которых также необходимо обеспечить метрологическую непрерывность. Имеется множество сканируемых систем и программное обеспечение для обработки облаков точек и последующих измерений. Обычно они представлены как универсальные системы, однако их универсальность имеет свои границы, которые зависят от конструктивных или физических ограничений. Из-за этого потенциальный заказчик и впоследствии пользователь должны иметь возможность выбора для конкретных видов работ соответствующего сканера и программного обеспечения для обработки результатов измерений. Поэтому желательно, чтобы была решена проблема метрологической непрерывности для данного типа измерительных приборов.

Задача технической нормализации и стандартизации при обеспечении качества геодезических работ

Чешские технические стандарты для контроля геометрической точности в строительстве можно разделить на следующие блоки: терминологический, по выбору геометрической точности, реализации процессов и измерениям, контролю и оценке точности геометрических параметров. Это в основном стандарты ряда 73 04 и ČSN ISO ряда 4463. В настоящее время происходит включение в систему чешских стандартов еще 140 стандартов ČSN EN ряда 73 (так называемые «еврокоды») из области проектирования, реализации, точности и статистики.

Разработаны стандарты для выбора геометрической точности, процессов реализации, а также для измерения, контроля и оценки геометрических параметров, согласно которым можно отдельно регламентировать пространственное положение, размеры и форму, т.е. они содержат допустимые отклонения положения главных, характерных и детальных точек. Понятно, что величины допустимых отклонений зависят от типа конструкции сооружения и других характеристик процесса строительства.

Важной группой стандартов, необходимых для достижения *интероперативности* пространственных данных и *гармонизации*, является ряд ISO 19100 – *Географическая информация*. Европейским комитетом по стандартизации CEN эти стандарты признаются как европейские, поэтому они включены в систему чешских стандартов ČSN как ČSN EN ISO или ČSN ISO. Их также признают в таких общеевропейских проектах, как INSPIRE, EuroRegionalMap и других. Отрасли геодезии, картографии и кадастра недвижимости непосредственно пользуются стандартами ČSN EN ISO: 19111, 19112, 19114 (*Порядок оценки качества*), 19115 (*Метаданные*), 19116, 19117, 19119, ČSN EN 19128 и предварительный терминологический стандарт ČSN P ISO/TS 19104 – *Географическая информация – терминология*.

Чешские технические стандарты обязательны только в тех случаях, если они перечислены в законодательных актах или контрактах. В прошлом обязательность их соблюдения была установлена указаниями по внедрению положений Закона о геодезии и картографии.

Современная деятельность в этой области связана с публикацией конкретных стандартов в *«Вестнике Управления по технической стандартизации, метрологии и государственным испытаниям»* (далее *«Вестник УТСМГИ»*). В случае, если они там не опубликованы, то проблема будет решена путем прямой ссылки на новеллы указаний по внедрению Закона о геодезии и картографии и нового кадастрового закона. Встречным шагом к профессиональному сообществу могла бы быть публикация актуального перечня стандартов и стандартов, цитированных в законодательных актах на сайте Чешского землемерного и кадастрового управления. Нет сомнения в том, что это поможет повысить качество геодезических работ с возможностью их применения на всей территории ЕС и передачи комплектов пространственных данных в INSPIRE и другие общеевропейские проекты.

Международные обязательства ЧР в области технических стандартов включают в себя требование – в течение шести месяцев после публикации технического стандарта в ЕС (EN) принять его в систему ČSN (обычно переводом на чешский язык). Ряд других обязательств ЧР возникают, в частности, при реализации Директивы INSPIRE в виде предоставления комплектов пространственных данных со всей территории страны в форматах, позволяющих их общеевропейскую гармонизацию.

Применение технических стандартов в ЧР основано на принципе добровольности. Это также соответствует действующему национальному законодательству, которое предусматривает, что «Чешский технический стандарт не является обязательным» (см § 4 п. 1 Закона № 22/1997 Сб.). Соответствие техническим стандартам должно быть одним из способов выполнения установленных требований, и этот технический стандарт должен быть техническим выражением общих правовых требований, которые могут быть удовлетворены и другими средствами. Добровольный характер применения технических стандартов позволяет получить передовые технические решения, независимо от различного технического уровня участников рынка. С другой стороны, соответствие техническим стандартам может стать условием договорных обязательств в коммерческих контрактах между поставщиком и заказчиком, но в таких случаях речь идет уже о частных договорных отношениях.

Вопросами, относящимися к техническим стандартам, также подробно занимался Конституционный Суд ЧР (КС ЧР). В его решении говорится, что чешские технические стандарты представляют собой особый вид стандартов, которые регулируют специфические требования, включающие техническое описание параметров продукта, конструкции, материалов. Технические стандарты, по мнению КС ЧР содержат информацию об общепризнанных технических решениях, основных правовых требованиях к безопасности конструкции, материалах, санитарии, охране здоровья и окружающей среды. Технические стандарты охватывают почти все сферы человеческой деятельности.

Из цитируемого выше решения КС ЧР следует, что чешские технические стандарты не являются обязательными. Они рассматриваются как квалифицированные рекомендации (не приказы) и их использование возможно только на добровольной основе.

Гармонизированные стандарты

Среди ČSN являются незаменимыми стандарты, гармонизированные и обязательные, т.е. опубликованные в «*Вестнике УТСМГИ*». Стандарт ČSN становится гармонизированным чешским техническим стандартом, если включает в себя все требования европейского стандарта или согласованного документа, признанного Европейским сообществом в качестве гармонизированного европейского стандарта или европейского стандарта, установленного в качестве гармонизированного в соответствии с законодательством Европейского сообщества по взаимному согласию нотифицированных субъектов.

В ЧР вопрос мониторинга смещений (вертикальных деформаций) строящихся объектов с технологической и законодательной точки зрения регламентирован чешским техническим стандартом (носящим рекомендательный характер) ČSN 73 0405 «*Измерение смещений строительных сооружений*». Стандарт устанавливает требования к измерениям отклонений в положении и форме (смещений и деформаций) зданий и их частей от положения и формы зданий на основном или предшествующем этапе измерений, вызванных деформациями грунта под зданием и вокруг него в результате строительной или иной деятельности, а также статическими, динамическими и сейсмическими нагрузками или другими воздействиями на здание.

Для каждого сооружения, на котором будут производиться измерения, необходимо составить проект измерений с указанием целей и методов, определения величин предполагаемых смещений и необходимой точности их измерений с априорным анализом, выбрать обоснованный способ стабилизации точек, разработать временной план измерений и т. д.

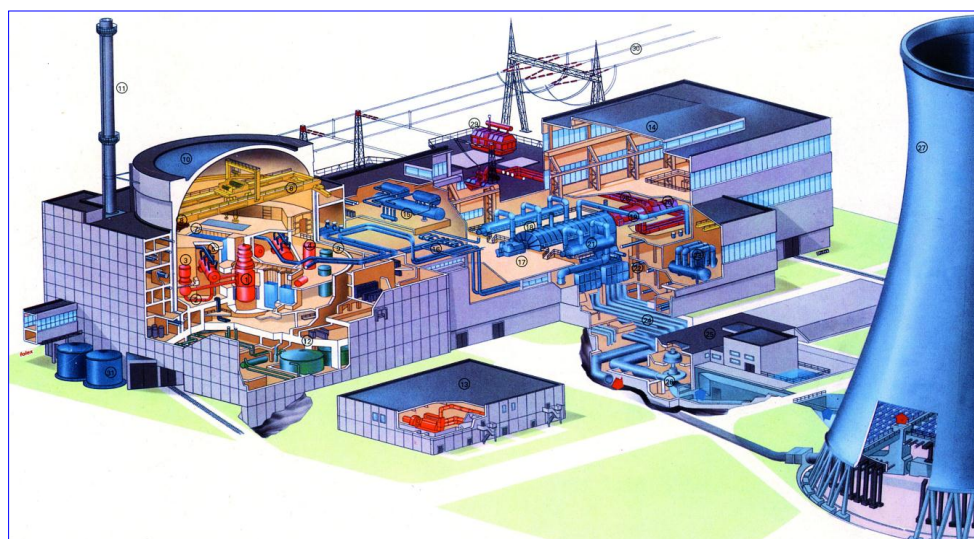


Рис. 5. Общая схема АЭС Темелин

Атомная электростанция Темелин относится к уникальным инженерным сооружениям, где были применены новые технические и конструктивные решения и использованы новые технологии строительства.

Точность измерений

Точность измерения смещений зданий характеризуется допустимым значением определения длины результирующего вектора смещения или его составляющих.

Допустимая величина определяется по формуле (1):

$$\delta_1 \leq 2 / 15 p, \quad (1)$$

где p – ожидаемое суммарное смещение или его составляющая в мм.

Для устройств с высокими требованиями к их стабильности, надежности, безопасности и экономичности эксплуатации, допустимая величина δ устанавливается индивидуально, на $1/3$ точнее.

Допустимое значение измеряемых смещений уже эксплуатируемых сооружений, находящихся в районе строительной деятельности, не должно превышать:

$$\delta_2 \leq 2 / 5 p_k, \quad (2)$$

где p_k – критическое значение смещения в мм, при котором возникает угроза разрушения следуемого объекта.

Стационарная автоматизированная гидростатическая измерительная система

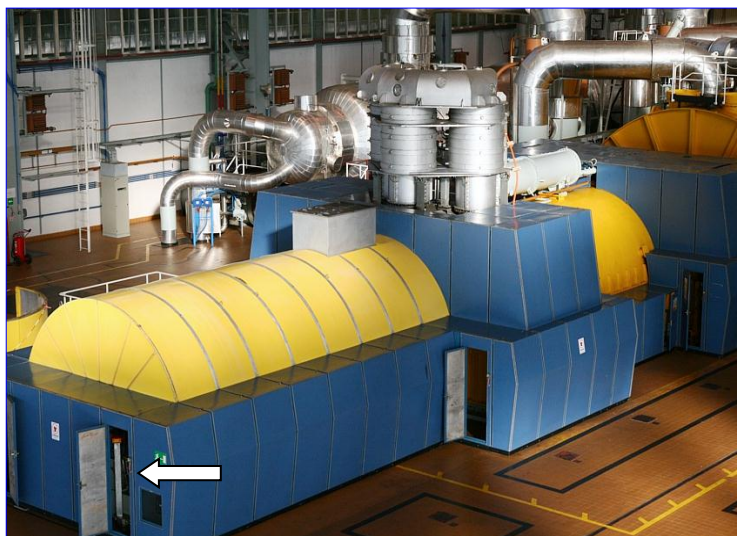


Рис. 6. Расположение датчика INVA (показано стрелкой) на уровне +15,00 м машинного отделения

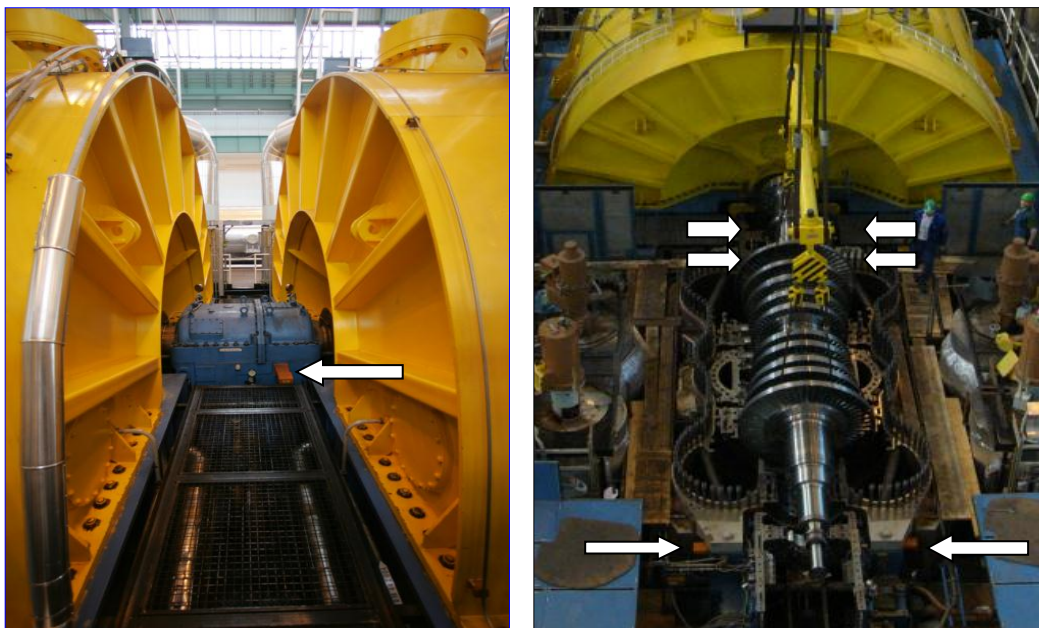


Рис. 7. Расположение датчиков INVA в области подшипников на турбогенераторе

Научно-исследовательский институт геодезии, топографии и картографии (VÚGTK) в сотрудничестве с другими организациями разработали измерительные датчики HYNÍ и INVA, точность которых характеризуется стандартным отклонением измерения высоты в пределах всей системы измерения (до 100 м) $\sigma \leq \pm 0,05$ мм. Данная точность определена на основе требований к стабильности технологического оборудования (по высоте) и конструкции машинного отделения вместе с расположенными там турбогенератором мощностью 500 и 1 000 МВт и фундаментной плиты здания реактора.

Важной особенностью измерительной системы является непрерывность измерений без вмешательства оператора. Запись данных осуществляется в заранее установленные промежутки времени, при этом измеряемые величины могут быть в любое время просмотрены без прерывания процесса измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pracovní úplné znění zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky – účinné od 15. 4. 2016 / Электронный источник: <http://www.unmz.cz/test/pracovni-uplne-zneni-zakona-c-22-1997-sb-o-technicky-pozadavcich-na-vyrobky>.
2. ČSN 73 0405 (730405). Měření posunů stavebních objektů (Измерение смещений строительных сооружений) / Разработал: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Ing. Jiří Lechner, CSc. – Účinnost od 1.01.1998. – Praha, 1997. – 12 s. / Электронный источник: <http://www.unmz.cz/>
3. ČSN 73 0415 (730415). Geodetické body (Геодезические пункты) / Разработал: Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický, Ing. Josef Pražák, Ing. Jiří Lechner, CSc. – Účinnost od 1.11.2010. – Praha, 2010. – 16 s. / Электронный источник: <http://www.unmz.cz/>

© И. Лехнер, 2017

ЦИФРОВАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИБИРЬ И АРКТИКА

Сергей Игоревич Кабанихин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, директор, тел. (383)330-83-53, e-mail: director@sscc.ru

Елена Николаевна Голубева

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)330-64-50, e-mail: elen@ommfao.sccc.ru

Владимир Николаевич Крупчатников

Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, 630099, Россия, г. Новосибирск, Советская, 30, доктор физико-математических наук, зав. отделом, тел. (383)222-25-30, e-mail: vkрупchatnikov@yandex.ru

Анатолий Александрович Леженин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-64-50, e-mail: lezhenin@ommfao.sccc.ru

Алексей Владимирович Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-61-52, e-mail: a.penenko@yandex.ru

Владимир Викторович Пененко

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, профессор, зав. лабораторией, тел. (383)330-61-52, e-mail: penenko@sscc.ru

Геннадий Алексеевич Платов

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 6, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (383)330-64-50, e-mail: plat@ommfao.sccc.ru

В докладе представлен обзор исследований, выполняемых в ИВМиМГ СО РАН по разработке математических моделей и технологии для решения проблем интенсивного развития Сибири и освоения Арктического бассейна как стратегически важных регионов Российской Федерации.

Ключевые слова: Арктика, Сибирь, математическое моделирование, динамика атмосферы и океана, климат, охрана окружающей среды, умный город.

SMART DIGITAL SIBERIA AND THE ARCTIC

Sergey I. Kabanikhin

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, RAS Corresponding member, D. Sc., Professor, Director, tel. (383)330-83-53, e-mail: director@sscc.ru

Elena N. Golubeva

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, D. Sc., leading scientist, tel. (383)330-64-50, e-mail: elen@ommfao.sccc.ru

Vladimir N. Krupchatnikov

Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute, 630009, Russia, Novosibirsk, 30 Sovetskaya St., D. Sc., Head of division, tel. (383)222-25-30, e-mail: vkrupchatnikov@yandex.ru

Anatoly A. Lezhenin

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, Ph. D., senior researcher, tel. (383)330-64-50, e-mail: lezhenin@ommfao.sccc.ru

Alexey V. Penenko

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, Ph. D., senior researcher, tel. (383)330-61-52, e-mail: a.penenko@yandex.ru

Vladimir V. Penenko

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, D. Sc., Professor, Head of laboratory, tel. (383)330-61-52, e-mail: penenko@sscc.ru

Gennady A. Platov

Institute of the Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 6 Akademik Lavrentiev Prospect, D. Sc., leading scientist, tel. (383)330-64-50, e-mail: plat@ommfao.sccc.ru

The paper presents an overview of research performed in ICM&MG SB RAS in the development of mathematical models and technology to solve problems of intensive development of Siberia and the Arctic basin as strategically important regions of the Russian Federation.

Key words: The Arctic, Siberia, mathematical modeling, dynamics of atmosphere and ocean, climate, environmental protection, smart city.

Для России, самой большой в мире по территории северной приполярной арктической страны, проблема изучения климата Арктики в целом и Северного Ледовитого океана в частности имеет особое значение. Учитывая то, что изменение климата может сделать транспортные маршруты (включая Северный морской путь) и природные ресурсы этого региона доступнее, перспективы резкого повышения роли Арктики для экономического развития несомненны. В настоящее время вопрос о физических процессах, формирующих наблюдаемое состояние воды и морского льда, и их изменениях в Северном Ледовитом океане (СЛО), остается в значительной степени открытым, что объясняется труднодоступностью региона. В течение двух десятилетий общепризнано, что для исследования климата Земли и его изменчивости необходимо развитие и применение математических моделей климатической системы и ее компонентов. На основе численных моделей возможны постановка и проведение расче-

тов, объясняющих поведение климатической системы в прошлом и возможные будущие сценарии ее эволюции.

Сибирские регионы играют ключевую роль в развитии промышленного и интеллектуального потенциала страны. Они являются источником природных ресурсов, добычу которых приходится осуществлять в сложных природно-климатических условиях. Поэтому в ИВМиМГ СО РАН ведется также разработка математических моделей и методов для решения задач природоохранного направления. Их актуальность и масштабность вытекают из потребностей общества в согласовании интенсивности хозяйственного развития регионов и обеспечения проживания в экологически комфортной среде обитания. Математические модели процессов, протекающих в окружающей среде, будут все более востребованы для оценок экологических перспектив, как отдельных природных и промышленных объектов, так и целых регионов. Особое внимание следует уделять исследованию природных и техногенных катастроф с целью поиска путей их прогнозирования и снижения причиняемого ими ущерба.

Специализированные исследования (геофизика, атмосфера и океан, экономика, транспорт, социальные процессы) предполагается консолидировать в рамках концепций «умная планета» и «умная территория». Интегрирующим ядром, объединяющим эти многоплановые исследования, служит система Full 4D визуализации ITRIS (рис. 1) [1], разработанная в отделе математических задач геофизики ИВМиМГ СО РАН при содействии компаний Warmerg и Геосистема.

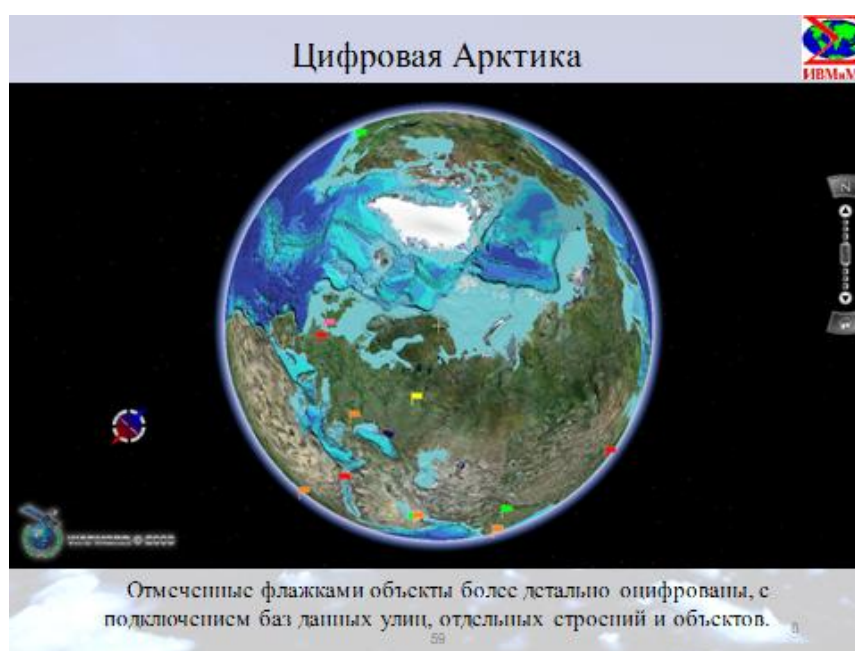


Рис. 1. Экран системы Full 4D визуализации ITRIS

Система построена на принципах ГИС-технологий и обеспечивает эффективное взаимодействие с электронными картами, данными наблюдений и математическими моделями различных природных, биологических и соци-

альных процессов. Система снабжена развитой картографической поддержкой, обеспечивающей различные уровни визуализации, от глобального (весь земной шар) до локального (уровень района или отдельного здания). В эту систему уже включены базы данных по природным катастрофам (землетрясения, цунами, вулканы), она позволяет оперативно встраивать новые данные мониторинга различных процессов.

Одной из главных особенностей системы является возможность быстрого перехода с одного масштаба на другой и online визуализация разномасштабных временных процессов: обвалы, взрывы, землетрясения, перемещение тектонических плит, климатические вариации в течение столетий, тысячелетий и десятков миллионов лет. Особо следует подчеркнуть, что эта система является отечественной разработкой и позволит в дальнейшем значительно сократить закупки дорогостоящих зарубежных аналогов, к внутреннему содержанию которых российские пользователи не имеют, и никогда не будут иметь, доступа.

В ИВМиМГ СО РАН разработан комплекс численных моделей: Северного Ледовитого океана и Северной Атлантики, шельфовой зоны арктических морей, осадочного слоя морского дна в условиях поддонной многолетней мерзлоты, алгоритмов усвоения данных наблюдений и анализа результатов моделирования. Разработанный комплекс предназначен для исследования состояния водных масс и морского льда Северного Ледовитого океана, особенностей циркуляции шельфовых морей, описания механизмов взаимодействия вод суши и морей Восточно-Сибирского сектора Арктики. В настоящий момент решаются следующие задачи:

- Воспроизведение климатической изменчивости вод и морского льда на основе численной модели Северной Атлантики и Северного Ледовитого океана. Выявление физических механизмов основных процессов и их пространственно-временных масштабов, формирующих современное состояние вод и морского льда СЛО и его возможных будущих изменений.

- Изучение механизмов, влияющих на формирование термохалинной структуры вод Восточно-Сибирского шельфа, выявления роли речного стока в этих процессах; исследование взаимодействия морских и речных вод и исследование их изменчивости при вариациях глобальных климатических параметров.

- Изучение динамики толщи субаквальных мерзлых пород и зоны стабильности гидратов метана в осадочном слое Восточно-Сибирского шельфа, оценка масштабов возможной эмиссии метана в атмосферу на шельфе морей восточной Арктики с учетом процессов диффузионного транспорта газа из донных отложений.

Развиваемая в ИВММГ совместная модель климатической системы Арктики представляет собой набор параллельно работающих и взаимодействующих модулей, ответственных за различные компоненты климатической системы. В настоящее время таковыми являются модули: атмосферный, циркуляции океана, термодинамики и дрейфа льда. Кроме того, программный комплекс включает отдельный модуль обеспечивающий синхронизацию и взаимодействие

различных компонент. Было проведено моделирование климатической системы на срок 10 лет. Начальное состояние атмосферы было получено в предыдущих сценарных экспериментах с полным вариантом модели.

Проводимые на основе использования данных реанализа атмосферы модельные расчеты воспроизводят основные климатические изменения, происходившие в СЛО в последнее десятилетие [2, 3]. Наиболее ярким среди них является резкое сокращение летней площади морского льда, сокращение объема многолетнего льда и переход к доминированию сезонного льда над многолетним (рис. 2). Распределение льда в Арктике, представленное на рис. 2, согласуется с имеющимися представлениями о протяженности ледового поля.

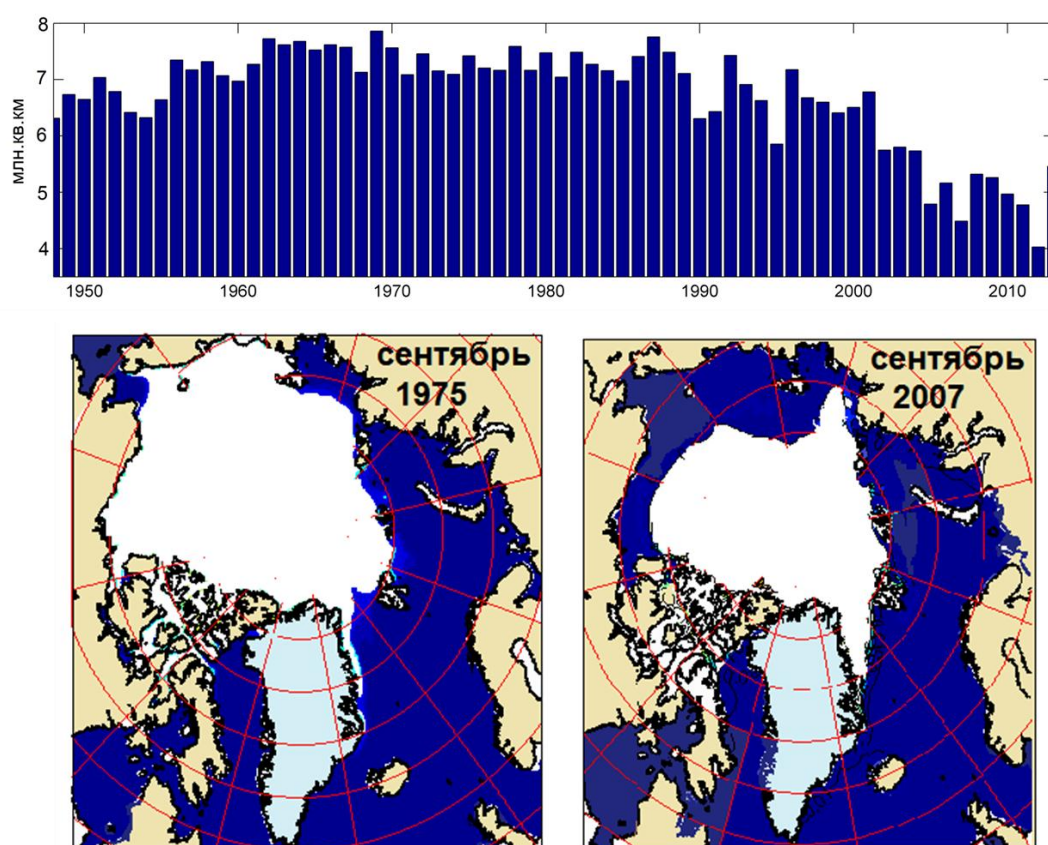


Рис. 2. Сокращение летней площади льда в Северном Ледовитом океане: временной ряд летней (сентябрь) площади льда в период 1948–2013 гг. (верхний рисунок); пространственное распределение кромки льда (нижний рисунок). Результат численного расчета с использованием данных реанализа атмосферы CORE-2 [3]

На основе данных моделирования по сценарию RCP-8.5 с помощью модели климатической системы, были рассчитаны главные моды низкочастотной изменчивости поля приземного давления Североатлантических/Арктических колебаний (первые ортогональные функции EOF1). На рис. 3 представлены эти функции для текущего климата и для сценария реакции климата на удвоение CO₂.

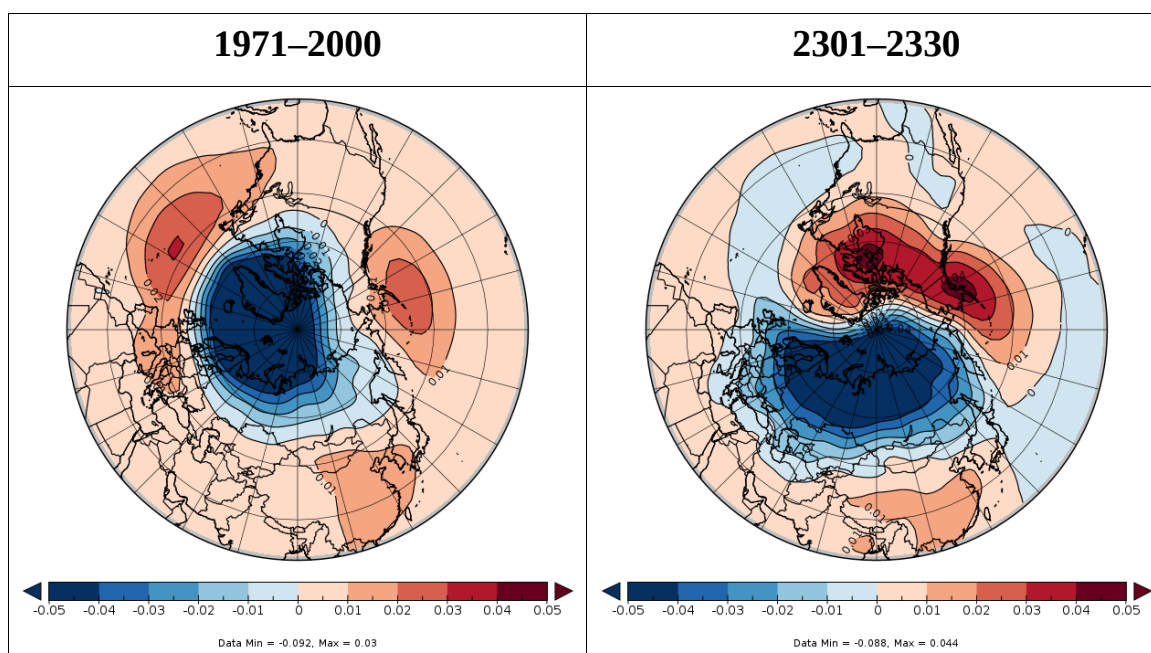


Рис. 3. Изменение структуры первой компоненты разложения EOF

В настоящее время создается система моделирования динамики климата Арктики и средних широт на основе глобальной модели климатической системы и полярной модели WRF для проведения численных экспериментов по моделированию динамики климата Арктики и средних широт при различных сценариях с акцентом, в том числе, и на климатологию полярных мезомасштабных циклонов (шторм треки) и потенциального вихря верхних слоев [5–7]. В сценариях полярные мезомасштабные циклоны возникают во время вторжений холодного арктического воздуха над относительно теплым морем внутри бароклинных возмущений в нижнем потенциально неустойчивом слое полярной тропосферы (радиус деформации Россби определяет нижнюю границу устойчивости). Планируется также проведение исследования влияния нагревания Северного Ледовитого океана и динамики морского льда в условиях потепления климата, на циркуляцию атмосферы, включая стратосферный полярный вихрь, струйное течение в тропосфере и арктические колебания.

Глобальная модель транспорта загрязняющих примесей в атмосфере используется для оценки областей риска/уязвимости для Арктического региона [8]. На рис. 4 приведен пример решения 4-мерной обратной задачи по оценке области риска получения загрязнений в регионе-рецепторе центральной Арктики от действующих и потенциально возможных источников в Северном полушарии Земли.

На фрагменте сценария изображено двухмерное сечение функции риска на уровне поверхности Земли, которое показывает, из каких регионов и в каких количествах примеси могут поступить в регион-рецептор. Большая область серого цвета показывает конфигурацию суперпозиции носителей всех областей риска в динамике их изменения во времени.

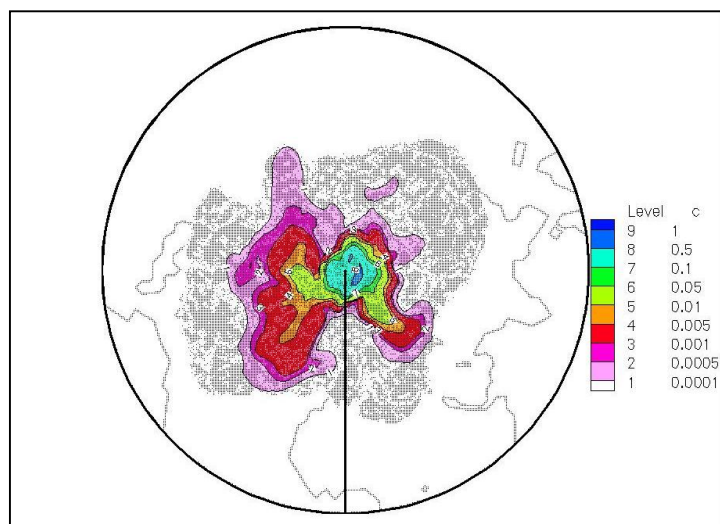


Рис. 4. Функция риска получения загрязнений для Центральной Арктики

Одной из актуальнейших задач современного прогноза погоды является повышение его качества за счет использования данных мониторинга природных процессов. В настоящее время мониторинг проводится с использованием различных наземных и спутниковых систем. В связи с этим возникает вопрос об усвоении этих разномасштабных данных в тех математических моделях, с помощью которых рассчитываются прогнозы. С этой целью в ИВМиМГ разрабатываются эффективные вариационные алгоритмы усвоения данных [8, 9]. На рис. 5 приведено решение задачи усвоения с использованием данных Airbase европейской сети мониторинга в модели химии атмосферы для Скандинавии. Заметим, что в этом примере восстановление полей концентраций примесей проводится без информации об источниках загрязнений, только по данным наблюдений на станциях мониторинга, что говорит о возможностях разрабатываемого метода.



Рис. 5. Восстановление концентраций примесей без информации об источниках загрязнений, только по данным наблюдений на станциях мониторинга:

без усвоения данных (слева), с усвоением (справа)

На территории Сибири находится множество уникальных природных объектов, в отношении которых необходимо принимать защитные меры, чтобы обезопасить их от вредного техногенного влияния. Среди таких объектов, безусловно, выделяется озеро Байкал, которое объявлено объектом Всемирного наследия. На рис. 6 приведен сценарий по оценке, с помощью решения обратной задачи, областей риска загрязнения атмосферы в Байкальском регионе. В соответствии с расчетами, промышленные объекты, расположенные в разных пунктах региона могут вносить соответствующий вклад в интегральную характеристику объема загрязнений над акваторией озера [10].

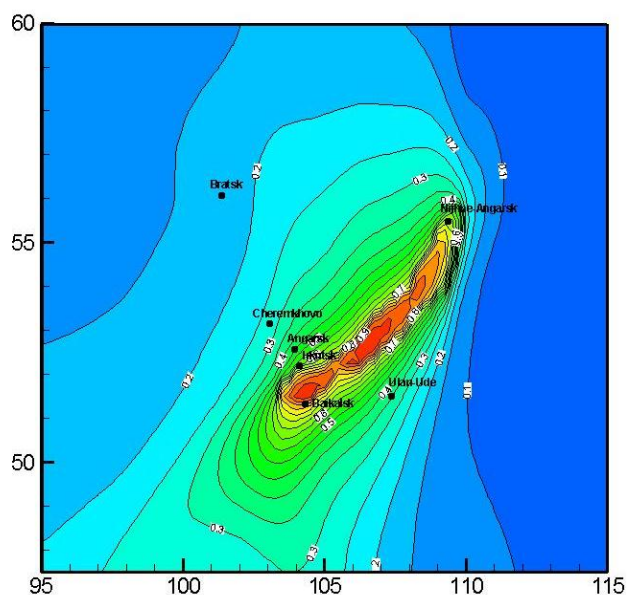


Рис. 6. Среднемесячная оценка функции риска для Байкальского региона для июля по многолетним метеоданным [10]

Немаловажное значение имеют также проблемы окружающей среды в городских агломерациях. Вопросы качества жизни небезразличны каждому жителю больших городов и малых поселений. Специфика сибирских городов состоит, как правило, в синергетическом эффекте суровых климатических, погодных условий и насыщенности индустриальными объектами, оказывающими негативное влияние на окружающую среду за счет выбросов примесей, тепла и влаги. В связи с настоятельной необходимостью последних лет, в ИВМиМГ СО РАН развивается концепция природоохранного прогнозирования и проектирования для сибирских городов. В качестве приложений мы рассматриваем ситуации, возникающие в типичных городах, таких как Новосибирск, Красноярск, Томск, Улан-Удэ и др.

На рис. 7 представлены результаты расчетов по моделированию распространения примесей от распределенных источников, расположенных в городской агломерации Новосибирска, в различные моменты времени в режиме суточного хода.

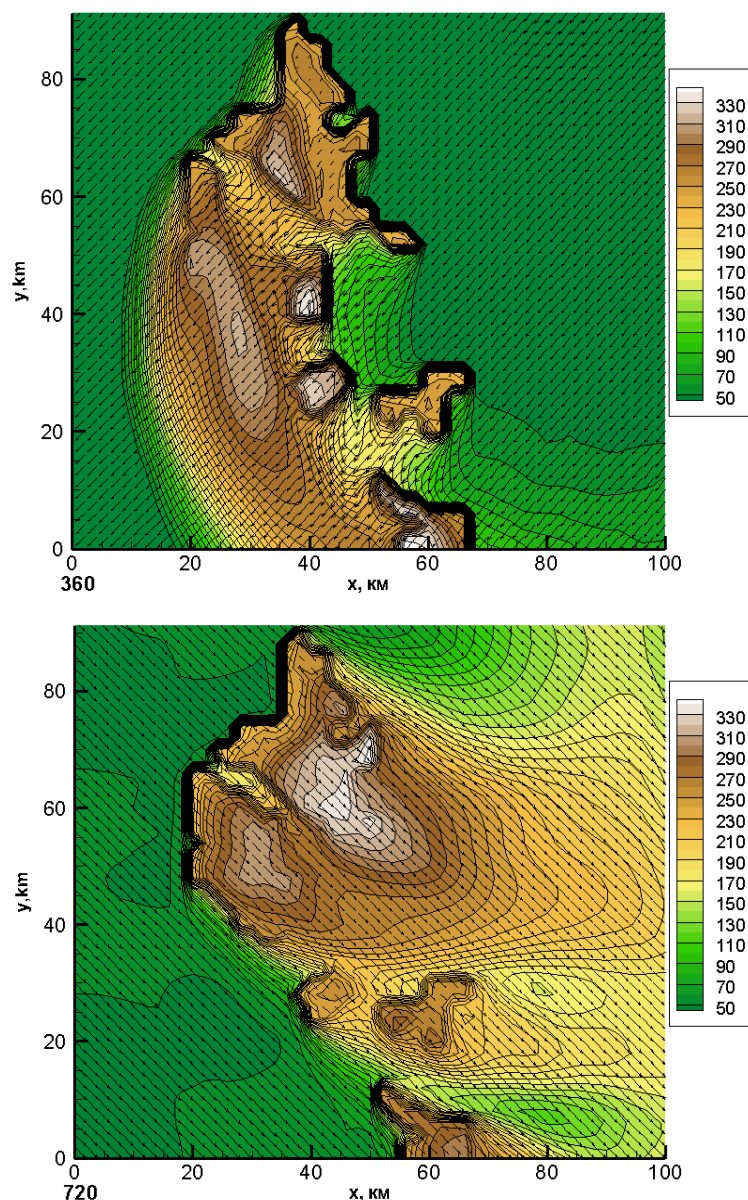


Рис. 7. Распространение загрязнений от распределенных источников примесей, расположенных в городской агломерации Новосибирска, в различные моменты времени в режиме суточного хода под действием юго-западного фоновго потока

В Норильском промышленном районе выбросы загрязняющих веществ значительно влияют на северную природу, вызывают деградацию растительности, что наблюдается в окрестностях на расстояниях до 200 км. Это подтверждается анализом данных наземных и спутниковых наблюдений. Валовый объем промышленных выбросов в атмосферу составляет около 2 млн. тонн в год, причем основными загрязнителями являются сернистые соединения. С помощью гидродинамической модели [11, 12] проведены расчеты полей концентраций SO_2 и продуктов выпадения соединений серы над территорией Норильской долины при различных метеорологических ситуациях.

На рис. 8 (слева) представлены изолинии концентрации SO_2 в приземном слое воздуха.

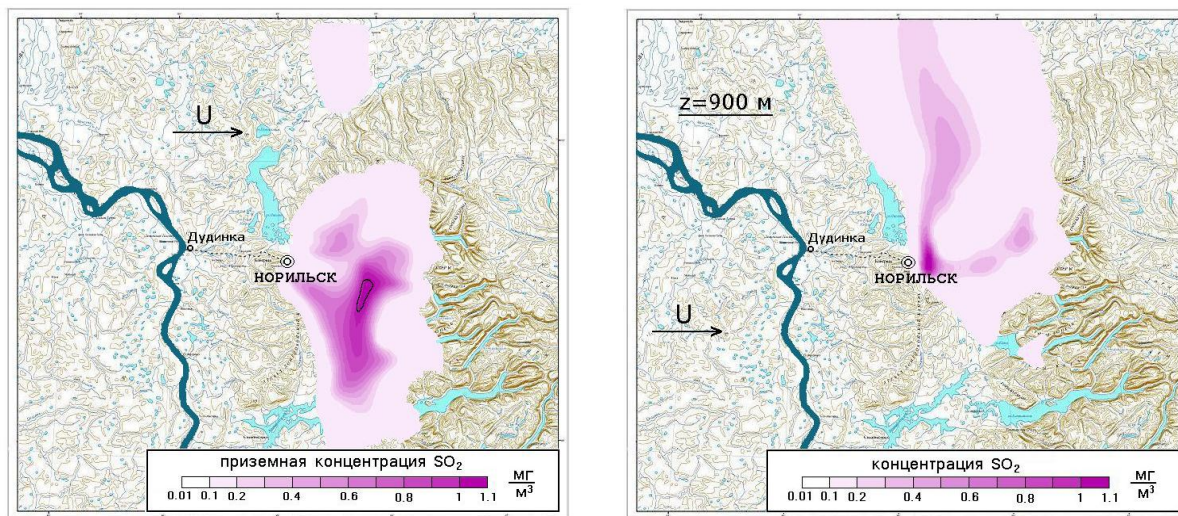


Рис. 8. Поле концентрации SO_2 :
приземной (слева) и при $z = 900$ м (справа)

Максимум концентрации оказался смещенным к юго-востоку примерно на 60 км (выделен овальным контуром), а экстремальные значения превышают величину 1 mg/m^3 . Для сравнения укажем, что нормативная среднесуточная ПДК составляет 0.05 mg/m^3 . Отметим, что на высотах конфигурация поля концентрации меняется. Так, при $z = 900$ м (рис. 8 (справа)) шлейф примеси вытягивается к северу по среднему направлению ветра на этой высоте.

Выполненные расчеты показали, что максимум выпадений продуктов соединений серы наблюдается на расстоянии 40–60 км от центра эмиссии. Согласно космической информации именно в этом районе регистрируется массовая гибель лиственницы.

Актуальность и масштабность научных проблем для этой отрасли знаний для экономики и общества заключаются в постоянно усиливающейся взаимосвязи всех процессов, происходящих на Земле, а также в возможности прямого математического моделирования этих процессов, их визуализации, уточнения на основе применения методов решения обратных задач и теории оптимального управления их наиболее важных параметров. Научная значимость решения данной научной проблемы заключается в возможности создания электронной многомасштабной модели земного шара с возможностью визуализации основных физических, химических, тепловых, биологических и социальных процессов, происходящих на планете.

Одним из важных конкурентных преимуществ коллектива ИВиМГ СО РАН является наличие развитых математических и численных моделей различных природных процессов (атмосферных и океанических течений, вихрей, процессов переноса и трансформации атмосферных примесей, землетрясений, навод-

нений, цунами и др.). Предлагаемый подход позволяет решать актуальные задачи природоохранного прогнозирования и проектирования. Среди них: локальные, региональные и глобальные проблемы загрязнений атмосферы; оценки трансграничных переносов; природоохранные задачи для нормальных и аварийных ситуаций в атмосфере; идентификация источников антропогенных воздействий; выявление предпосылок и прогнозирование последствий экологических катастроф; оценка экологического риска/уязвимости и др.

Дальнейшие исследования, планируемые в ИВМиМГ СО РАН, включают усовершенствование и разработку численных моделей динамики атмосферы и океана, процессов переноса и трансформации примесей, моделей процессов, приводящих к природным и техногенным катастрофам. Основой усовершенствования будут новые параметризации физических процессов подсеточных масштабов, современные численные схемы и алгоритмы, вычислительные технологии решения больших задач на суперкомпьютерах, методы усвоения данных наблюдений, методы статистического анализа, интерпретации и визуализации результатов расчетов. Важной задачей является создание новых алгоритмов и подходов к решению задач обработки и анализа данных дистанционного зондирования Земли, а также методов и способов их реализации на современных суперкомпьютерах. Будут, в частности, решены фундаментальные проблемы геофизики, связанные с разработкой новых численных методов для моделирования распространения сейсмических и электромагнитных волн в условиях сложного строения верхней части разреза территорий Восточной Сибири, шельфа Северных морей и создании на этой основе математической модели мониторинга транзитных зон Арктики. Важность этих задач обусловлена тем, что геофизические методы поиска нефти и газа в наиболее перспективных северных районах Западной и Восточной Сибири, шельфа Северных морей существенно затруднены из-за сильной неоднородности геологического разреза.

Результаты реализации новейших информационно-вычислительных технологий моделирования внесут существенный вклад в реализацию концепций «умная планета», «умная территория» и в другие инструменты поддержки технологий грядущего 6-го технологического уклада.

Работа выполняется при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 17-01-00137, 17-05-00382, 16-05-00558), Российского научного фонда (код проекта 16-19-00103) и гранта Президента РФ (номер гранта МК-8214.2016.1).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кабанихин С. И., Криворотько О. И., Маринин И. В. Трехмерная ГИС анализа и оценки природных и техногенных катастроф. Предварительный оперативный анализ и оценка последствий природных и техногенных чрезвычайных ситуаций. – М. : Palmarium Academic Publishing, 2013. – 96 с. (6 п.л.) ISBN-13: 978-3-659-98407-5. ISBN-10: 3659984078. EAN: 9783659984075.
2. Голубева Е. Н., Платов Г. А. Численное моделирование отклика Арктической системы океан-лед на вариации атмосферной циркуляции 1948–2007 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 45, № 1. – С. 145–160.

3. Голубева Е. Н., Платов Г. А., Якшина Д. Ф. Численное моделирование современного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана // Снег и лед. – 2015. – Т. 55, № 2. – С. 81–92. <http://ice-snow.igras.ru/jour/article/view/171>
4. Yeager, S. G., Large W. G. 2008. CORE.2 Global Air-Sea Flux Dataset. Research Data Archive at the National Center for Atmospheric Research, Computational and Information Systems Laboratory. [Электронный ресурс]. – URL: <http://dx.doi.org/10.5065/D6WH2N0S>. (дата обращения 11.01.2016).
5. Мартынова Ю. В., Крупчатников В. Н. О некоторых особенностях динамики общей циркуляции атмосферы в условиях глобального изменения климата // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 346–357.
6. Оценка качества воспроизведения мезомасштабной моделью WRF-ARW динамики атмосферы в сибирском регионе / Ю. В. Мартынова, Р. Б. Зарипов, В. Н. Крупчатников, А. П. Петров // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 7. – С. 14–24.
7. Система анализа состояния атмосферы в Сибирском регионе с использованием модели WRF-ARW и трехмерного вариационного усвоения данных WRF 3D-VAR / Р. Б. Зарипов, Ю. В. Мартынова, В. Н. Крупчатников, А. П. Петров // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 12. – С. 33–42.
8. Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В. Развитие вариационного подхода для прямых и обратных задач гидротермодинамики и химии атмосферы // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т. 51, № 3. – С. 358–367.
9. Пененко В. В., Цветова Е. А., Пененко А. В. Методы совместного использования моделей и данных наблюдений в рамках вариационного подхода для прогнозирования погоды и качества состава атмосферы // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 6. – С. 13–24.
10. Direct and Inverse Problems in a Variational Concept of Environmental Modeling / V. Penenko, A. Baklanov, E. Tsvetova, A. Mahura // Pure Appl. Geophys. – 2012. – V. 169. – P. 447–465.
11. Шлычков В. А., Мальбахов В. М., Леженин А. А. Численное моделирование атмосферной циркуляции и переноса загрязняющих примесей в Норильской долине // Оптика атмосферы и океана. – 2005. – Т. 18, № 05–06. – С. 490–496.
12. Леженин А. А., Рапута В. Ф., Ярославцева Т. В. Численный анализ атмосферной циркуляции и процессов распространения загрязняющих примесей в окрестностях Норильского промышленного района // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – Т. 29, № 6. – С. 467–471.

*© С. И. Кабанихин, Е. Н. Голубева, В. Н. Крупчатников,
А. А. Леженин, А. В. Пененко, В. В. Пененко, Г. А. Платов, 2017*

ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ ОТРАСЛИ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ И КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Александр Николаевич Прусаков

Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, 125413, Россия, г. Москва, ул. Онежская, 26, кандидат экономических наук, начальник управления технического регулирования и средств измерений, тел. (495)456-91-49, e-mail: prusakov_an@nsdi.rosreestr.ru

Анатолий Иванович Спиридонов

Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных, 125413, Россия, г. Москва, ул. Онежская, 26, кандидат технических наук, начальник отдела стандартизации и метрологического обеспечения управления технического регулирования и средств измерений, тел. (495)456-91-31, e-mail: spiridonov_ai@nsdi.rosreestr.ru

Выполнен анализ современного состояния метрологического обеспечения топографо-геодезических и картографических работ. Освещены проблемы метрологического обеспечения в области геодезии и картографии и метрологической службы отрасли. Выполнен анализ нормативно-технической базы обеспечения работ по метрологии в отрасли и даны предложения по приведению ее в соответствие с правовыми нормами в области обеспечения единства измерений. Представлены предложения по основным направлениям совершенствования метрологического обеспечения геодезической и картографической деятельности и метрологической службы отрасли.

Ключевые слова: метрология в сфере геодезии и картографии, стандарты, методики измерения, поверка, средства измерений, эталоны, единство измерений, метрологическая служба.

THE ISSUES OF METROLOGICAL SERVICE INDUSTRY TO ENSURE UNIFORMITY OF MEASUREMENTS IN THE IMPLEMENTATION OF GEODETIC AND CARTOGRAPHIC ACTIVITIES

Alexander N. Prusakov

Federal Scientific-Technical Center of Geodesy, Cartography and Spatial Data Infrastructure, 125413, Russia, Moscow, 26 Onezhskaja St., Ph. D., Head of technical regulation and measuring instruments Department, tel. (495)456-91-49, e-mail: prusakov_an@nsdi.rosreestr.ru

Anatoly I. Spiridonov

Federal Scientific-Technical Center of Geodesy, Cartography and Spatial Data Infrastructure, 125413, Russia, Moscow, 26 Onezhskaja St., Ph. D., Chief of Division of standardization and metrological assurance of technical regulation and control of measuring instruments Department, tel. (495)456-91-31, e-mail: spiridonov_ai@nsdi.rosreestr.ru

The modern analysis of metrological support for topographic-geodetic and cartographic works was performed. Highlighted the problems of metrological assurance in the field of geodesy and cartography and metrological service industry. The analysis of normative-technical base provided work on metrology in industry and suggestions to bring it into conformity with the legal norms in the area of ensuring the uniformity of measurements was fulfilled. Presented proposals on the main

directions of improving metrological assurance of geodetic and mapping activities and metrological service industry.

Key words: metrology in the field of geodesy and cartography, standards, methods of measurement, calibration, measuring tools, templates, unity of measurements, metrological service.

Работы по метрологическому обеспечению геодезической и картографической деятельности находятся на пересечении правовых полей Федеральных законов «Об обеспечении единства измерений» [2], «О стандартизации в Российской Федерации» [3], «О техническом регулировании» [1] и «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [4].

Главная цель метрологического обеспечения в области геодезии и картографии – достижение единства и требуемой точности измерений при создании топографо-геодезической и картографической продукции.

В связи с отнесением Федеральным законом №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [2] геодезических и картографических работ к сфере государственного регулирования вопросы метрологического обеспечения поставлены в ряд наиболее приоритетных направлений отрасли, подлежащих обязательной реализации. Среди основных форм государственного регулирования обеспечения единства измерений следует отметить работы по проверке и испытаниям средств измерений, метрологической экспертизе документации, аттестации методик измерений, аккредитации в области метрологического обеспечения; осуществление государственного и ведомственного метрологического надзора.

Как известно, метрологическое обеспечение – это комплекс организационных, нормативно-методических и технических мероприятий, направленных на решение задач по обеспечению единства измерений в отрасли.

Метрологическое обеспечение в сфере геодезии и картографии является составной частью деятельности организаций и учреждений Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии Министерства экономического развития Российской Федерации. Постановлением Правительства Российской Федерации от 1 июня 2009 г. № 457 утверждено «Положение о Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии» [5], которое предусматривает создание метрологической службы и определение должностных лиц в целях организации деятельности по обеспечению единства измерений в области геодезии и картографии (пункт. 5.3). Структура метрологической службы отрасли геодезии и картографии, действовавшей до 2009 года, представлена на рис. 1.

Существовавшая ранее (до 2012 года) стройная система отраслевой метрологической службы, которая охватывала все предприятия и организации бывшего Федерального агентства геодезии и картографии (далее – Роскартография), с 2009 г. – Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (далее – Росреестр), в настоящее время отсутствует. Метрологические службы (МС) предприятий, базовые метрологические службы (БОМС) предпри-

ятий, которые тесно взаимодействовали и курировали МС предприятий (по кустовому принципу), утратили свое влияние на метрологическое обеспечение топографо-геодезического и картографического производства в силу приватизации федеральных государственных унитарных предприятий (ФГУП), подведомственных Роскартографии, а затем Росреестру, и преобразованию их в АО.



Рис. 1. Структура метрологической службы отрасли геодезии и картографии, действовавшей до 2009 года

В этой связи бывшая головная метрологическая служба (ГОМС) отрасли в лице МС ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии им. Ф.Н. Красовского» (далее – ЦНИИГАиК), ныне вошедшего в состав Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (далее – ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»), ранее напрямую проводившая работы по метрологическому обеспечению в отрасли, в настоящее время может давать им только рекомендации без каких-либо требований в связи с изменением их статуса.

Прежнее Положение о метрологической службе было утверждено Роскартографией и согласовано с Росстандартом в 2006 году. Следует отметить, что во главе метрологической службы был утвержден главный метролог на уровне заместителя руководителя Роскартографии.

В 2015 году ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» было разработано и представлено в Росреестр проект нового Положения о метрологической службе. В соответствии с этим проектом Положения организация работ по метрологическому обеспечению в отрасли возлагается на метрологическую службу, созданную на базе отдела стандартизации и метрологического обеспечения ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» и структурное подразделение Управления геодезии, картографии, землеустройства и кадастровых работ центрального аппарата Росреестра. Также в рамках нового Положения предусматривается восстановить хорошо зарекомендовавшую себя систему головной и базовых организаций метрологической службы отрасли на основе взаимодействия предприятий и учреждений, имеющих разные формы собственности: федеральную (ФГБУ) и акционерную (реализуемую в АО). Предлагаемая структура метрологической службы отрасли геодезии и картографии представлена на рис. 2.

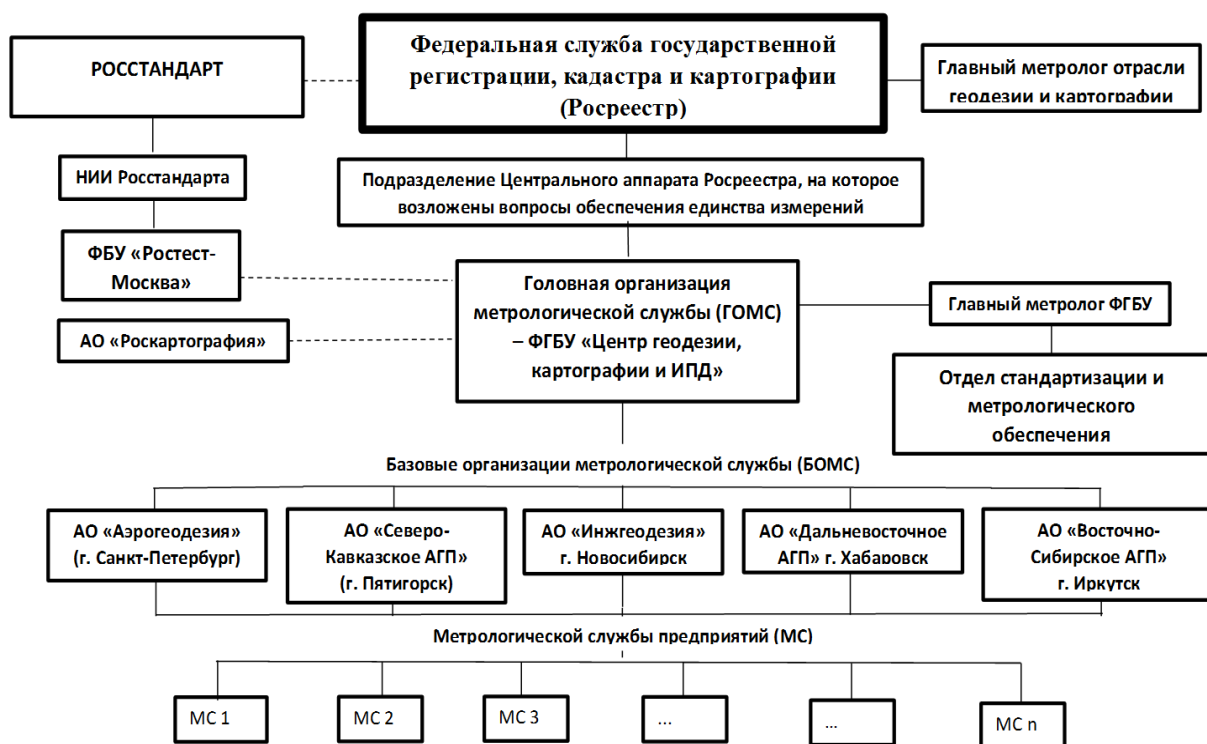


Рис. 2. Предлагаемая схема структуры метрологической службы отрасли

Одним из важнейших направлений организационной деятельности по метрологическому обеспечению производства является кадровая политика. Подготовка кадров по метрологии в отрасли решается двумя путями: через Академию стандартизации и через отраслевые курсы повышения квалификации, созданные еще в 1997 году на базе ЦНИИГАиК и Московского колледжа геодезии и картографии. В 2016 году силами специалистов колледжа и ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», являющегося правопреемником ЦНИИГАиК, разработана обновленная учебная программа подготовки поверителей геодези-

ческой специализации, которая была согласована с Академией стандартизации, метрологии и сертификации. В этой новой программе наряду с традиционными вопросами изложены методики поверки спутниковых геодезических приемников, цифровых нивелиров и электронных тахеометров последних поколений, а также закреплены изменения, произошедшие в нормативной базе.

В последние годы активно велись работы по дальнейшему совершенствованию нормативно-методической базы отрасли и приведению ее в соответствие с правовыми нормами в области обеспечения единства измерений. Принятая в отрасли в 2008 году концепция метрологии, рассчитанная на период до 2020 года, была откорректирована в 2013–2014 годах с учетом требований Федерального закона «Об обеспечении единства измерений» [2], однако реализована она была в недостаточно полной мере из-за отсутствия финансирования разработок нормативных документов и ограниченных возможностей Росреестра по их утверждению. В этой связи главный акцент в формировании нормативной базы метрологического обеспечения в период 2014–2017 годы был сделан на подготовке стандартов организации (СТО) отраслевой системы обеспечения единства измерений. В соответствии с Федеральным законом «О техническом регулировании» [1] СТО заменили ранее действовавшие отраслевые стандарты (ОСТ), руководящие технические материалы (РТМ) и руководящие документы (РД).

Среди наиболее важных нормативных разработок прошедшего периода следует упомянуть:

- национальные стандарты ГОСТ Р на общие технические условия для геодезических приборов, комплекс национальных стандартов на методы и технологии выполнения геодезических работ (ГОСТ Р 57370- ГОСТ Р 57374) [12–16];

- национальные стандарты ГОСТ Р на методы и средства поверки спутниковых геодезических приемников, теодолитов и нивелиров (разработанные совместно с Сибирским государственным научно-исследовательским институтом метрологии (ФГУП СНИИМ) и Сибирской государственной геодезической академией (ФГБОУ ВПО СГГА), ныне Сибирский государственный университет геосистем и технологий (ФГБОУ СибГУГиТ) [17–19];

- СТО на новые локальные поверочные схемы для геодезических средств измерений (СИ) [20].

В проекте Стратегии топографо-геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации на период до 2030 года [8], разработанной Росреестром в 2015 году указано, что совершенствование нормативного правового и нормативно-технического регулирования предполагает формирование единой целостной системы правовых и нормативных актов регулирования в области геодезии и картографии. Более подробно об этом изложено в работах [9–11].

На новом этапе развития нормативной базы отрасли встают принципиально иные задачи, связанные с гармонизацией требований нормативных документов с международными нормами и правилами, с необходимостью подхода к результатам топографо-геодезических и картографических работ как к продукции, обладающей потребительскими качествами и обращаемой в условиях рыночной экономики. А это означает, что в нормативном документе недостаточно

сформулировать только параметры и технические требования к продукции, а необходимо установить объективные методы их контроля (испытаний). Эту задачу невозможно решить без метрологического обеспечения. Кроме того, в условиях действия Федеральных законов «О техническом регулировании» [1] и «О стандартизации в Российской Федерации» [3] все действующие и вновь создаваемые нормативные документы должны учитывать положения этих законов в части нового статуса стандартов, требования к их содержанию, построению и оформлению. В этой связи актуальна задача по разработке программы развития нормативной базы отрасли на период до 2030 года.

Организационно и методически работа по обновлению нормативной базы должна возлагаться на технический комитет по стандартизации ТК 404 «Геодезия и картография». В 2016 году обновлена документация ТК 404 и Росстандартом подписан приказ о реорганизации деятельности ТК [21].

По заданию Росреестра в 2013 году был разработан перечень измерений при осуществлении геодезической и картографической деятельности и обязательные метрологические требования к ним, которые были утверждены приказом Минэкономразвития России от 23.07.2013 № 412 (зарегистрирован в Минюсте России 24.09.2013 № 30008) [22].

Однако, с появлением новых технологий и средств измерений, основанных на применении спутниковых методов измерений и цифровых методов обработки результатов измерений, позволяющих существенно повысить точность измерений и производительность работ, возникла необходимость пересмотра установленных обязательных метрологических требований к измерениям и при необходимости внесение соответствующих изменений в приказ Минэкономразвития России [22]. Эта задача была решена ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» и изменения обязательных метрологических требований представлены на рассмотрение в Росреестр в 2015 году.

К сожалению, обязательные метрологические требования к средствам измерений, применяемым в области геодезии и картографии, в настоящее время, со стороны государства не установлены. Принятые Росстандартом национальные стандарты устанавливают требования к отдельным видам средств измерений, которые носят рекомендательный характер. Технический регламент на средства измерений еще не разработан.

Большое внимание уделялось и уделяется переаккредитации на получение права поверки средств измерений (СИ) силами МС предприятий на основе действующих правил, принятых в настоящее время. На пути получения такого права имеются организационные, технические и юридические проблемы. Отметим, что по состоянию на 01.01.2017 г. этим правом обладали 12 предприятий отрасли. ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» в свою очередь аккредитовано на право поверки СИ, а также на проведении метрологической экспертизы документации и аттестации методик измерений.

Важнейшим вопросом при оценке отраслевой системы обеспечения единства измерений является систематическое проведение анализа состояния измерений в закрепленных областях деятельности и выработка на этой основе управ-

ляющих воздействий на изменение этого состояния в требуемом направлении. Эта работа проводится метрологической службой отрасли систематически.

Единство измерений предполагает не только применение поверенных СИ, но также и аттестованных методик выполнения измерений (МВИ). По нашему мнению, метрологическая аттестация МВИ – очень важный фактор метрологического обеспечения производства. Правовую основу для этой работы создает Федеральный закон №102-ФЗ «Об обеспечении единства измерений» [2], в развитие которого действует национальный стандарт ГОСТ Р 8.563-2009 «ГСИ. Методики (методы) измерений» [7].

Как показал анализ, из 64 методик измерений, установленных в нормативных актах на технологии топографо-геодезических работ, аттестованы 27 методик, 13 методик не подлежат аттестации, поскольку результаты получают из прямых измерений; таким образом, количество неаттестованных методик равно 24 (т. е. 37,5% от общего числа), причем половина из них относятся к устаревшим методикам, требующим обновления в рамках мероприятий по совершенствованию нормативной базы отрасли.

В области создания и внедрения эталонов и контрольно-поверочного оборудования для достижения позитивных результатов, по-видимому, необходимы координация и интегрирование усилий ряда ведомств (Росреестра, Росстандарта, ВТУ, Академии наук), вузов геодезической специализации. Геодезические эталоны, как правило, являются единичными средствами измерений, и по новому порядку, принятому Росстандартом подлежат метрологической аттестации в соответствии с «Положением об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» (утверждено Постановлением Правительства от 23.09.2010 № 734) [23] и приказом Росстандарта от 22 января 2014 г. № 36 «Об утверждении рекомендаций по проведению первичной и периодической аттестации и подготовке к утверждению эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений» [24].

Если проанализировать локальные поверочные схемы для средств измерений отраслевого назначения, можно заключить, что наибольшие проблемы связаны с поверкой высокоточных средств линейных измерений (с погрешностью менее $0,5 \times 10^{-6}$), что объяснимо отсутствием базисов 0-го разряда и базиса 1-го разряда длиной 3–10 км, а также с наличием эталонов длины до 1 м с погрешностью 1–2 мкм, что обусловлено трудностями выпуска и внедрения контрольно-поверочных средств необходимой точности.

На современном этапе развития геодезии среди перспективных направлений совершенствования технологии геодезического производства важную роль играют цифровые методы и средства измерений. Одна из научно-методических проблем на пути внедрения в производство прогрессивной технологии цифрового нивелирования заключалась в отсутствии эталонного средства для поверки штрих-кодовых реек. Для поверки цифровых нивелиров и штрих-кодовых реек необходим компаратор, представляющий собой комплекс технических средств, включающих лазерный интерферометр, устройства для крепления и перемеще-

ния поверяемой нивелирной рейки, видеокамеру с позиционной системой фиксации шкалы рейки, средства контроля параметров внешней среды, различные вспомогательные приспособления. По данным зарубежных исследований, наиболее объективные результаты поверки обеспечиваются при выполнении измерений в рабочем положении рейки, то есть при ее вертикальном размещении. Поэтому компаратор должен иметь вертикально ориентированное позиционирование.

В 2016 году для поверки штрих-кодовых реек в рабочем (вертикальном) положении по контракту с Финским геодезическим институтом разработан и введен в действие на базе геодезического полигона ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» автоматизированный лазерный компаратор. Погрешность определения положения штриха рейки с его помощью не превышает 5 мкм. Компаратор осуществляет поверку оборудования для цифрового нивелирования всех существующих типов в двух режимах: системы «нивелир + рейка» и отдельно рейки. На компараторе можно выполнять поверку и традиционных инварных штриховых реек. Допустимая длина поверяемой рейки от 1 до 3 м. По результатам поверки компьютер выдает график поправок в отсчеты по рейке, масштабный коэффициент шкалы, коэффициент линейного расширения, которые могут использоваться в качестве поправок в результаты цифрового нивелирования. По данным изготовителя компаратора, производительность компаратора при односменной работе с учетом затрат времени на подготовку компаратора к работе, выполнение измерений, времени на установку температурного режима, оформление результатов поверочных работ составляет порядка 40 комплектов оборудования в год (нивелир плюс две 3-метровых рейки). Принципиальная схема компаратора показана на рис. 3.

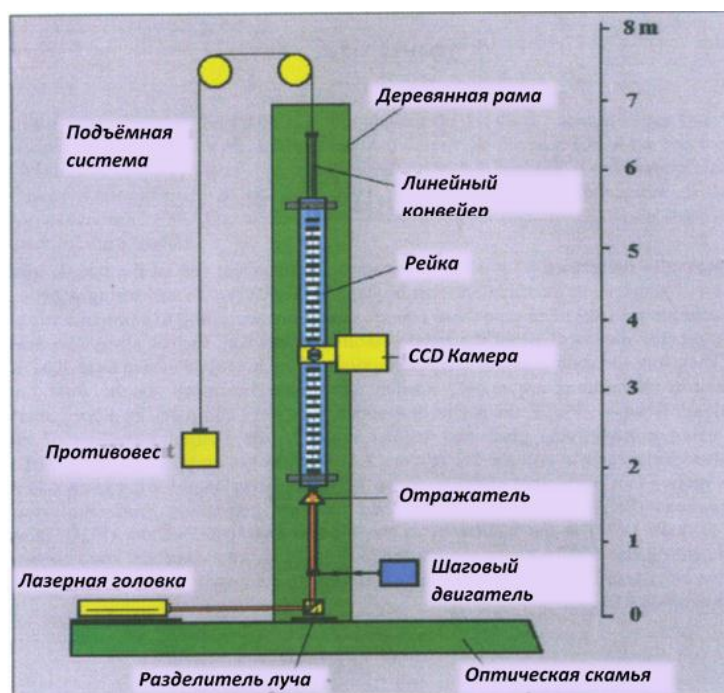


Рис. 3. Принципиальная схема компаратора

Существуют методические проблемы поверки высокоточных гравиметрических приборов несмотря на наличие высокоточных баллистических гравиметров. Это связано с тем, что исходный эталон государственной поверочной схемы по ГОСТ Р 8.715–2010 [25], разработанный ВНИИМ им. Д.И. Менделеева, по точности сопоставим с баллистическими гравиметрами, применяемыми ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД».

Говоря о технической базе поверочных работ, не следует упускать из виду возможностей использования традиционных, чисто геодезических эталонных средств – линейных и высотных эталонных базисов, контрольно-поверочных сетей, эталонных полигонов. В этой связи в 2017 году планируется проведение весьма полезной работы по оценке состояния и размещения в регионах геодезических эталонных полигонов и базисов. Метрологическая служба отрасли прорабатывает вопрос о возможности использования для метрологического обеспечения геодезических работ постоянных пунктов ФАГС и пунктов государственной фундаментальной гравиметрической сети.

Много внимания метрологической службой отрасли уделялось полновесному взаимодействию с государственной метрологической службой (ГМС) на различных уровнях – от центрального аппарата до МС прикрепленных предприятий. Необходимость тесных деловых контактов была обусловлена не только фактом отнесения геодезических работ к сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, но и заметной активизацией органов государственной метрологической службы в области метрологического обеспечения геодезических работ. Партнерские отношения между Роскартографией и Росстандартом в прежние годы регламентировались специальным Соглашением о взаимодействии в области стандартизации и метрологического обеспечения геодезических работ, подписанным руководителями ведомств в обновленном варианте в марте 2006 года [6]. С учетом того, что произошла административная реформа, появились новые руководители ведомств и новые направления взаимодействия, введены новые законодательные акты, изменились некоторые положения ГСИ, назрела необходимость подготовки нового соглашения о взаимодействии в области технического регулирования и метрологического обеспечения между двумя ведомствами.

К сожалению, приходится говорить о некоторых проблемах взаимодействия с органами Росстандарта. Так, введение приказов Росстандарта от 13 декабря 2011 года № 1075-ст [26] и от 19 января 2016 года № 22 [27] привело к монополизму ФГУП «ВНИИФТРИ» при поверке эталонов линейных измерений больших длин и ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» при поверке эталонов для средств измерений плоского угла. Это, в свою очередь, явилось причинами неоправданного удорожания поверочных работ и увеличения продолжительности поверки эталонов.

Анализ деятельности метрологической службы отрасли за период 2010–2016 годы и результаты ведомственного надзора показывают, что еще не устранены недостатки, которые сдерживают возможности решения метрологических

проблем на уровне современных требований. Среди характерных негативных примеров в работе МС предприятий следует указать:

- утрата многолетней сложившейся структуры метрологической службы отрасли, и, как следствие, нарушение устойчивого взаимодействия между предприятиями при обеспечении единства измерений и невысокий уровень автоматизации поверочных работ (недостаточное использование компьютерных технологий);
- медленное обновление парка поверочного оборудования;
- нарушение периодичности поверки контрольных линейных базисов;
- отсутствие аттестованных методик измерений, специфичных для конкретного предприятия.

Рассмотренные проблемы и перспективные направления развития метрологического обеспечения воплощены в концепции обеспечения единства измерений в геодезической и картографической деятельности, разработанной ЦНИИГАиК и принятой Роскартографией в 2008 году. В 2015 г. ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» во исполнение пункта 6 решения Коллегии Росреестра «О состоянии и перспективах модернизации отрасли геодезии и картографии (протокол №2 от 07.07.2015) [28] подготовлены и представлены в Росреестр предложения по совершенствованию деятельности метрологической службы отрасли.

В качестве перспективных направлений метрологического обеспечения топографо-геодезического и картографического производства с учетом стратегии развития отрасли [8], на наш взгляд, могут быть названы следующие:

- совершенствование организационной структуры метрологической службы в сфере геодезии и картографии с учетом результатов административной реформы и рыночного характера экономики (включая определение головной и базовых организаций метрологической службы и назначение главного метролога отрасли);
- улучшение взаимодействия между подразделениями метрологической службы путем реализации информационных технологий;
- совершенствование нормативной базы метрологического обеспечения производства на основе новой нормативно-правовой концепции в стандартизации и метрологии;
- осуществление мониторинга обязательных метрологических требований в области геодезии и картографии и внесение на этой основе изменений в технологии работ;
- совершенствование локальных поверочных схем [20] на основные виды отраслевых измерений с учетом внедрения новых методов и средств передачи размеров единиц;
- создание полигона (центра) для калибровки (по определению параметров) топографических цифровых аэросъемочных камер с одновременной разработкой аппаратуры и методики контроля для определения элементов внешнего ориентирования и разрешающей способности цифровых камер;
- разработка порядка метрологического обеспечения новых технологий (спутниковых определений, цифрового картографирования, цифровой фото-

грамметрии, автоматизированных топографических систем, развития инфраструктуры пространственных данных);

- создание и метрологическая аттестация эталонного пространственного полигона на базе пунктов ФАГС Московского региона;

- метрологическое сопровождение разработок Системы сертификации продукции и Системы управления качеством отраслевого уровня на базе стандартов серии ИСО 9000;

- автоматизация и повышение технического уровня поверочных работ; разработка по всем видам поверочной деятельности автоматизированных рабочих мест;

- поддержание в состоянии метрологической готовности геодезических полигонов и эталонных базисов;

- разработка новых более совершенных специализированных эталонов и проведение в установленном порядке их испытаний с целью утверждения типов;

- разработка, стандартизация и метрологическая аттестация методик выполнения измерений топографо-геодезического назначения;

- осуществление международного сотрудничества (в том числе с метрологическими службами государств-участников СНГ) в соответствии с принятыми основными направлениями взаимодействия и утвержденной межгосударственной программой по стандартизации и метрологии в области геодезии и картографии.

В заключение, следует отметить, что в данной статье, вероятно, затронута только часть проблем развития метрологической службы отрасли, которые имеют отношение в первую очередь к деятельности ведущего звена метрологической службы – отдела стандартизации и метрологического обеспечения ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД».

Однако можно выразить уверенность в том, что намеченные работы в области метрологического обеспечения в отрасли послужат укреплению единства измерений в геодезической и картографической деятельности и тем самым – развитию геодезии и картографии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О техническом регулировании [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 27.12.2002 №184-ФЗ (в ред. на 28.11.2015). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/

2. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 26.06.2008 №102-ФЗ (в ред. на 13.07.2015). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/

3. О стандартизации в Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 29.06.2015 №162-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/

4. О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_77904/

5. О Федеральной службе государственной регистрации, кадастра и картографии [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Российской Федерации от 01.06.2009 № 457. – Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – Режим доступа: <http://base.garant.ru/12167669/>

6. Соглашение о взаимодействии между Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии и Федеральным агентством геодезии и картографии в области обеспечения единства измерений при проведении геодезических и картографических работ, 2006 г.

7. ГОСТ Р 8.563-2009 «ГСИ. Методики (методы) измерений», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.12.2009 г. № 1253-ст. – М. : Стандартинформ, 2010.

8. Стратегия топографо-геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации на перспективу до 2030 года (в ред. на 01.04.2015) – проект. – 2015 [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=PNPA;frame=401;n=8888;req=doc>

9. Васильев И. В., Коробов А. В., Побединский Г. Г. О Стратегии топографо-геодезического и картографического обеспечения Российской Федерации // Геодезия и картография. – 2015. – Спецвып. – С. 4–11.

10. Прусаков А. Н., Яблонский Л. И. Состояние и перспективы научно-технического обеспечения отрасли геодезии и картографии // Геодезия и картография. – 2015. – Спецвып. – С. 64–70.

11. Побединский Г. Г., Прусаков А. Н., Яблонский Л. И. Основные направления совершенствования правового и технического регулирования в области геодезии и картографии в Российской Федерации // Инженерные изыскания. – 2017. – № 1. – С. 12–19.

12. ГОСТ Р 57370-2016 «Глобальная навигационная спутниковая система. Геодезическая навигационная аппаратура потребителей. Общие требования и методы испытаний», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.12.2016 г. № 2086-ст. – М. : Стандартинформ, 2016.

13. ГОСТ Р 57371-2016 «Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Оценка точности определения местоположения. Основные положения», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.12.2016 г. № 2087-ст. – М. : Стандартинформ, 2016.

14. ГОСТ Р 57372-2016 «Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты высокоточной геодезической сети (ВГС). Технические условия», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.12.2016 г. № 2088-ст. – М. : Стандартинформ, 2016.

15. ГОСТ Р 57373-2016 «Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты спутниковой геодезической сети 1 класса (СГС-1). Технические условия», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.12.2016 г. № 2089-ст. – М. : Стандартинформ, 2016.

16. ГОСТ Р 57374-2016 «Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических работ. Пункты фундаментальной астрономо-геодезической сети (ФАГС). Технические условия», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 26.12.2016. № 2090-ст. – М. : Стандартинформ, 2016.

17. ГОСТ Р 8.793-2012 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аппаратура спутниковая геодезическая. Методы поверки», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.11.2012 г. № 1239-ст. – М. : Стандартинформ, 2012.

18. ГОСТ Р 8.876-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Теодолиты. Методы поверки», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 10.07.2014 г. № 781-ст. – М. : Стандартинформ, 2014.

19. ГОСТ Р 8.792-2012 «Государственная система обеспечения единства измерений. Системы измерительные «Цифровой нивелир – кодовая рейка. Методы поверки», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.11.2012 г. № 1238-ст. – М. : Стандартинформ, 2012.
20. СТО 02571830-8.17-2016 «Отраслевая система обеспечения единства измерений в сфере геодезии и картографии. Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения», утвержден и введен в действие приказом Федерального государственного бюджетного учреждения «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» от 30.12.2016 г. №344. – М. : ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», 2016.
21. О техническом комитете по стандартизации «Геодезия и картография» [Электронный ресурс] : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27.05.2016 № 681. – Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71315330/?prime>
22. Об утверждении перечня измерений при осуществлении геодезической и картографической деятельности и обязательных метрологических требования к ним» (зарегистрирован в Минюсте России 24.09.2013 № 30008) [Электронный ресурс] : Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации от 23.07.2013 № 412. – Режим доступа: <https://www.referent.ru/1/220698>
23. Об утверждении Положения об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений [Электронный ресурс] : Постановление Правительства Российской Федерации от 23.09.2010 № 734. – Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – Режим доступа: <http://base.garant.ru/199438/>
24. Об утверждении рекомендаций по проведению первичной и периодической аттестации и подготовке к утверждению эталонов единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений [Электронный ресурс] : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.01.2014 № 36. – Доступ из справ.-правовой системы «Гарант». – Режим доступа: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70477696/>
25. ГОСТ Р 8.715-2010 «Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений ускорения свободного падения», утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 21.12.2010 г. № 828-ст. – М. : Стандартинформ, 2016.
26. О принятии и введении в действие Изменения 59/2010 ОКУД к Общероссийскому классификатору управленческой документации ОК 011-93 [Электронный ресурс] : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13.12.2011 № 1075-ст. – Режим доступа: http://www.glavbukh.ru/npd/edoc/99_902271204
27. Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений плоского угла [Электронный ресурс] : Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 19.01.2016 № 22. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс». – Режим доступа: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?base=EXP&dst=100001&n=648086&req/>
28. Решение коллегии Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии «О состоянии и перспективах модернизации отрасли геодезии и картографии», Протокол №2 от 07.07.2015 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rosreestr.ru/site/press/news/na-kollegii-rosreestra-obsudili-sostoyanie-i-perspektivy-modernizatsii-otrasli-geodezii-i-kartografi/?sphrase_id=5213450

© А. Н. Прусаков, А. И. Спиридонов, 2017

ОСОБЕННОСТИ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПРИЕМНИКОВ С ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗЬЮ И ИХ ВОЗМОЖНОСТИ В ГЕОДЕЗИИ И МЕТРОЛОГИИ

Харьес Каюмович Ямбаев

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе, тел. (499)763-34-35, e-mail: yambaev@miigaik.ru

Сергей Вячеславович Староверов

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, старший преподаватель, тел. (499)763-34-35, e-mail: staroverov@miigaik.ru

На основе анализа особенностей ПЗС и КМОП фотоприемников, которые одновременно формируют информационный сигнал и являются высокоточной измерительной шкалой, показаны их возможности при разработке автоматизированных стендов для технологической и метрологической поверки средств геодезических измерений. Обоснованы принципы действия, конструкция и приведены результаты выполненных исследований стенда СПН для поверки оптических и цифровых нивелиров. Показана возможность более широкого использования цифровых камер в геодезии и метрологии, обоснована необходимая и достаточная точность измерений с помощью ПЗС-систем.

Ключевые слова: ПЗС-матрица, КМОП-матрица, линейка, фотоприемник, нивелир, стенд, автоколлиматор, визирная ось, нитяной дальномер, шкала, алгоритм, программа, пиксел, поверка, блок-схема.

FEATURES OF PHOTSENSITIVE RECEIVERS CHARGING COMMUNICATION AND THEIR OPPORTUNITIES IN GEODESY AND METROLOGY

Haryes K. Yambayev

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Russia, Moscow, 4 Gorokhovsky Lane, D. Sc., professor, vice rector for scientific work, tel. (499)763-34-35, e-mail: yambaev@miigaik.ru

Sergey V. Staroverov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 105064, Russia, Moscow, 4 Gorokhovsky Lane, senior teacher, tel. (499)763-34-35, e-mail: staroverov@miigaik.ru

Following characteristics analysis of charge coupled devices (CCD) and complementary metal oxide semiconductors (CMOS) of photoreceivers that simultaneously form informational signal and represent a highly-accurate measuring scale, their capabilities are shown in automated stands development for technological and metrological calibration of geodetic measurements facilities. Operating principles and construction are proved and results of the performed investigations of the SPN stand for optical and digital levels calibration are presented. Possibility of greater use of digital cameras in geodesy and metrology is shown, the necessary and adequate accuracy of measurements with the help of CCD systems is proved.

Key words: CCD matrix, CMOS matrix, rulers, photoreceiver, level, stand, autocollimator, axis of sight, cross-wire meter, scale, algorithm, program, pixel, calibration, flow chart.

Принцип действия ПЗС (CCD) и КМОП (CMOS) матриц

В первом приближении светочувствительный приемник с зарядовой связью (ПЗС) можно представить как совокупность равномерно расположенных полупроводниковых фотодиодов со светоприемным окном и двумя контактами для съема возбужденного электрического сигнала.

Работа ПЗС (CCD) основана на идее сохранять, а затем считывать электронные заряды. Первый CCD приемник разработан в корпорации BELL в конце 60-х годов XX века. Выявленная в эти годы способность кремния реагировать на видимый спектр излучения оказалась перспективной для разработки компактных систем цифровой обработки видеоизображений и получила бурное развитие.

Не вдаваясь в подробности технологии изготовления и довольно сложной физики процессов, лежащих в основе действия ПЗС (CCD)-фотоэлектронного преобразователя световой энергии в электрические сигналы, отметим, что ПЗС (CCD) приемник – это аналоговая интегральная микросхема, в состав которой входят светочувствительные фотодиоды на основе кремния или оксида олова. Таких светочувствительных кремниевых площадок – пикселей, преобразующих световую энергию в электрические заряды, в ПЗС очень много, от нескольких тысяч до нескольких миллионов. Пиксели могут быть уложены в один непрерывный ряд – *ПЗС-линейка* (рис. 1, а) или одинаковыми рядами и столбцами заполнять участок поверхности правильной формы, как правило, в виде прямоугольника или квадрата – *ПЗС-матрица* (рис. 1, б) [4].

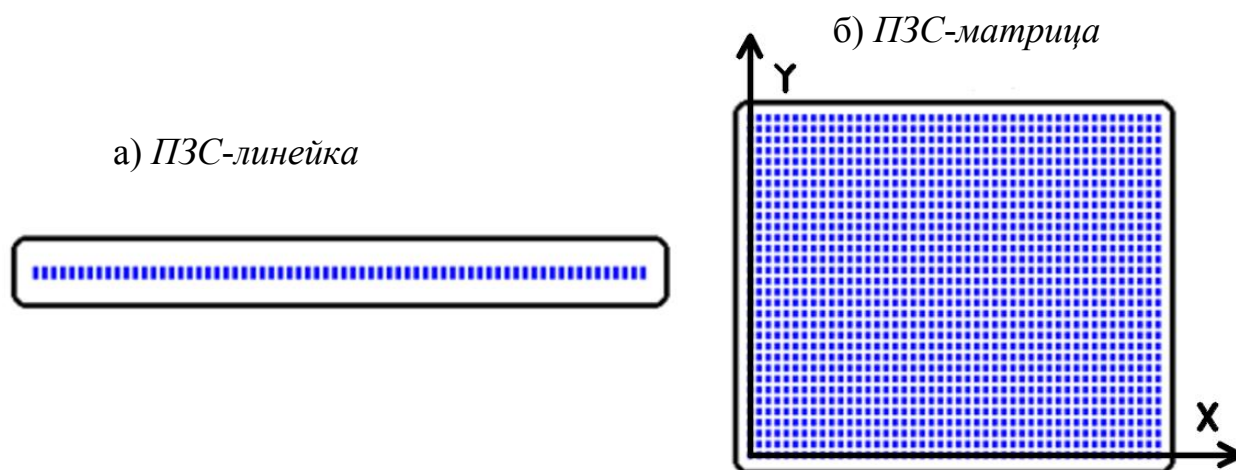


Рис. 1. Расположение светоприемных элементов (прямоугольники синего цвета):
а) в ПЗС-линейке; б) в ПЗС-матрице

После экспонирования (засветки проецируемым изображением) электронная схема управления прибором подает на него сложный набор импульсных напряжений, которые начинают сдвигать столбцы с накопленными в пикселях электронами к краю матрицы, где находится аналогичный измерительный ПЗС-

регистр, заряды в котором сдвигаются уже в перпендикулярном направлении и попадают на измерительный элемент, создавая в нем сигналы, пропорциональные отдельным зарядам. Таким образом, для каждого последующего момента времени мы можем получить значение накопленного заряда и понять, какому пикселу на матрице (номер строки и номер столбца) он соответствует.

В начале 70-х годов прошлого века компания Sony стала активно заниматься CCD-технологиями и, потратив огромные средства, сумела наладить массовое производство ПЗС-матриц для своих многочисленных фото- и видеокамер.

В настоящее время ПЗС-матрицы и ПЗС-линейки нашли широкое и разностороннее применение в быту (цифровые фото- и видеокамеры) и технике (датчики измерения длины в машиностроении).

В геодезии – это сенсоры цифровых нивелиров, датчики углов в электронных тахеометрах, линейные и угловые датчики автоколлиматоров, датчики углов наклона в инклинометрии и т. п.

Светочувствительные регистрирующие матрицы современных цифровых устройств и систем можно классифицировать по методу считывания информации на матрицы CCD типа (рис. 2, а) и CMOS-матрицы (рис. 2, б) [2], в русской транскрипции соответственно ПЗС-матрицы (приемники с зарядовой связью) и КМОП-матрицы (Комплементарные Металл-Оксидные Полупроводники).

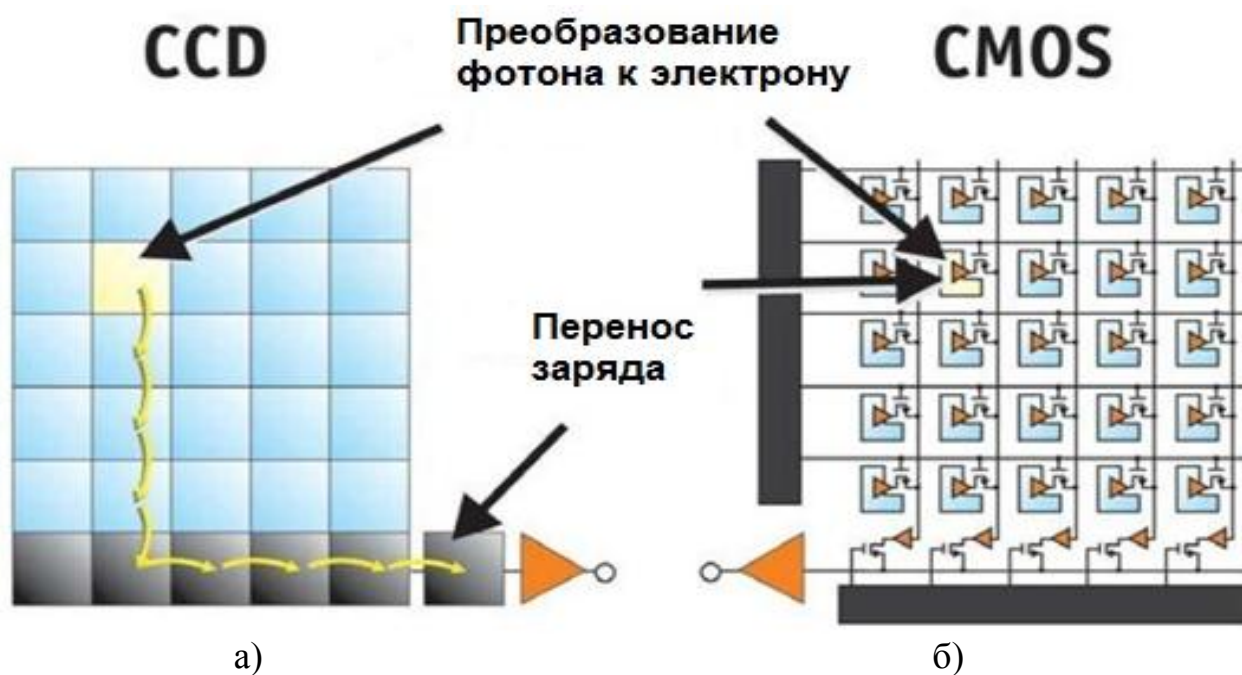


Рис. 2: а) ПЗС-матрица; б) КМОП-матрица

С развитием технологий производства CCD и CMOS матриц меняются и их характеристики, поэтому сложно сказать, какая из этих двух типов матриц однозначно лучше при том или ином их применении.

Предпосылки применения ПЗС систем и технологий в геодезических и метрологических средствах измерений

Важнейшим для разработки и создания геодезических (ГСИ) и метрологических (МСИ) средств измерений и калибровочных (поверительных) стендов является то, что *ПЗС-матрица представляет собой уникальное фотоэлектронное устройство, которое одновременно формирует необходимый информационный сигнал и является измерительной шкалой*, что позволяет зарегистрировать изображение того или иного предмета в цифровом виде, определять координаты x_i и y_i точек изображения. Для геодезии и метрологии важно, чтобы конечный результат был получен в принятой международной системе единиц SI – особенно для измерения длин, углов и превышений.

При определении линейных размеров предметов, расстояний между характерными точками необходимо знать точный размер светочувствительной площадки каждого пиксела, расстояний между ними и стабильности положения пиксела внутри их совокупности в конкретной ПЗС-матрице.

Основная погрешность измерения линейных размеров на базе ПЗС-матриц – это качество (точность) позиционирования изображений на приемной поверхности ПЗС кремниевых фотодиодов матрицы, зависящая от размера $P_{x,y}$ «приемного окна» – пиксела. Размер пиксела и определяет дискретность отсчета. Для средней по качеству современной ПЗС-матрицы размер пиксела составляет $p_x = p_y \cong 8$ мкм. Однако для избегания недопустимого накопления неопределенности размеров пиксела желательна их оперативная калибровка в онлайн режиме.

Кроме того, такая же задача оперативной калибровки возникает при высокоточном измерении малых углов высокоточными цифровыми автоколлиматорами с СКО измерения отклонений до сотых долей секунды (при изготовлении оптических деталей) и с СКО 0,1–1,0" при определении и исправлении главного условия оптических и цифровых нивелиров, отклонений визирных целей от исходного положения и в других задачах геодезии и метрологии.

При создании и эксплуатации цифровых автоколлиматоров и определении стабильности визирной оси коллиматоров, кроме калибровки размеров пиксела важно знать точное фокусное расстояние зрительной трубы, которое следует дополнительно определять, так как оно может отличаться от номинального значения.

В этих и ряде других решаемых с помощью ГСИ и МСИ задачах речь идет, очевидно, о точности позиционирования и обмеров простых объектов в виде совокупности прямых отрезков и линий, перекрестий, кружков и т. п. визирных целей.

О стабильности положения пикселов. Исследования точности позиционирования для цифровых АК фирмы «Moller-Wedel» (Германия) показали, что максимальное значение сдвига положения пиксела в процессе позиционирования составляет около 0,4 pix; это соответствует смещению чувствительного элемента на величину до 3,5 мкм (размер одного пиксела для этой камеры – $p_x = p_y = 8,3$ мкм). За три часа работы положение светочувствительных эле-

ментов матриц стабилизируется и их смещение прекращается. В целом, время стабилизации пикселей ПЗС-матрицы составляет до 100 минут.

Предпосылки применения в ГСИ и МСИ. Для оперативного определения линейных и угловых параметров тех или иных измеряемых величин по результатам позиционирования изображения исследуемых объектов на ПЗС-матрице авторами предлагается использовать некоторую дополнительную субстанцию в качестве рабочей эталонной меры, формирующуюся одновременно и в тех же условиях, что и исследуемый объект на этой же ПЗС-матрице.

Например, большинство ГСИ – оптические и цифровые нивелиры, оптические и электронные теодолиты и тахеометры формируют изображение визирных целей с помощью визирных зрительных труб с сеткой нитей, включающей дополнительные штрихи (нити) – зрительная труба с оптическим нитяным дальномером. Такой нитяной дальномер относится к оптическим дальномерам с постоянным параллактическим углом φ и постоянным коэффициентом $K = 100 \pm 0,1 \%$, что соответствует параллактическому углу $\varphi = \frac{\rho''}{K} = 2\,062,65''$.

В большинстве зрительных труб линейное расстояние между дальномерными нитями составляет $l = 2,0$ мм и нанесено с относительной ошибкой $0,1 \%$, т. е. с СКО $M_l = \frac{2,0 \text{ мм}}{1\,000} = 2 \text{ мкм}$.

Этот факт и служит предпосылкой для определения линейных и угловых размеров по одновременному изображению предмета исследований и сетки нитей зрительной трубы, формирующей изображения на светочувствительной поверхности ПЗС-матрицы.

Следует отметить, что все цифровые нивелиры используют принцип оптического дальномера с постоянным параллактическим углом для измерения длины плеч – расстояний до задней и передней штрих-кодовых реек. Отличие лишь в том, что параллактический угол определяется значением точного фокусного расстояния, а штрих-кодовая рейка включает постоянный отрезок, просматриваемый на любом участке рейки, и этот отрезок определяется не визуально, а с помощью ПЗС-приемника.

Поскольку и позиционируемый предмет и сетка нитей (рабочая шкала) рассматриваются одним и тем же объективом ПЗС-камеры без параллакса, то они являются совместимыми и имеют одинаковый масштаб, что позволяет вести обработку пиксельной информации по полученным с помощью ПЗС-камеры снимкам по несложному алгоритму, предварительно заложенному в подключенный персональный компьютер или встроенный в ПЗС-систему микропроцессор.

Остается пересчитать пиксельный результат определенных искомых параметров в метрическую или угловую меру, т. е. привести результаты измерений в соответствие с единицами физических величин, принятыми в Российской Федерации международной системы SI.

Если величину l принять за рабочий эталон даже второго разряда, то для измерения линейных размеров исследуемого объекта с относительной ошибкой $M = 1 : 500 L$, где L – действительный размер объекта, при точности пиксельной

информации $m_p = 0,5 \text{ pix}$, размер одного пикселя квадратной формы должна составить $p_x = p_y = \frac{l}{M} = \frac{2\,000}{500} = 4 \text{ мкм}$, что вполне достижимо современными CCD-камерами. При $p_{x,y} = 4 \text{ мкм}$ угловой размер пикселя матрицы Δu составит $\Delta u = \frac{d}{l} \varphi = \frac{4}{2\,000} 2\,062,65 \cong 4''$. Поскольку $m_p = 0,5 \text{ pix}$, то в угловой мере $m_p = 2''$, что вполне достаточно, например, для определения и исправления угла i при поверке точных нивелиров типа Н-3 и других, в том числе и цифровых, на стенде с использованием эталонного нивелира и CCD-камеры.

Номинальный размер пикселя можно получить и из технического паспорта ПЗС-камеры, но в любом случае важен фактический его размер.

Стенд для поверки оптических и цифровых нивелиров. На кафедре геодезии МИИГАиК разработан стенд СПН для автоматизированной поверки главного условия оптических и цифровых нивелиров. Стенд позволяет оперативно определить основные метрологические характеристики оптических и цифровых нивелиров, а так же оснащен системой визуализации результата определения и при необходимости исправления угла i (угла отклонения визирной оси нивелира от горизонтального положения) в режиме реального времени.

Принципиальная схема работы стенда для поверки нивелиров (рис. 3) заключается в следующем. Осветительное устройство, закрепленное на окуляре поверяемого нивелира (1), освещает его сетку нитей (2). Изображение сетки нитей испытуемого нивелира, объективом (3) поверяемого прибора и объективом эталонного нивелира (4) проецируется на сетку нитей последнего (5). Проекция двух сеток нитей, наложенные друг на друга, объективом (6) веб-камеры направляются на ПЗС-матрицу цифровой камеры (7). Видеосигнал с цифровой камеры поступает в компьютер, где производится обработка полученного изображения и вычисляется искомый угол i .

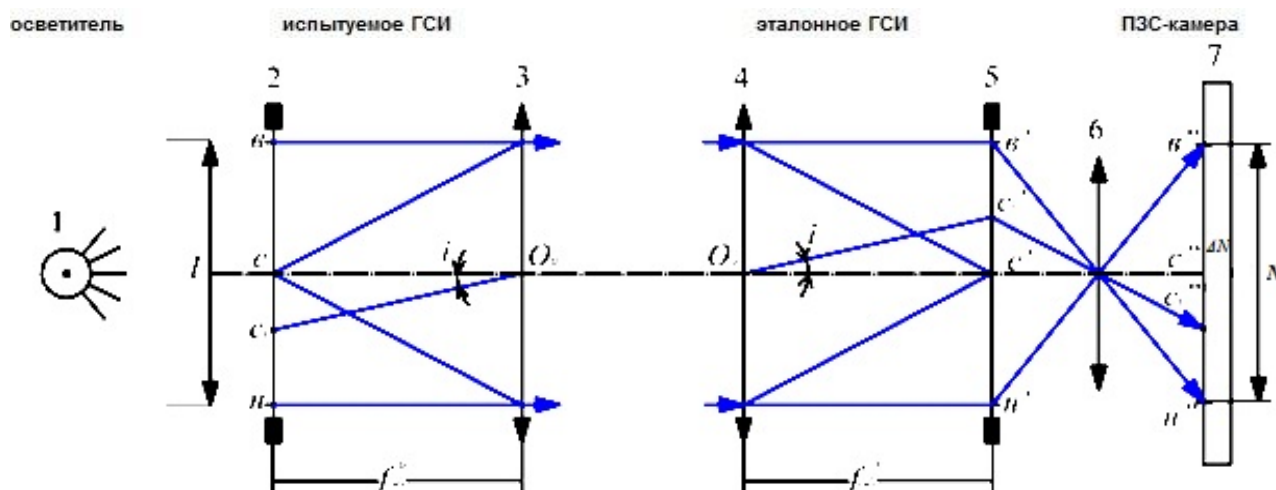


Рис. 3. Оптическая схема СПН

Конструкция разработанного стенда показана на рис. 4. На столешницу (1), жестко закрепленную на две стабильные опоры (7) и являющуюся главной рабочей поверхностью стенда, установлены два подъемных столика (6), позволяющих быстро и довольно легко привести визирные оси эталонного и поверяемого приборов примерно к одному горизонту, что требуется в соответствии с методикой выполнения поверки. На один из подъемных столиков (6) устанавливается испытуемый нивелир (3) с закрепленным на окуляре осветительным устройством (2). На другом подъемном столике (6) зафиксирован эталонный нивелир (4), на окуляре которого установлена цифровая камера (5).

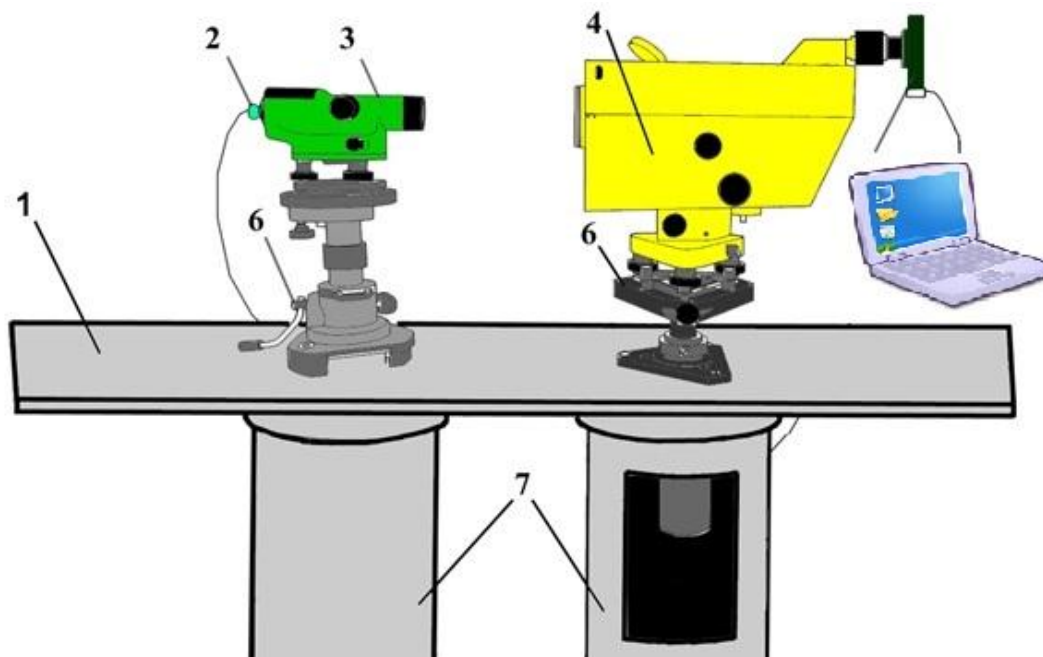


Рис. 4. Стенд для поверки оптических и цифровых нивелиров – СПН

В качестве эталона используется оптический высокоточный нивелир с компенсатором Ni002 фирмы Carl Zeiss. Средняя квадратическая погрешность на 1 км двойного хода для Ni002 не более 0,5 мм, погрешность работы компенсатора не превышает 0,5".

Цифровая камера, используемая на стенде, имеет разрешение не менее 7 Мрх (3 500 × 2 000 пикселей).

Из теории нитяного дальномера (рис. 5) известно, что при геометрическом нивелировании длина плеча S до рейки определяется по формуле:

$$S = S' + f_{об} + d = \frac{l}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} + f_{об} + d.$$

Обозначив $\frac{1}{2} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2} = C$, получим $S = Cl + f_{об} + d$.

При коэффициенте дальномера $C = 100$, параллактический угол $\varphi = 34,38' = 2\,062,65''$, при этом расстояние между нитями $l = 2,0$ мм.



Рис. 6. Усовершенствованный стенд СПН

Таблица 1

Оценка точности работы на стенде

№ п/п	$i_{\text{уст}}$	$i_{\text{изм}}$	$\Delta = i_{\text{уст}} - i_{\text{изм}}$
1	-5'00"	-4'59,49"	-0,51"
2	-4'00"	-3'58,94"	-1,06"
3	-3'00"	-2'59,69"	-0,31"
4	-2'01"	-2'02,34"	1,34"
5	-1'00"	-1'00,34"	0,34"
6	-0'02"	-0'01,80"	-0,20"
7	0'04"	0'05,68"	-1,69"
8	1'09"	1'08,25"	0,75"
9	2'02"	2'03,97"	-1,98"
10	3'06"	3'07,89"	-1,90"
11	4'06"	4'06,63"	-0,63"
12	5'04"	5'05,73"	-1,73"

Таблица 2

Оценка дискретности пиксела

№ п/п	N, pix	$\lambda, "$
1	2 077,214	0,993
2	2 072,217	0,995
3	2 065,931	0,998
4	2 068,086	0,997
5	2 065,326	0,999
$\lambda_{\text{среднее}}$		0,996

В табл. 2 $\lambda = \frac{\Delta\varphi}{N}$; $\Delta\varphi$ – паралактический угол нитяного дальномера эталонного нивелира; N – количество пикселей ПЗС-матрицы, соответствующих $\Delta\varphi$.

Поскольку СКО определения координат точек той или иной нити сетки составляет 0,5 пиксела, то следует признать, что неопределенность позиционирования положения дальномерных нитей в угловой мере составляет 0,4–0,6″.

На компьютере, подключенном к системе СПН, запускается программа отсчитывания и в рабочем окне программы (на мониторе) визуализируется две сетки нитей. Оператор указывает перекрестия дальномерных нитей сетки. Программа (рис. 7) определяет координаты указанных оператором точек на снимке и по ним вычисляет величину угла i , после чего выводит ее непосредственно на монитор.

$$i = \Delta\varphi \frac{\Delta N}{N},$$

где ΔN – расстояние между перекрестиями сеток нитей поверяемого и эталонного нивелира в пикселах.

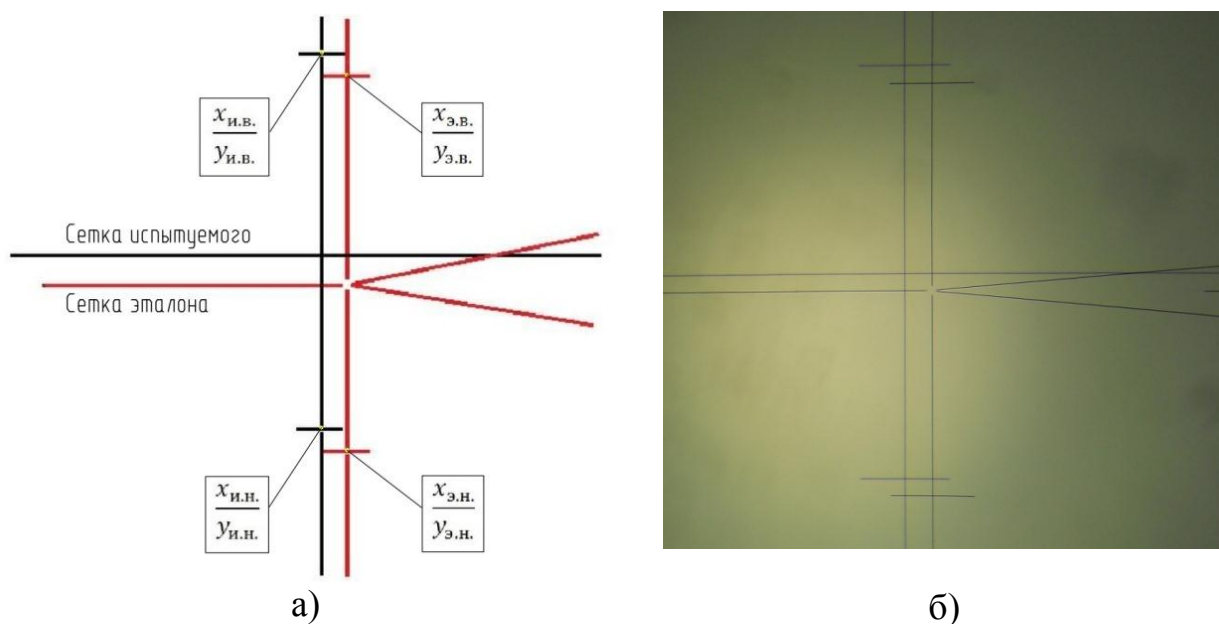


Рис. 7. Окно программы СПН:

а) принципиальная схема работы программы; б) действительное окно программы

Такова сущность работы стенда СПН для проверки главного условия оптических и цифровых нивелиров с использованием ПЗС-матрицы. Блок-схема алгоритма программы СПН приведена на рис. 8. При этом предоставляется возможность автоматического определения угла i без участия оператора, с последующим вычислением и выводом на печать протокола поверки нивелира. Отметим, что на стенде СПН возможно исследование диапазона работы, случайной и систематической ошибок компенсации [1], перекося сетки нитей и т. п.



Рис. 8. Блок-схема алгоритма программы СПН

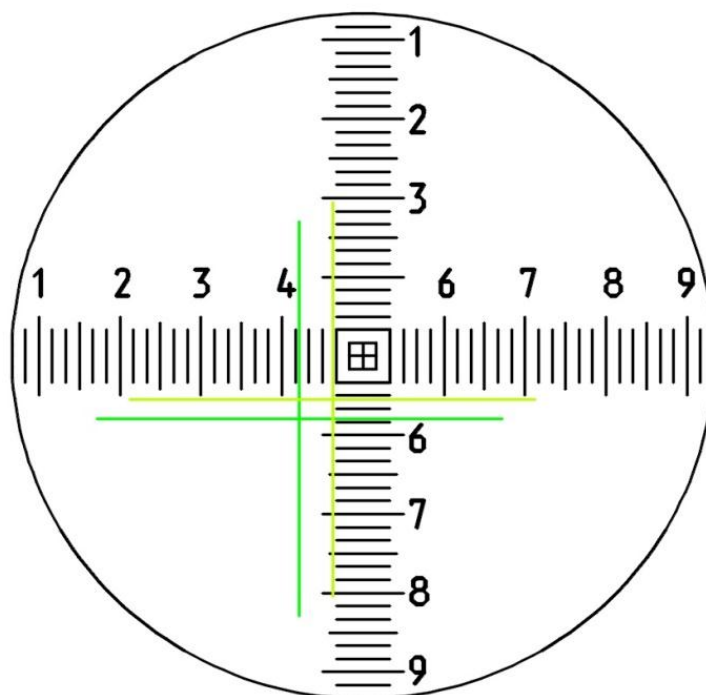


Рис. 9. Поле зрения автоколлиматора

Вышеизложенная идея одновременного позиционирования исследуемого объекта и рабочего эталона полностью может быть использована при контроле прямолинейности и плоскостности автоколлиматорами.

В данном случае рабочим эталоном (рис. 9) может служить угломерная шкала автоколлиматора по которому определяется размер пиксела в угловой мере для перевода измеренных значений в систему единиц SI.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ямбаев Х. К. Геодезия. Исследование, поверка и юстировка средств измерений: учеб. пособие для вузов. – М. : Изд-во МИИГАиК, 2016. – 342 с.
2. Соломатин В. А. Оптические и оптико-электронные приборы в геодезии, строительстве и архитектуре : учеб. пособие. – М. : Машиностроение, 2013. – 288 с.
3. Афанасьев В. А., Жилкин А. М., Усов В. С. Автоколлимационные приборы. – М. : Недра, 1982. – 145 с.
4. Принципы работы и устройство приемников света на ПЗС [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.startcopy.net/notes/ccd.shtml>.

© Х. К. Ямбаев, С. В. Староверов, 2017

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СВОБОДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ПОСТОБРАБОТКИ ГНСС-ИЗМЕРЕНИЙ

Станислав Олегович Шевчук

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, преподаватель кафедры физической геодезии и дистанционного зондирования, тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Карина Ивановна Малютина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент, тел. (913)716-61-30, e-mail: malyutina.karina.ivanovna@yandex.ru

Леонид Алексеевич Липатников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, ведущий инженер, директор МЦКП «ГНСС-технологии» СГУГиТ, тел. (923)227-89-57, e-mail: lipatnikov_l@mail.ru

В статье рассмотрена возможность применения некоммерческих программных продуктов для постобработки ГНСС-измерений. Выполнены сравнительные испытания различных программ в режиме статики и кинематики относительным методом и методом PPP. В качестве примера некоммерческих программ взят пакет RTKLIB. Коммерческие программы представлены ПО Magnet Office Tools, GrafNav и Justin.

Ключевые слова: ГНСС, GPS, постобработка, программы постобработки, RTKLIB, PPP.

PROSPECTS OF USING FREE SOFTWARE FOR GNSS MEASUREMENTS POST-PROCESSING

Stanislav O. Shevchuk

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., lecturer at the Department of Geodesy and Remote Sensing, tel. (903)936-7853, e-mail: staspp@211.ru

Karina I. Malyutina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., student, tel. (913)716-61-30, e-mail: malyutina.karina.ivanovna@yandex.ru

Leonid A. Lipatnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph. D., leading engineer, director of Center for GNSS technologies at SSUGT, tel. (923)227-89-57, e-mail: lipatnikov_l@mail.ru

Opportunities of free software application for GNSS post-processing are discussed in the article. The comparisons of the performance of different examples of commercial and free software for GNSS Post Processing in relative and PPP kinematic and static modes are given. Free software is presented by RTKPOST which is a part of RTKLIB. Commercial software used for experiments was Magnet Office Tools, GrafNav and Justin.

Key words: GNSS, GPS, post-processing, GNSS post-processing software, software, RTKLIB, PPP.

В настоящее время решение широкого спектра инженерных и исследовательских задач, требующих высокоточного определения местоположения и времени, выполняется с применением ГНСС-технологий.

Получение координат и поправок шкал времени посредством аппаратуры ГНСС может осуществляться в режиме реального времени и при постобработке, выполняемой после завершения измерений.

В силу того, что при выполнении постобработки ГНСС-измерений, как правило, доступно большее количество дополнительных исходных данных (измерения с дополнительных базовых станций, «точные орбиты» и пр.), а сама обработка может выполняться с прямой (Forward) или обратной фильтрацией (Reverse) по времени, считается, что результаты измерений могут быть получены наиболее точно [1].

Для постобработки ГНСС-измерений существует широкий спектр различного программного обеспечения (ПО), которое может быть условно разделено на следующие категории [2]:

- коммерческие программы;
- научные программы;
- некоммерческие программы.

Коммерческое программное обеспечение, как правило, служит для обработки измерений приемников определенного производителя. Перекрестная совместимость с другой аппаратурой при этом реализуется посредством универсального формата RINEX. Функционал подобных программ обычно удовлетворяет требованиям пользователя ГНСС, применяющего их для решения различных инженерных задач. Алгоритмы функционирования таких программ, как правило, скрыты от пользователя, декомпиляция таких программ и получение исходного кода запрещены лицензионным соглашением.

Примерами коммерческих программ могут служить: Trimble Business Center (Trimble Navigation Ltd.), Topcon/Magnet Tools (Topcon Positioning Systems Inc.), WayPoint GrafNav (NovAtel Inc.), Leica Geo Office (Leica Geosystems AG), Pinnacle/Justin (Javad GNSS Inc.) и др.

Научные программы зачастую имеют открытые алгоритмы. Их распространение может быть как бесплатным, так и коммерческим. Над такими программами трудятся научные коллективы. Такие программы обычно имеют сложный, особенно для неподготовленного пользователя, интерфейс, а их функционал позволяет решать ряд дополнительных научно-исследовательских задач. Примерами научного ПО являются: Bernese GNSS Software (Астрономический университет Берна), GAMIT/GLOBK (Массачусетский институт технологий), GIBSY-OASIS II (Лаборатория реактивного движения NASA, Калифорнийский институт технологий), GEONAP (Университет Ганновера) и др.

Некоммерческое программное обеспечение – явление, которое становится в настоящее время все более распространенным. Такое ПО распространяется бесплатно на основе свободных лицензий, их исходный код, как правило, открыт и может редактироваться пользователем. Функции таких

программ чаще всего соответствуют коммерческому программному обеспечению (ПО) или несколько проще. Такие программы чаще всего разрабатываются научно-исследовательскими и образовательными организациями. Примерами некоммерческих программ для математической обработки ГНСС-измерений могут служить GPSToolkit (Университет Техаса в Остине) и RTKLIB (T. Tacasu).

Кроме того, обработка измерений может осуществляться посредством *онлайн-сервисов*, часть из которых основана на относительном методе и использует данные ГНСС-измерений, полученные от сетей постоянно действующих базовых станций [2–4], что ограничивает территорию их функционирования зоной покрытия используемой сети. Другие сервисы используют метод Precise Point Positioning (PPP) [3, 4] для обеспечения глобальной доступности позиционирования с погрешностями на уровне первых сантиметров [3–6]. Большая часть онлайн-сервисов является бесплатной. Примерами онлайн-сервисов, имеющих мировой охват могут служить [3,4]: AUSPOS (Правительство Австралии), CSRS-PPP (Управление природных ресурсов Правительства Канады), APPS (Лаборатория реактивного движения NASA, Калифорнийский институт технологий), magicGNSS (GMV) и другие.

Применение некоммерческих программ и бесплатных онлайн-сервисов потенциально может заметно повысить экономическую эффективность геодезических работ. Кроме того, такие программы могли бы использоваться в качестве запасного варианта при сбоях в процессе обработки с помощью коммерческого ПО.

Для исследования было выбрано некоммерческое программное обеспечение RTKLIB (версия 2.4.2), в настоящее время все шире используемое для решения различных прикладных и исследовательских задач [7–9].

Коммерческое ПО, взятое для сравнения, было выбрано на основе результатов исследований [10, 11]. Кроме того, в рамках данной статьи для сравнения обработки методом PPP была выполнена обработка измерений посредством онлайн-сервиса CSRS-PPP Управления природных ресурсов Канады [12].

В табл. 1 приведены сравнительные характеристики исследуемого ПО и сервисов [12–16].

Эксперимент в режиме статики

Исследования выполнялись в июне 2016 года на пунктах отраслевого геодезического полигона АО «СНИИГГиМС». Пункты располагаются в различных условиях приема спутникового сигнала (открытая местность, граница леса, лесная местность) (табл. 2).

Такое расположение пунктов помогает исследовать точностные возможности ГНСС-аппаратуры и алгоритмов программного обеспечения в сложных ландшафтных условиях, для которых характерно наличие препятствий на радиогоризонте, и, как следствие, многопутность и затухание спутниковых сигналов.

Таблица 1

Исследуемое ПО и его характеристики

Наименования характеристик		Программное обеспечение				Онлайн-сервисы
		Waypoint GrafNav 8.2	Magnet Office Tools	Justin	RTKLIB	CSRS-PPP
Тип		Коммерческое ПО			Некоммерческое ПО	Бесплатный PPP сервис
Разработчик		NovAtel, Inc	Topcon Position Systems, Inc	Javad GNSS	T. Tacasu	IGS, Natural Resources Canada
Версия		8.2	2.5	2.121	2.4.2	1.05
Год выхода версии		2009	2013	2015	2013	2014
Наличие руководства		+	+	+	+	+
Обработка L1/L2		+	+	+	+	+
Обработка кинематики		+	+	+	+	+
Поддержка ГЛОНАСС		+	+	+	+	не указано
Возможность обработки измерений непосредственно ГЛОНАСС (без GPS)		-	+	+	+	-
Ограничение базовой линии (для двухчастотных измерений), км	Фикс. решение	30	не указано	не указано	не указано	-
	Предельная величина	1500	не указано	не указано	не указано	-
Ограничение по частоте измерений		не указано	не указано	до 100 Гц	не указано	интерполяция, если чаще 1Гц
Поддержка RINEX 2.11 и выше		+	+	+	+	+
Поддержка моделей геоидов (EGM08 и др.)		+	+	+	+	Только CGVD
Возможность сетевого решения		+	+	+	-	-
Решение методом Precise Point Positioning (PPP)		+	-	-	+	+
Модель тропосферы по умолчанию при использовании относительного метода		Saastamoinen	Goad and Goodman	Justin	Saastamoinen	Hopfield + Davis (GPT)

Пункты, на которых выполнялись измерения в режиме статики

Наименование пункта	Тип местности	Расстояние от базовой станции, км
«Потанинский»	Открытая	(базовая станция)
«Спартак»	Открытая	12,7
064	Граница леса	20,6
«Морской»	Хвойный лес	17,8
4976	Лиственный лес	24,5

Измерения выполнялись двухчастотными мультисистемными приемниками Leica Viva GS10 с интервалом 1 с. Использовались системы ГЛОНАСС, GPS. Продолжительность сеансов измерений составляла 10, 30 и 60 мин. Расположение мобильной станции (ровера) на пунктах показано на рис. 1.

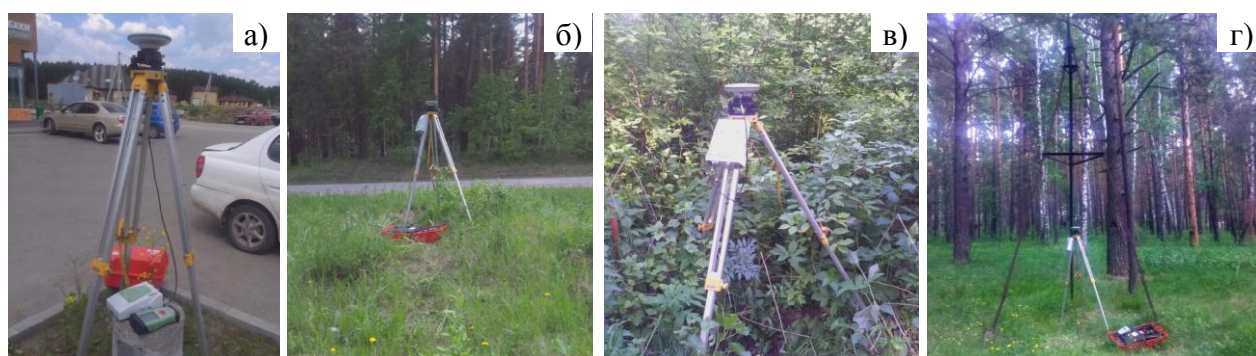


Рис. 1. Расположение мобильной станции на пунктах эталонного геодезического полигона:

а) п. «Спартак» (открытая местность); б) 064 (граница леса); в) п. «Морской» (лиственный лес); г) 4976 (хвойный лес)

Базовая станция располагалась на п. «Потанинский», находившемся на крыше лабораторного корпуса АО «СНИИГГиМС».

При наблюдениях на указанных пунктах контролировалось количество спутников и PDOP (табл. 3).

Обработка выполнялась относительным методом с помощью ПО RTKLIV, GrafNav, Magnet OT и Justin. Результаты сравнения полученных координат пунктов с их эталонными значениями для различной продолжительности измерений приведены в табл. 4. В таблице зеленым цветом показаны фиксированные решения фазовой неоднозначности, желтым – плавающие, красным – решения по коду, серым – отсутствующие/навигационные решения (в расчет не брались).

Таблица 3

Условия приема спутниковых сигналов на пунктах измерения
и базовой станции

Наименование пункта, тип местности	Продолжительность измерений, мин	Количество спутников (среднее)		Среднее значение PDOP
		GPS	ГЛОНАСС	
п. «Спартак» (открытая местность)	10	10	8	1,4
	30	9	8	1,4
	60	10	7	1,4
064 (полузакрытая местность)	10	9	6	1,9
	30	9	7	1,9
	60	10	8	2,0
п. «Морской» (закрытая местность)	10	9	6	2,4
	30	9	6	2,8
	60	-	-	-
4976 (закрытая местность)	10	9	6	2,4
	30	9	6	3,0
	60	9	7	2,8
п. «Потанинский» (базовая станция)	> 300	8–9	8–10	1,1–1,2

Таблица 4

Сравнение координат пунктов, полученных обработкой
относительным методом в различном ПО, с эталонными значениями

Наименование пункта, тип местности	Продол- житель- ность из- мерений, мин	Абсолютная погрешность позиционирования, м							
		GrafNav		Magnet OT		Justin		RTKLIB	
		в плане	по вы- соте	в плане	по вы- соте	в плане	по вы- соте	в плане	по вы- соте
п. «Спартак» (открытая местность)	10	0,03	0,02	0,08	0,07	0,03	0,77	0,03	0,11
	30	0,03	0,01	0,06	0,06	0,04	0,06	0,04	0,10
	60	0,03	0,01	0,03	0,00	0,03	0,09	0,02	0,08
п. 064 (граница леса)	10	0,04	0,02	0,04	0,00	0,04	0,12	0,04	0,10
	30	0,03	0,06	0,19	0,16	0,04	0,13	0,04	0,08
	60	0,03	0,06	0,03	0,01	0,03	0,10	0,05	0,05
п. «Морской» (лиственный лес)	10	0,88	0,03	0,74	0,66	1,20	1,74	0,14	0,09
	30	0,17	0,10	0,19	0,16	0,12	0,14	0,10	0,05
п. 4976 (хвойный лес)	10	-	-	0,71	1,50	0,11	0,04	0,12	0,46
	30	6,48	9,23	1,48	1,58	-	-	1,17	1,59
	60	23,72	43,94	1,29	2,36	-	-	0,12	0,48

При этом в RTKLІВ в режиме объединения статических решений (Solution of Static Mode) в одну точку (Single) всегда указывалось фиксированное решение, а фактический тип решений был доступен только при выводе статистики в виде трека (All).

Отдельно производилась обработка методом PPP в ПО GrafNav и RTKLІВ, а также с помощью онлайн-сервиса CSRS-PPP. При сличении эталонных и оцененных координат пунктов имел место систематический сдвиг, возникающий из-за различий в локальных и глобальных параметрах пересчета координат из WGS84/ITRF2008 в СК-42. Результаты приведены в табл. 5.

Таблица 5

Сравнение координат пунктов, полученных обработкой методом PPP в различном ПО, с эталонными значениями

Наименование пункта, тип местности	Продолжительность, мин	Абсолютная погрешность позиционирования, м					
		GrafNav		CSRS-PPP		RTKLІВ	
		в плане	по высоте	в плане	по высоте	в плане	по высоте
п. «Потанинский» (открытая местность)	360	0,17	0,25	0,18	0,23	0,16	0,27
п. «Спартак» (открытая местность)	10	0,20	0,12	0,08	0,13	0,35	0,25
	30	0,20	0,15	0,10	0,12	0,19	0,03
	60	0,18	0,11	0,12	0,15	0,12	0,10
П. 064 (граница леса)	10	0,15	0,05	0,14	0,09	0,67	0,94
	30	0,14	0,07	0,13	0,06	0,50	0,83
	60	0,14	0,04	0,12	0,05	0,41	0,31
п. «Морской» (лиственный лес)	10	0,04	0,11	0,93	1,26	0,93	3,14
	30	0,82	0,02	0,42	0,65	0,35	0,79
п. 4976 (хвойный лес)	10	1,40	1,09	1,83	1,37	1,30	2,09
	30	0,35	0,56	1,26	1,68	1,07	0,20
	60	1,19	0,84	1,01	1,09	0,79	2,64

В табл. 5 цветом выделены решения, для которых плановое местоположение отличается от эталонного более чем на 1 м.

При выполнении обработки, в каждой программе создавался проект, включающий в себя четыре наблюдаемых пункта с продолжительностью измерений 10, 30 и 60 мин. Для GrafNav, RTKLІВ и CSRS-PPP, однако, каждый сеанс измерений обрабатывался отдельно, так как отсутствовала возможность обрабатывать данные нескольких мобильных станций в одном проекте.

На рис. 2 отмечены оцененные с помощью различного ПО местоположения контрольных пунктов.

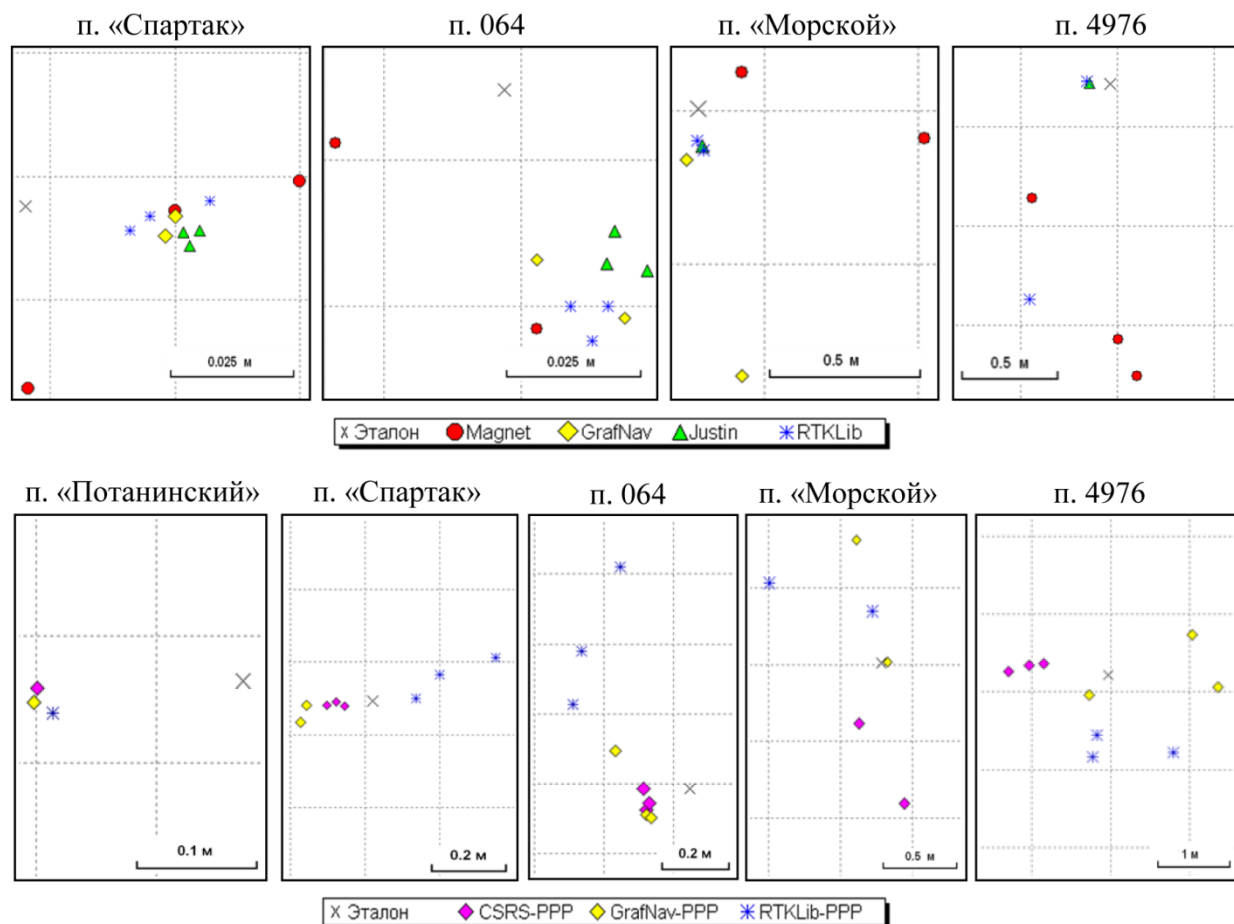


Рис. 2. Сравнение результатов оценивания планового местоположения пунктов, полученных с помощью различного ПО

По итогам эксперимента, можно констатировать, что при позиционировании относительным методом, с помощью RTKLIB могут быть получены решения того же уровня точности, что и при использовании коммерческих программ: разности между решениями составили не более 1–2 см в плане и не более 4–5 см по высоте. Более того, в сложных условиях приема спутниковых сигналов программа RTKLIB в целом показала лучшие результаты, чем коммерческое ПО.

Что касается обработки методом PPP, в открытой местности и на границе леса, координаты пунктов, полученные RTKLIB методом PPP, имели погрешности уровня 0,1–0,3 м, что соответствует точности CSRS-PPP и GrafNav. Погрешность результатов, полученных с использованием всех испытуемых программ, в условиях закрытой местности достигала 1–2 м в плане.

Погрешность определения высот методом PPP для коротких сеансов была в 2–3 раза выше, чем у CSRS-PPP и GrafNav, однако, практически выравнивалась с ними при обработке сеансов продолжительностью 60 минут.

В целом, можно констатировать, что PPP в RTKLIV соответствовала другим испытуемым программам, однако для этого требовалась большая продолжительность измерений.

Важно отметить, что продолжительность измерений, имевшая место в данных экспериментах является недостаточной для полноценной реализации метода PPP. Кроме того, эталонные координаты были известны на эпоху 2006 года и могли измениться на несколько дециметров.

Эксперимент в режиме кинематики

В качестве экспериментальных данных были взяты кинематические измерения, выполненные приемником Javad Sigma G3T в ходе аэрогеофизических работ в июле 2013 года в Курагинском районе Красноярского края, проводившиеся ЗАО «Аэрогеофизическая разведка». Расстояние от БС не превышало 30 км, запись велась с частотой 5 Гц. Эта же траектория использовалась в исследованиях, рассмотренных в [10, 11].

Общий вид исследуемой траектории показан в программе RTKLIV после обработки относительным методом и методом PPP на рис. 3.

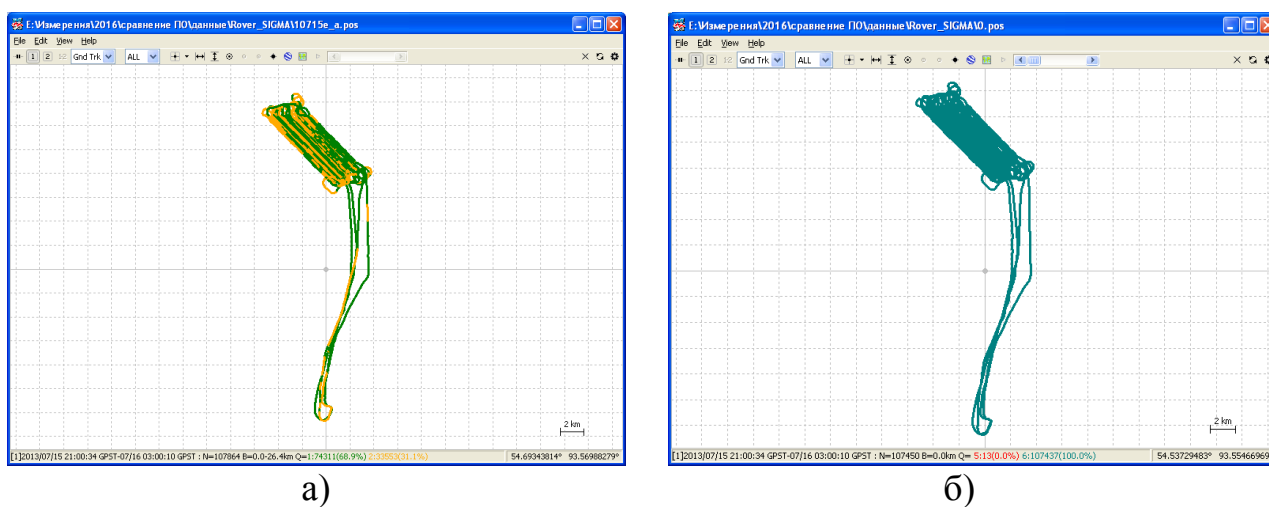


Рис. 3. Обработанная траектория полета в программе RTKLIV относительным методом (а) и методом PPP (б)

Ранее были выполнены исследования коммерческого ПО в кинематическом режиме, описанные в [10]. В указанной публикации не давалось оценок точности для траекторий, полученных обработкой в различных программах, однако были приведены результаты их сравнения. В данном случае также были проанализированы разности в координатах и высотах соответствующих по времени эпох траекторий, полученных RTKLIV и коммерческими программами.

Графики разностей плановых координат и высот точек траекторий, полученных относительным методом и методом PPP в ПО RTKLIV и коммерческих программах, приведены на рис. 4.

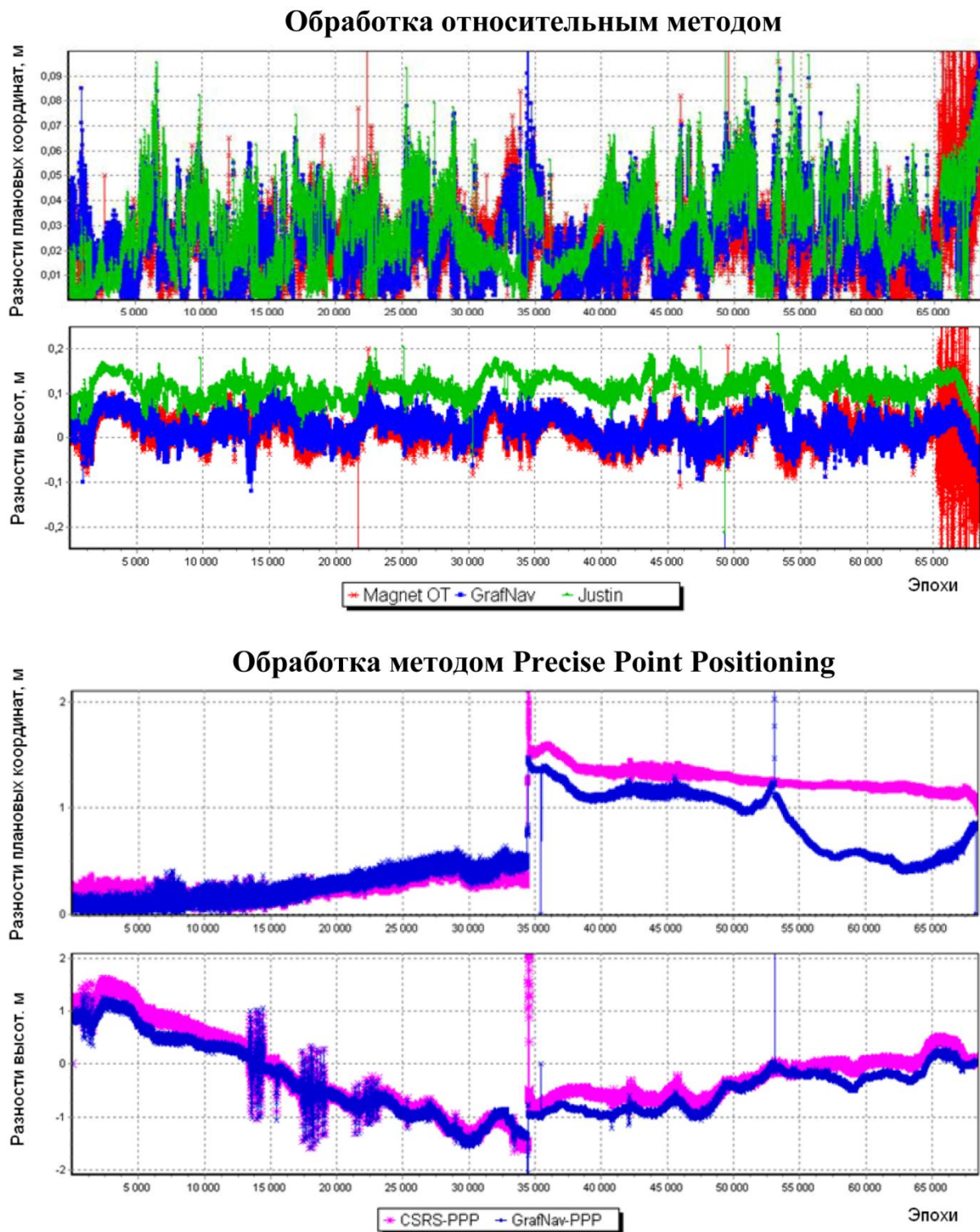


Рис. 4. Графики сравнения координат и высот точек траекторий, полученной с помощью RTKLIV и других испытываемых программах/сервисах

Кроме того, сравнение качества обработки траектории выполнялось по отчетам по обработке измерений, предоставляемым сервисами и программами, а также по продолжительности обработки траектории.

В указанных отчетах для оценки точности оценивания траектории в GrafNav, RTKLIB и CSRS-PPP приводились величины стандартных отклонений (StDev) в плане и по высоте для каждой эпохи; в ПО Justin и Magnet Tools каждая эпоха обработанной траектории характеризовалась СКП в плане и по высоте (horizontal/vertical RMS). Здесь, несмотря на различия в названии точностных параметров, речь идет об оценке точности по внутренней сходимости результатов.

Результаты отдельного анализа отчетов по обработке приведены в табл. 6.

Таблица 6

Анализ каталогов полученных траекторий по отчетам об обработке

Наименования характеристик		Относительный режим				PPP		
		GrafNav	Magnet OT	Justin	RTKLIB	GrafNav	CSRS-PPP	RTKLIB
Время обработки полета, мин		10	> 60	15	45	15	~25	10
Качество разрешения многозначности, %	Фиксированные	94,4	65,5	100,0	68,9	0	100,0	100,0
	Плавающие	5,6	34,45	-	31,1	100,0		
	Кодовые	-	0,05	-	-	-		
	Нет решения	-	-	-	-	-		
Средняя внутренняя погрешность (СКП или StDev) в плане, м		0,02	0,04	0,02	0,04	0,11	0,02	0,3
Средняя внутренняя погрешность (СКП или StDev) по высоте, м		0,04	0,06	0,02	0,08	0,16	0,05	0,4

Примечание: анализировались эпохи непосредственно кинематической траектории полета (68500 эпох. 3 ч 50 мин) из общей продолжительности измерений 6 ч

В табл. 7 приведены статистические величины, характеризующие результаты сравнения RTKLIB с другими испытываемыми программами и сервисами.

Таблица 7

Разности решений RTKLIB и других испытываемых программ

Наименование параметра	Относительный режим			PPP	
	GrafNav	Magnet OT	Justin	GrafNav	CSRS-PPP
СКП разностей, м (в плане; по высоте)	0,03; 0,04	0,04; 0,07	0,04; 0,13	0,83; 0,87	0,71; 0,93
Средняя разность, м (в плане; по высоте)	0,03; 0,02	0,02; 0,02	0,03; 0,11	0,58; 0,35	0,51; 0,15

В разностях между решениями RTKLIV и другого ПО очевидны общие закономерности (см. рис. 4), позволяющие предположить, что алгоритмы, используемые в RTKLIV могут иметь индивидуальные особенности, отличные от остальных программ.

В целом, координаты и высоты траектории, получаемые обработкой относительным методом, отличаются на 0,03–0,04 м (исключение составляют высоты, определенные с помощью Justin, имеющие систематический сдвиг относительно всех остальных решений на 0,05–0,08 м).

Результаты обработки методом PPP с помощью RTKLIV отличаются от решений CSRS-PPP и GrafNav на величину около 0,7–0,9 м в плане и по высоте. При этом решения CSRS-PPP и GrafNav имеют минимальные различия между собой. Характерный скачок в средней части графиков объясняется сменой суток по шкале времени GPS.

Для более объективной оценки качества обработки методом PPP в RTKLIV и другом испытуемом ПО, было выполнено сравнение координат и высот, полученных данным методом с координатами точек траектории, полученной в ПО GrafNav относительным методом (рис. 5).

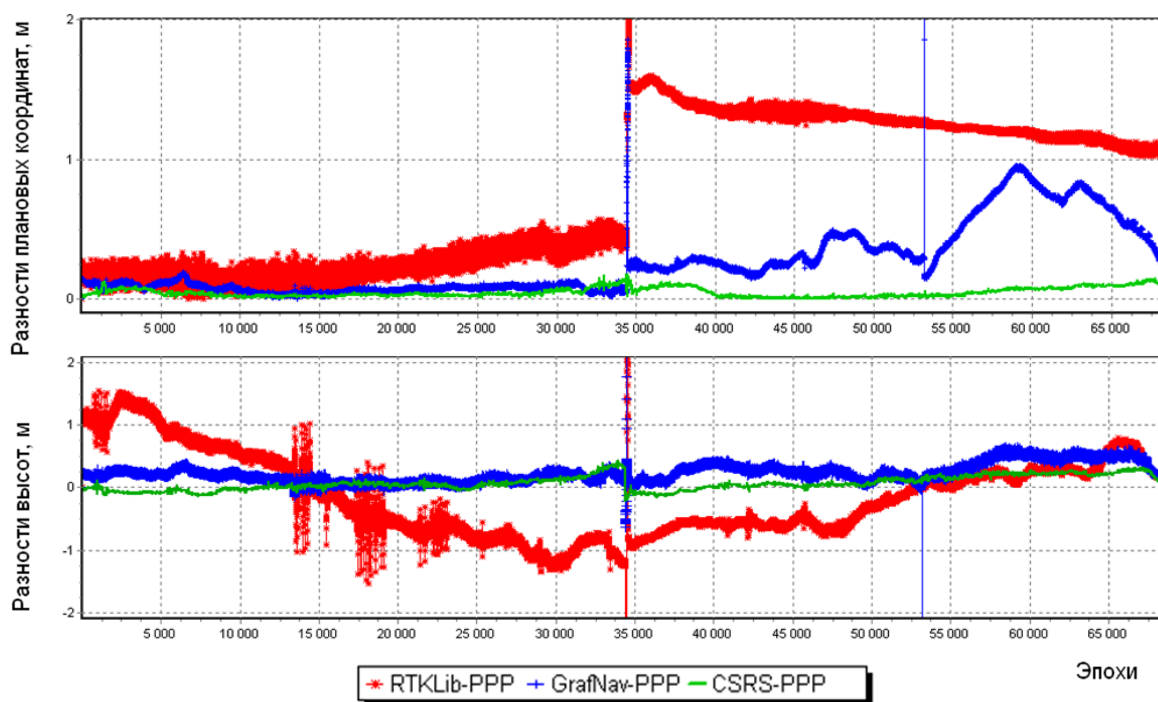


Рис. 5. Графики сравнения координат и высот точек траекторий, полученной в программах/сервисах методом PPP с траекторией, обработанной относительным методом в ПО GrafNav

Из приведенных графиков, очевидно, что решения сервиса CSRS-PPP наиболее близки к результатам обработки относительным методом, а наиболее грубые (до 1,5 м) отклонения имеют решения RTKLIV.

Дальнейшие исследования причин таких погрешностей показали, что наблюдаемые погрешности связаны с высокой частотой измерений (5 Гц). При разрежении измерений, СКП, оцененные по разностям в плане и по высоте уменьшаются до величин 0,3 и 0,4 м, что сравнимо с решениями CSRS-PPP. Однако для решения ряда задач такая периодичность измерений не является оптимальной.

Выводы

Безусловно, на данном этапе (версия 2.4.2) RTKLIV имеет ряд недостатков в сравнении с коммерческим ПО:

- сложный пользовательский интерфейс;
- невозможность обработки данных нескольких роверов в рамках одного проекта;
- скудные настройки систем координат (по умолчанию доступна только WGS-84);
- сравнительно медленная обработка кинематики (относительным методом позиционирования);
- отсутствие алгоритмов сетевого решения (используется не более одной базовой станции);
- отсутствие поддержки режима «Stop-and-Go».

Эти недостатки ощутимо сужают круг задач, решаемых программой. Часть из отсутствующих функций, однако, может быть запрограммирована пользователем.

Вместе с тем, необходимо отметить ряд достоинств данной программы, выгодно выделяющих ее на фоне коммерческого ПО:

- поддержка большинства функций современного коммерческого ПО для постобработки фазовых измерений (обработка базисных векторов L1+L2; работа в реальном времени в абсолютном, дифференциальном и RTK режимах; поддержка универсального формата RINEX и пр.) [13];
- поддержка большого количества сторонних форматов (посредством встроенной утилиты TEQC);
- возможность обработки методом PPP;
- наличие фильтра Кальмана в прямом и/или обратном направлении;
- открытый программный код, подробно изложенные алгоритмы, возможность дополнения и усовершенствования;
- свободное распространение на основе бесплатной лицензии.

По результатам проведенных экспериментов, установлено, что статические решения, получаемые посредством некоммерческой программы RTKLIV, имеют отличия от решений, получаемых коммерческими программами относительным методом позиционирования, в пределах 1–2 см в плановых координатах и 4–6 см по высоте.

При этом в залесенной местности программа показала себя более надежно, чем коммерческие аналоги. Это свойство может быть использовано, например,

при геодезическом обеспечении геолого-геофизических работ, зачастую проводимых в подобной местности [17, 18].

При обработке кинематических траекторий, разности между координатами, получаемыми RTKLIV и коммерческим ПО возрастают в 1,5–2 раза.

Таким образом, при постобработке ГНСС-измерений относительным методом, программа RTKLIV показывает качество решений, сопоставимое с коммерческими программами, не смотря на отсутствие некоторых дополнительных возможностей.

Координаты и высоты, полученные методом PPP в RTKLIV имели погрешности, соответствующие погрешностям онлайн-сервиса CSRS-PPP и ПО GrafNav, если не брать в расчет короткие сеансы спутниковых наблюдений (менее 30 минут). Для открытой местности эти погрешности, как правило, не превышали первых дециметров, в лесу доходили до 1–2 м.

В режиме кинематики, решения RTKLIV методом PPP имели отличия от других испытываемых программ на уровне 0,7–0,9 м в плане и по высоте, что несколько ограничивает применение данного режима. Указанные погрешности были выявлены при интервале измерений 0,2 с. В проведенном эксперименте погрешность уменьшалась при увеличении интервала измерений (разрежения набора данных).

На данном этапе, безусловно, существует техническая возможность применения свободного ПО для решения как научных, так и инженерных задач. Следует рассмотреть вопрос о сертификации этого ПО, так как обязательная процедура утверждения типа средств измерений, в том числе ГНСС-аппаратуры, предполагает идентификацию программного обеспечения и оценку его влияния на метрологические характеристики средства измерений.

В настоящее время RTKLIV продолжает активно дорабатываться, однако, также продолжают развиваться и коммерческие программные продукты. Представляется маловероятным, что по всей совокупности характеристик, включая универсальность и удобство использования, свободное ПО в скором времени превзойдет коммерческие образцы. Как правило, некоммерческое ПО может быть эффективно использовано для решения узкого круга задач, в данном случае, для обработки данных ГНСС-измерений. Однако в настоящее время существует довольно большое многообразие узкоспециализированных программных продуктов под свободной лицензией: от калькуляторов координат [19] до средств обработки данных спутниковой радарной съемки [20]. Все большую популярность в настоящее время приобретают открытые геоинформационные системы и картографические сервисы [21, 22]. В этих условиях появляется возможность собрать полноценный инструментарий и выстроить альтернативные технологические цепочки с использованием исключительно некоммерческого программного обеспечения. Например, в качестве средства уравнивания геодезических сетей и менеджера систем координат, не предусмотренных в RTKLIV, можно использовать проверенное временем ПО SNAP и CONCORD, разработанное Службой геоинформации Новой Зеландии и распространяемое бесплатно в виде исполняемых файлов [23] и исходных кодов [24].

В заключение следует отметить, что использование ПО с открытым алгоритмом является одним из условий качественной интерпретации получаемых результатов. Развитие технологии геодезических работ, опирающейся на использование программного обеспечения, в котором каждый шаг обработки данных открыт пользователю, может быть проанализирован и усовершенствован, является крайне важным и для развития геодезии как науки, и для ее сохранения как сферы высококвалифицированной профессиональной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. El-Rabbany, Ah. Introduction to GPS / Ah. El-Rabbany. – British Library Cataloguing in Publication Data. – 2002. – 176 p.
2. Антонович, К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с. : ил.
3. Ocalan T., Erdogan B., Tunalioglu N. Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques // Boletim de ciencias geodesicas. – 2013. – 19 (2). – P. 191–207.
4. Rapiński J., Cellmer S. Tests of Selected Automatic Positioning Systems in Post-Processing Mode // Technical Sciences. – 2011. – No. 14 (1). – P. 45–56.
5. Bisnath S., Gao Y. Precise Point Positioning – A Powerful Technique with a Promising Future // GPS World. – 2009. – No. 4. – P. 43–50.
6. Chasagne O. One-centimeter accuracy with PPP // Inside GNSS. – 2012. – No. 2. – P. 49–54.
7. Jäger R. GOCA – GNSS Control [Electronic resource]. – URL: http://goca.info/docs/flyer/GNSSControl-Flyer_English.pdf.
8. Exploring ultra-low cost precision GPS with RTKLIB and Ublox receivers [Electronic resource] RtkLib Explorer. – URL: <https://rtklibexplorer.wordpress.com/>.
9. Reach [Electronic resource] / EMLID. – URL: <http://emlid.com/reach/>.
10. Шевчук С. О., Косарев Н. С., Антонович К. М. Сравнение коммерческих программ постобработки измерений ГНСС в режиме кинематики для геодезического обеспечения аэрогеофизических работ // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 79–102.
11. Шевчук С. О., Косарев Н. С. Исследование коммерческих программ постобработки измерений ГНСС в режиме кинематики для геодезического обеспечения аэрогеофизических работ. Первые результаты // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 69–76.
12. Precise Point Positioning [Electronic resource] / National Resources Canada – Earth Sciences. – URL: <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>.
13. RTKLib [Electronic resource] / RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning. – URL: <http://www.rtklib.com/>.
14. GrafNav/GrafNet User Guide [Electronic resource] / NovAtel. – URL: http://www.novatel.com/assets/Document/Downloads/NavNet780_Manual.pdf.
15. Justin. Руководство по использованию ПО [Электронный ресурс] / Javad GNSS – Режим доступа: http://www.javadgnss.ru/doc/justin/Justin_Software_Manual_RUS.pdf.
16. Magnet Tools. Справочное руководство. Серийный номер 1002090-01.
17. Шевчук С. О. Исследование метода точного точечного позиционирования для геодезического обеспечения геолого-геофизических работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картогра-

фия, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 2. – С. 251–258.

18. Навигационно-геодезическое обеспечение геолого-геофизических работ с использованием глобальных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, С. О. Шевчук // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 174–180.

19. NGS Geodetic Toolkit [Electronic resource]. – URL: <https://www.ngs.noaa.gov/TOOLS/>.

20. Next Era SAR Toolbox [Electronic resource]. – URL: <https://earth.esa.int/web/nest/home>.

21. Материалы – Открытые ГИС 2015 [Электронный ресурс] / Открытые ГИС 2015. – Режим доступа: <http://gisconf.ru/materials>.

22. Дубинин М. Ю., Рыков Д. А. Открытые настольные ГИС: обзор текущей ситуации // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2009. – 5 (72). – С. 20–27.

23. Land Information New Zealand. Download Geodetic Software [Electronic resource]. – URL: <http://www.linz.govt.nz/data/geodetic-services/download-geodetic-software>.

24. Land Information New Zealand on GitHub [Electronic resource]. – URL: <https://github.com/linz>.

© С. О. Шевчук, К. И. Малютина, Л. А. Липатников, 2017

ИССЛЕДОВАНИЕ МНОГОЦЕЛЕВОГО НАЗНАЧЕНИЯ ДАМБЫ КАИНДЖИ С ПОМОЩЬЮ БАТИМЕТРИЧЕСКОГО И ОБЪЕМНОГО МЕТОДОВ СЪЕМКИ

Рафаел Эхигиатор Иругхе

Университет Бенина, РМВ 1154, Нигерия, штат Эдо, доктор наук, доцент геодезии и геоматики, кафедра геоматики, факультет экологии, тел. (234)803-368-10-19, e-mail: raphael.ehigiator@uniben.edu

Оладозу С. Олушола

Университет Бенина, РМВ 1154, Нигерия, штат Эдо, преподаватель II категории, кафедра геоматики, факультет экологии, тел. (234)806-521-18-10, e-mail: olushola.oladosu@uniben.edu

При надлежащем анализе данных батиметрии можно получить точное представление о топографии глубин и объеме воды в дамбе в определенный период времени. Была выполнена батиметрическая съемка дамбы Каинджи с помощью эхолота MIDAS и двухчастотной GPS Trimble. Анализ производился с использованием Surfer 10. Подсчитанный объем воды составил 1 322 676.662 955 мм³. Общий объем, потребляемый турбинами в день, 1 896 000 л, в то время как потребление воды на душу населения в день – 5 518 445 л и 24 964 500 л соответственно минимальное и максимальное. Объем, оставшийся после потребления воды, составил 98 % от подсчитанного объема.

Ключевые слова: дамба Каинджи, батиметрия, объем, многоцелевой эффект, замер глубины, эхолот, турбины, потребление воды на душу населения.

PROSPECTING INTO THE MULTIPURPOSE BENEFITS OF KAINJI DAM USING BATHYMETRIC AND VOLUMETRIC SURVEY TECHNIQUES

Raphael Ehigiator Irughe

University of Benin, PMB 1154, Nigeria, Edo State, D. Sc., Associate Professor of Geodesy and Geomatics Engineering at the Department of Geomatics, Faculty of Environmental Sciences, tel. (234)803-368-10-19, e-mail: raphael.ehigiator@uniben.edu

Oladosu S. Olushola

University of Benin, PMB 1154, Nigeria, Edo State, Lecturer II at the Department of Geomatics, Faculty of Environmental Sciences, tel. (234)806-521-18-10, e-mail: olushola.oladosu@uniben.edu

Data from bathymetry when properly analyzed provide a good understanding of depth topography and the volume of water present in a dam at a particular period of time. Bathymetry survey of Kainji Dam was carried out using MIDAS Echo Sounder and Trimble Dual Frequency GPS. Data analysis was done using Surfer 10. The result of computed volume gave 1 322 676.662 955 Mm³. The total volume consumed by the turbines per day gave 1 896 000 L while that of per capita water use per day per inhabitant gave 5 518 445 L and 24 964 500 L at minimum and maximum rates respectively. Volume left after all withdrawers was 98 % of the computed volume.

Key words: Kainji Dam, Bathymetry, Volume, Multipurpose benefits, Sounding, DGPS, Echo Sounder, Turbines, Per Capita Water Use.

Introduction. In ancient times, dams were built for the single purpose of water supply or irrigation. As civilizations developed, there was a greater need for water supply, irrigation, flood control, navigation, water quality, sediment control and energy. Therefore, dams are constructed for a specific purpose such as water supply, flood control, irrigation, navigation, sedimentation control, and hydropower. A dam is the cornerstone in the development and management of water resource development of a river basin. The multipurpose dam is a very important project for developing countries, because the population receives domestic and economic benefits from a single investment [1]. Multipurpose dams are built for multipurpose use.

Bathymetry. NOAA, [2], defined bathymetry as the study of the "beds" or "floors" of water bodies, including the ocean, rivers, streams, and lakes. The term "bathymetry" originally referred to the ocean's depth relative to sea level, although it has come to mean "submarine topography," or the depths and shapes of underwater terrain. Bathymetry is the foundation of the science of hydrography, which measures the physical features of a water body. Hydrography includes not only bathymetry, but also the shape and features of the shoreline; the characteristics of tides, currents, and waves; and the physical and chemical properties of the water itself.

Study Area. The study area is as shown in figure 1, the left hand side is the topographic map merged with google earth satellite imagery for clearer view. The coordinates of Kainji dam is given as; 09°51'45" N and 04°36'48" E. It is a dam across the Niger River in Niger State of Northern Nigeria [4].

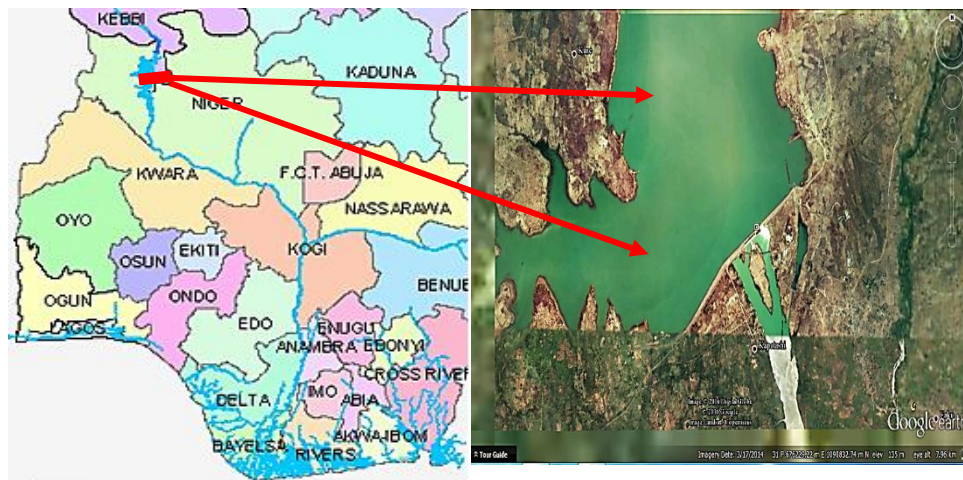


Fig. 1. Topographical Map and google earth imageries of the study area.
Source (google earth) and [3]

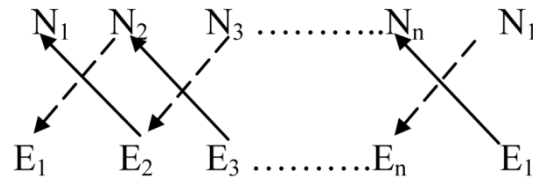
Methods. The bathy Survey boat used was an open fiber boat of 2 metre width, 5 metre length and 0.5 metre draft, mounted with 2 x 85 HP engines. The bathymetric survey equipment was mounted on an aluminum vessel with the transducer and GPS unit located over the side, the hydrographic system included a GPS receiver with a built-in radio, a depth sounder, a helmsman display for navigation, a computer, and hydrographic system software for collecting the underwater data. On-board batteries

powered all the equipment. The shore equipment included a second GPS receiver with an external radio. The shore GPS receiver and antenna were mounted on survey tripods over a known datum point and powered by a 12-volt battery [5].



Fig. 2. Survey Boat, MIDAS Surveyor Echo Sounder, Toshiba Laptop and Hypack Navigation System software window. Source [5]

Area Computation. The area of expanse of land covered by the dam through traverse was computed using cross coordinate method in the determinant form as:



Where: $N_1 \dots N_n$, are Northings and $E_1 \dots E_n$, are Eastings

The product of the coordinates along full lines is taken positive and along dashed line is taken negative, therefore the area is given as:

$$Area (m^2) = \frac{1}{2} (N_1 E_2 - E_1 N_2 + E_2 N_3 - E_2 N_3 \dots \dots \dots + N_n E_1 - E_n N_1) \quad (i)$$

Volume Computation. The computation of volume of water in the dam's reservoir was done using the trapezoidal and Simpson's rules which can also be verified with the help of surfer 10 software. Equation (i) is the trapezoidal rule while equation (ii) is the Simpson's rule.

$$Volume (m^3) = \frac{D}{2} (A_1 + A_n + 2(A_2 + A_3 + \dots + A_{n-1})) \quad (ii)$$

$$Volume (m^3) = \frac{D}{3} \{A_0 + 4A_1 + 2A_2 + 4A_3 \dots + 2A_{n-2} + 4A_{n-1} + A_n\} \quad (iii)$$

Where, V = volume, A_1 = area of first section, A_n = area of last section, D = the common distance.

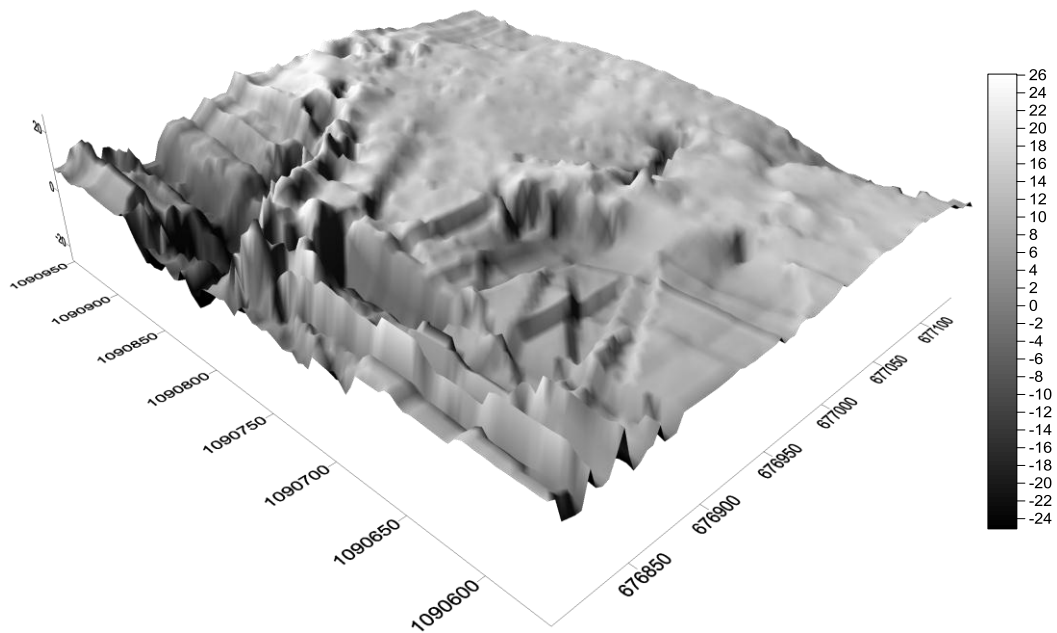


Fig. 3. 3D Bottom topography of the reservoir produced in surfer 10

The volume of water computed from the data obtained from the reservoir gives the following values with different rules as follows:

Trapezoidal Rule: 1 320 045.659 589 Mm³

Simpson's Rule: 1 322 676.662 955 Mm³

Simpson's 3/8 Rule: 1 320 951.922 289 2 Mm³

Figure 3b, depict the 3D depth topography of Kainji dam and elevation points in gray scale.

Results and Discussions. The results presented in figure 3 and 4 are the 3D bottom topography and the contour maps of the kainji reservoir bed.

Figure 4, shows, the contour representation of the reservoir and the gray scale variations.

Volume of water needed to run the turbines. The amount of head available in hydro energy system determines the amount of power available from the water as Power is proportional to Head x Flow. The flow of water through the turbine is normally expressed in litres per second, (liter/s) or cubic metres per second (m³/s) and refers to the quantity or volume of water used by the turbine to turn the shaft [5]. [5], also noted that 3m³/s which is equal to 3,000L/s of flow is needed to produce 1MW of power and when multiplied by the total power output given in megawatts gives the amount of water required to produce power per second. The Kainji dam has eight plants with total installed capacity of 760 MW (four-80 MW, two-100 MW and two-120 MW) [7].

Volume of water needed for 4 turbines per day = 3000 x 80 x 4 = 96000 liters

Volume of water needed for 4 turbines per day = 3000 x 100 x 2 = 600000 liters

Volume of water needed for 6 turbines per day = 3000 x 200 x 2 = 1200000 liters

Total volume of water needed to run the 8 turbines per day = 1896000 liters

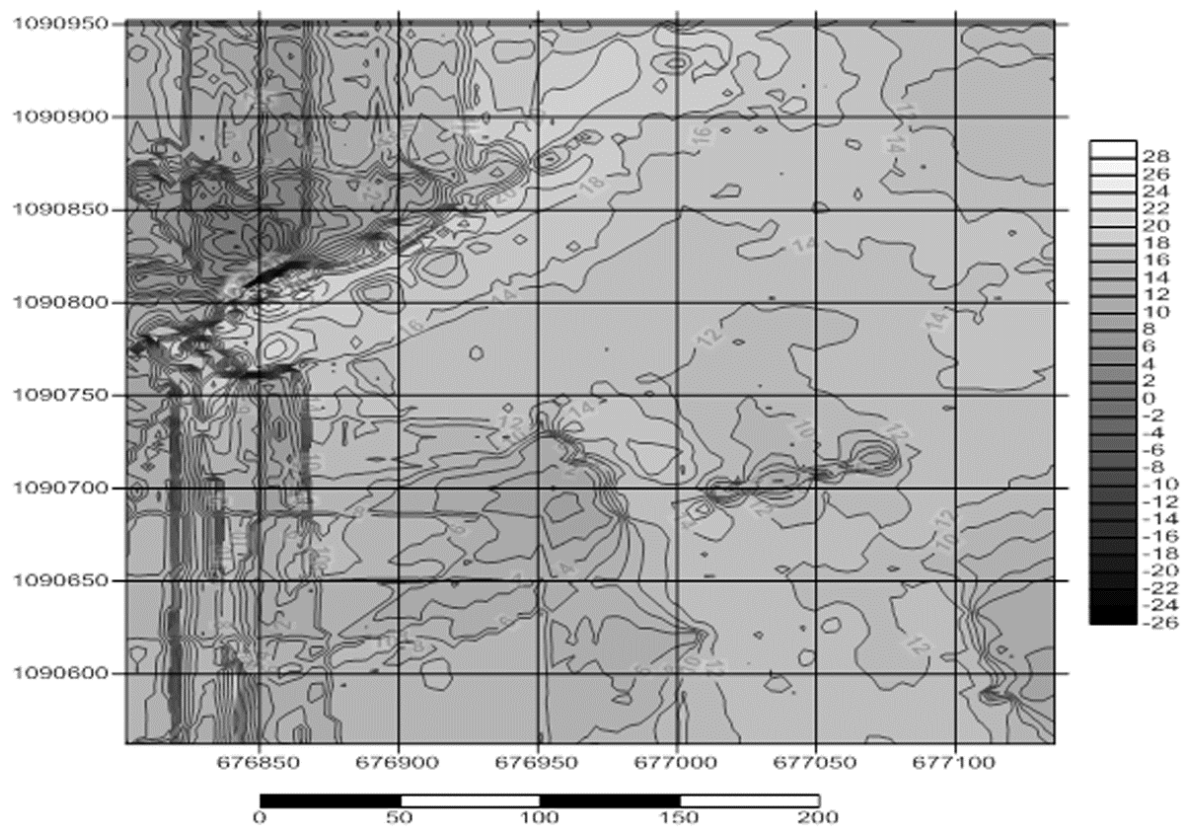


Fig. 4. Contour representation of the reservoir produced in surfer 10

Per capita water use. According to [8], per capita water use is calculated by dividing the total amount of water withdrawn from all water suppliers by the population. The per capita proposed water usage by the Kainji (settlement) inhabitants with estimated population of 44,500 is displayed in the following figures. Figures 5 and 6 show the percentage of the proposed water consumption per inhabitant per day. The volume of water use per person per day gives 124.0 Liter/person/day for minimum and 561.0 Liter/person/day for maximum. Total water consume by the entire population per day is equal to 5 518 445 Liter/day at minimum rate and 24 964 500 Liters/day at maximum rate.

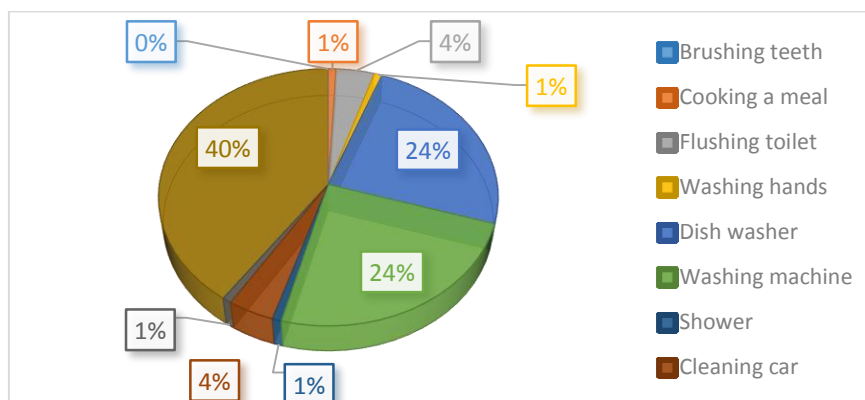


Fig. 5. Percentage of water use per person per day (Minimum)

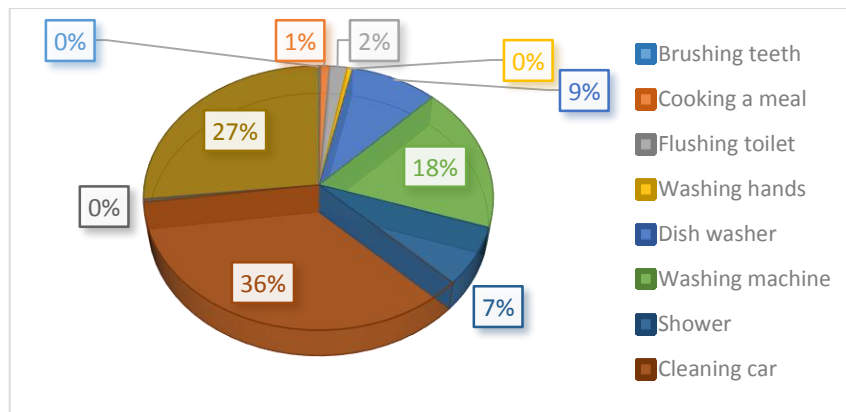


Fig. 6. Percentage of water use per person per day (Maximum)

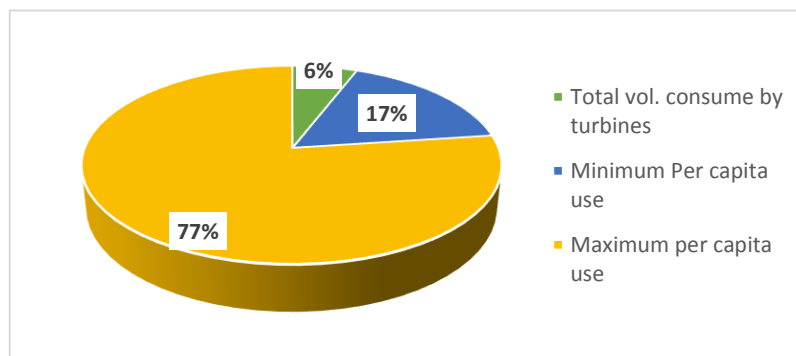


Fig. 7. Total volume consumed by turbines and per capita use per day (liters)

Figure 7, shows the total consumption capacity, which is the sum of the total consumption by the turbines per day and per capita use per day. It is clear that 77 % goes to the turbines while 23 % sum up for per capita use.

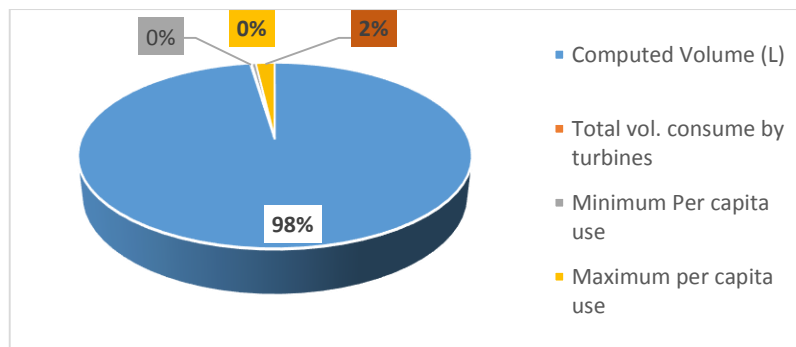


Fig. 8. Total volume consumed by turbines and per capita use per day less computed volume (liters)

Figure 8, shows the total consumption capacity, which is the sum of the total consumption by the turbines per day and per capita use per day minus the computed volume. It can be observed that 98 % is the remaining volume after taken away the total withdrawers which is just 2.0 %.

Acknowledgement. The authors are grateful to Surveyor Achinovu and management of ENGEE Survey for making the Bathymetric Survey Report of Kainji Reservoirs (unpublished) Prepared for ROYAL HASKONING Limited October 2006 available.

REFERENCES

1. ICOLD (2015); International Commission on Large Dams. http://www.icoldcigb.org/GB/dams/role_of_dams.asp assessed 10 January, 2017.
2. NOAA (2015); National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce <http://oceanservice.noaa.gov/facts/bathymetry.html> assessed 10 January, 2017.
3. ENGEE Surveys (2006); Bathymetric Survey Report at Kainji Reservoirs October 2006 Prepared for ROYAL HASKONING By ENGEE Surveys Limited (unpublished)
4. Kainji hydro-electric Power Station (2011); Hydrology, Meteorology and Reservoir operational data. Hydrology section. Kainji, Niger State, Nigeria. PHCN.
5. Onemayin D. (2008); Optimized Operation of Kainji Reservoir Department of Civil Engineering, Federal University of Technology Minna, Nigeria http://www.journal.au.edu/au techno/2008/jul08/journal121_article05.pdf
6. Adebola, A. et al (2014); The Socio – Economic Characteristics of Communities At The Downstream Sector of Jebba Dam, Nigeria Ethiopian Journal of Environmental Studies & Management 7(1): 1 – 12, 2014 ISSN:1998-0507.
7. IEA (2012); “Hydropower Technology Roadmap”, International Energy Agency (IEA)
8. IEA (2013) “World Energy Outlook 2013”, International Energy Agency (IEA)
9. NOAA (2006); Echo Sounding / Early Sound Methods". National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA). NOAA Central Library. 2006. https://en.wikipedia.org/wiki/Depth_sounding assessed 10 January, 2017.
10. SBADMT; Single Beam Acoustic Depth Measurement Techniques. <http://www.sqwestinc.com/media/support/depthmeasuringtechniques.pdf> assessed 10 January, 2017.
11. Sarkar S. (1985); The role and effects of harnessing the River Niger at Kainji and Jebba Scientific Basis for Water Resources Management (Proceedings of the Jerusalem Symposium, September 1985). IAHS Publ. no. 153. Department of Geology and Mineral Sciences, University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.
12. Blyth, F. & De Freitas, M. (1979); A Geology for Engineers. The ELBS & Edward Arnold (Publishers) Ltd, London, UK.
13. http://en.wikipedia.org/kainji_dam assessed 10 January, 2017.
14. Murray S. (n d') Project Services: Geotechnical site investigations and monitoring of Kainji and Jebba Dams, Niger River, Nigeria Project Description @ <http://www.sarafinchin.com/index.php/projects/africa/kainji-and-jebba-dams-niger-river-nigeria/> assessed 10 January, 2017.
15. Kainji hydro-electric Power Station. (2011); Hydrology, Meteorology and Reservoir operational data. Hydrology section. Kainji, Niger State, Nigeria. PHCN.
16. Dukiya J. (2013); Spatial Analysis of the Impacts of Kainji Hydropower Dam on the Down Stream Communities. Dukiya, Geoinfor Geostat: An Overview 2013, S1 <http://dx.doi.org/10.4172/2327-4581.S1-009>
17. Topographic and Bathymetric Surveys of Erosion Areas at the Stilling Channel of Jebba Dam by Geoid Surveys and Environmental Services LTD 11 Onwuchekwa Stree, Rumuomasi, Port Harcourt, Rivers State, Nigeria March, 2011(unpublished)
18. Hydrographic Survey (2010); Fishing harbour planning construction and management <http://www.fao.org/docrep/013/i1883e/i1883e05.pdf>

© P. Эхигуатор Иргэхе, О. С. Олушолa, 2017

КЛАССИФИКАЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА И ВИДОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ СЮННИКСКОГО МАРЗА ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ RAPIDEYE

Артак Пилоян

Ереванский государственный университет, 0025, Республика Армения, г. Ереван, ул. Алекса Манугяна, 1, магистр географии, e-mail: artakpiloyan@ysu.am

Арам Геворгян

Ереванский государственный университет, 0025, Республика Армения, г. Ереван, ул. Алекса Манугяна, 1, доктор биологических наук, магистр по наукам об окружающей среде и природоохранной политике, e-mail: aram_gevorgyan@yahoo.com

Дэвид Варданян

USAID (Агентство США по международному развитию), Программа «Чистая вода и энергия», 0009, Республика Армения, г. Ереван, Терян, 105/1, бизнес центр «Цитадель», магистр по геологии, e-mail: dvardanyan01@gmail.com

Рассматривается теоретическая и практическая деятельность по созданию классификации растительного покрова и видов землепользования территории бассейна южных рек Армении на основании Европейской системы Корине и спутниковых снимков RapidEye. Использовались полуавтоматические методы изокластерной контролируемой и неконтролируемой классификации для создания финальной карты LCLU (земного покрова и землепользования). Работа проводилась в течение десяти месяцев и завершилась в октябре 1914 года. В результате проведенной работы карта LCLU Южного бассейна была занесена во 2-й уровень классификации по категориям КОРИНЕ; были составлены обновленные карты земного покрова и землепользования по бассейнам рек Воротан, Вохчи и Мегри. Кроме того, была определена точная площадь по каждому классу LCLU, что дало возможность предоставить обновленную информацию по земельному балансу на территории Южного речного бассейна.

Ключевые слова: классификация, растительный покров, землепользование, дистанционное зондирование, RapidEye, CORINE, Армения.

LAND COVER/LAND USE CLASSIFICATION FOR SYUNIK MARZ USING RAPIDEYE SATELLITE IMAGERY

Artak Piloyan

Yerevan State University, 0025, Republic of Armenia, Yerevan, 1 Alex Manoogian, M.Sc in Geography, e-mail: artakpiloyan@ysu.am

Aram Gevorgyan

Yerevan State University, 0025, Republic of Armenia, Yerevan, 1 Alex Manoogian, D. Sc., M.Sc in Environmental Sciences and Policy, e-mail: aram_gevorgyan@yahoo.com

David Vardanyan

USAID Clean Water and Energy Program, 0009, Republic of Armenia, Yerevan, Teryan 105/1, "Citadel" Business Centre, M.Sc in Geology, e-mail: dvardanyan01@gmail.com

This paper presents theoretical and practical activities devoted to land cover/land use classification (LCLUC) in the Southern Basin Management Area of Armenia based on EU CORINE system using RapidEye satellite imagery. The semi-automatic iso-cluster unsupervised

and supervised classification methods were used to create final LCLU map. The activity lasted for 10 months and was completed in October 2014. As a result of the activity, LCLU for the Southern Basin was classified into Level 2 CORINE categories and updated land cover/use maps for Vorotan, Voghji and Meghri river basins were constructed. In addition, precise areas for each LCLU class were computed, which provided updated information on the land balance in the Southern Basin Management Area.

Key words: classification, land cover, land use, remote sensing, RapidEye, CORINE, Armenia.

Introduction. The activity was performed within the USAID Clean Energy and Water Program (CEWP) which was a 4-year initiative to assist the Government of Armenia in the development of river basin management plans for selected river basins, as well as to strengthen the decision-making process in the field of water management through application of contemporary technologies. One of the tasks of the Program was devoted to land cover/land use classification for the Southern Basin Management Area of Armenia based on EU CORINE system using RapidEye satellite imagery.

CORINE Land Cover (Coordination of Information on the Environment Land Cover) refers to a European program establishing a computerized inventory on land cover of the EU member states and other European countries, at an original scale of 1 : 100,000, using 3-level nomenclature. Minimum mapping unit is 25 hectares and minimum width of linear elements is 100 meters. Five main categories at CORINE Level 1 are "artificial surfaces", "agricultural areas", "forest and semi-natural areas", "wetlands", and "water bodies". There are 15 classes in Level 2 and 44 classes in Level 3 [1, 2].

Study Area. The Southern Basin Management Area of Armenia completely coincides with the Syunik province of Armenia and covers an area of 4506 km² (15% of total area of the country). The Southern Basin includes the basins of the rivers of Vorotan, Voghji and Meghri (fig. 1).

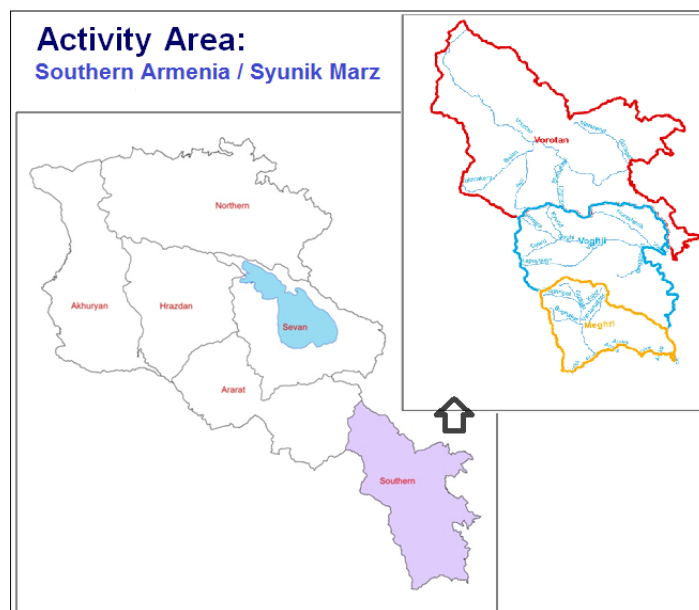


Fig. 1. The area of study

Methods. Digital image data from RapidEye AG were acquired over the whole of Armenia in 2013 (July-August). The RapidEye is multi-spectral, high-resolution, orthorectified imagery that is reasonably priced compared with other high-resolution satellite image products and the earth's surface area can be revisited daily. The spatial resolution of the images is 5-m with a depth of 12 bits per channel. Spatial resolution is defined as the minimum size of terrain features that can be distinguished from the background in an image, or the ability to differentiate between two closely spaced features in an image. A nearly fully automated pre-processing system generates orthorectified and atmospherically corrected image tiles within 48 hours after acquisition. The multi-spectral imagery of RapidEye includes commonly used RGB and near infrared (NIR) spectral bands, plus a red-edge spectral band between the red and the NIR that measures variances in vegetation, allowing for species separation and monitoring vegetation health. A total of 100 image scenes (captured over a period of July and August, 2013) were provided by RapidEye AG to cover the footprint of Armenia. As for the study area of the Southern Basin Management Area a total of 16 image tiles were available.

The land cover/land use classification was based on a guideline document [3] and included the following phases:

(1) *Data preprocessing*: Most of the RapidEye images for Armenia were captured over a two-month period under different environmental conditions with different color intensities. The colors of the images were not balanced among the 96 tiles covering the whole territory of the country. Thus, the initial step was a mosaicking satellite images and grouping the tiles with the same color intensity into larger tiles.

(2) *Composing image bands to visually examine the general land cover/use patterns*: The RapidEye images were already converted into .tiff file format with five bands (blue, green, red, red-edge and NIR). After some image adjustments (brightness, contrast, and gamma), it was possible to visually examine the general land cover/use pattern and to compare the results with other ancillary data, such as existing GIS layers on settlements, forestry, river network, road network, lakes, irrigation canals, etc.

(3) *Performing the Unsupervised Classification* of the RapidEye images to identify 50 land cover/use classes for 5-band imagery. During this phase the following tasks were implemented: (a) mosaicking satellite images; (b) comparing the obtained mosaic with existing GIS layers (settlements, forests, road network, river network, etc.); (c) adjusting the mentioned above GIS layers under ArcGIS 10.1 environment; (d) gradual reclassification via grouping the classes into 13 classes of CORINE Level 2; and (e) identification and selection of problematic LCLU areas for groundtruthing.

(4) *Conducting field surveys (groundtruthing)* including identification of LCUC types at pre-selected sites in accordance with the 15 CORINE classes and marking their locations with the GPS receiver (waypoints or tracks). After the field surveys, the collected data (tracks/waypoints) were downloaded from GPS to DNRGPS software and checked by overlaying the waypoint/track shapefiles on the Landsat 8 imagery, using ArcMap 10.1 software.

(5) *Performing the Supervised Classification* (based on the results of ground-truthing). This phase included (a) carrying out field surveys at the pre-defined problematic areas; (b) taking representative photos of the problematic areas; (c) downloading the collected tracks/waypoints with identified CORINE classes; and (d) checking the collected data using auxiliary imagery (Google Earth, Landsat 8).

Results and Discussions. The described methodology for classification of land cover/use was applied for three separate river basins of Syunik province, namely the Vorotan, Voghji and Meghriget basins. The preprocessing step included viewing different compositions of the 5-band imagery to identify distinctly visible land cover categories. In particular “natural colors” (band 3-2-1) and “infrared colors” (bands 5-3-2) were used to identify continental water bodies and areas under vegetation.

Performing the unsupervised classification resulted to 50-class mosaic, which was then reclassified into 15 CORINE Level 2 thematic classes (i.e., urban fabric, arable land, forests, permanent crops, pastures, open spaces, scrub land, water bodies, etc.). Moreover, the spatial coordinates for problematic areas where the class needed further clarifications were identified (fig. 2).

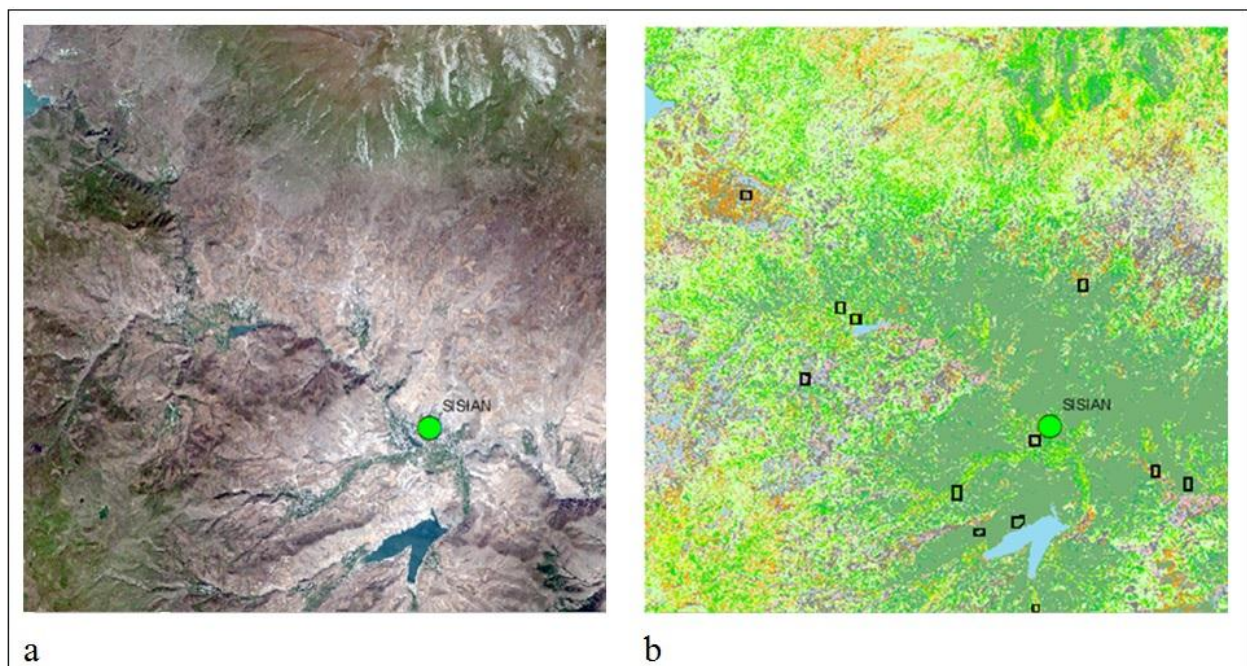


Fig. 2: a) RapidEye natural color image, b) the result of unsupervised classification for the same area

The field surveys (groundtruthing) took place during the summer months of 2014. The following issues were resolved during the groundtruthing: (1) distinguishing between pasture/grasslands and open spaces; (2) distinguishing between pasture/grasslands and arable lands; (3) distinguishing between forests and shrubs; (4) distinguishing between permanent crops and heterogeneous agricultural areas;

(5) distinguishing between mining areas and open spaces; (6) identifying mining and industrial areas and (7) identifying heterogeneous agricultural areas.

Total 540 waypoints/tracks were taken during the groundtruthing activity in the Syunik province of Armenia, out of which 244 – in the Vorotan, 129 – in the Voghji and 167 – in the Meghriget river basin. Fig. 3 shows spatial distribution of the waypoints within the Vorotan and Voghji river basins.

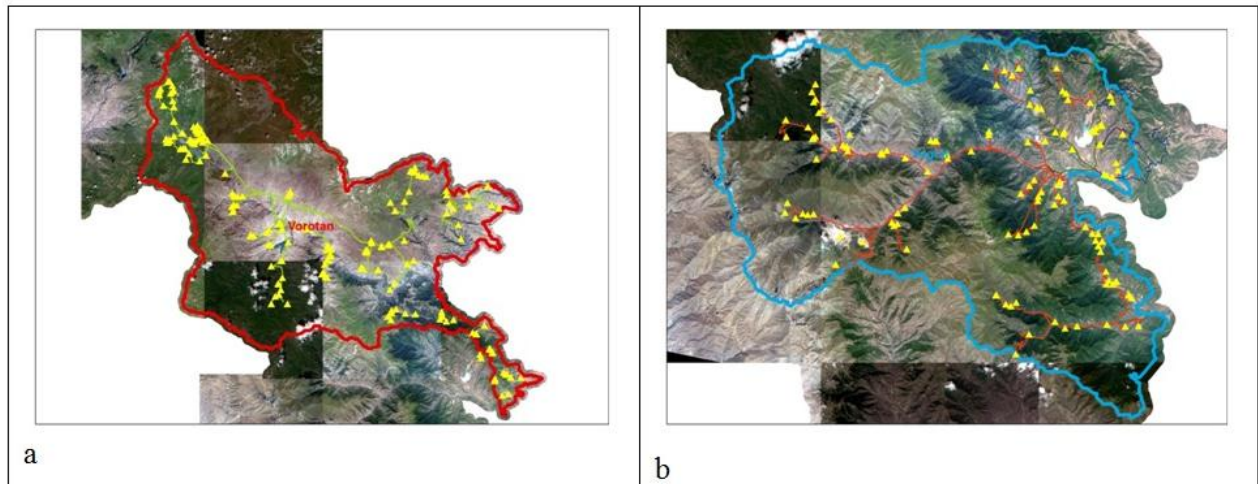


Fig. 3. Waypoints/tracks taken during groundtruthing in the a) Vorotan and b) Voghji river basins

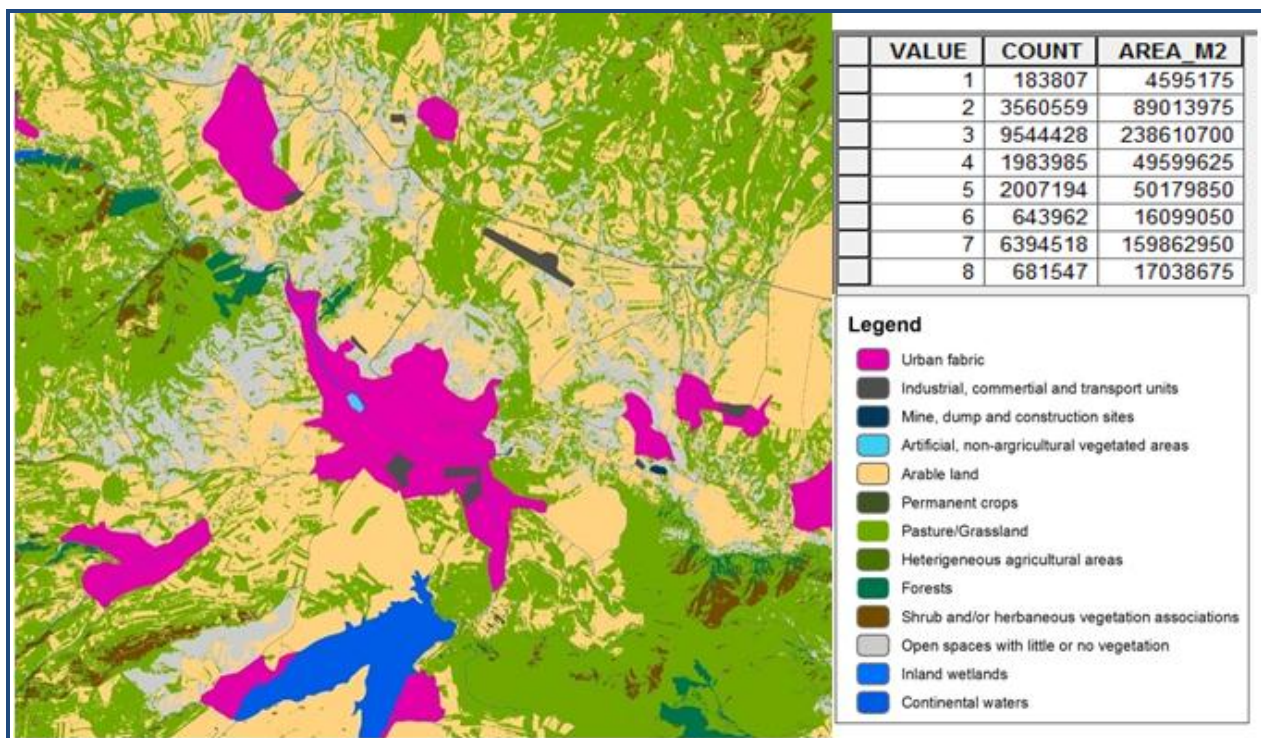


Fig. 4. Sample results of supervised classification into CORINE Level 2 classes

The performed supervised classification was based on the outcomes of the groundtruthing activity. The results include updated land cover/use maps for the Vorotan, Voghji and Meghriget river basins, as well as precise computed areas for each land cover/use class in square meters or hectares. The latter served for updating information on land balance in the Southern Basin Management Area of Armenia (fig. 4).

REFERENCES

1. CORINE land cover. Technical guide. Luxembourg, 1994.
2. CLC2006 technical guidelines. EEA Technical Report No 17/2007. Copenhagen, 2007.
3. Stepwise Procedures for Land Cover/use classification using satellite imagery. Guideline document prepared by Tom S. Sheng, Computer Assisted Development, Inc., 2013.

© *А. Пилюян, А. Геворгян, Д. Варданян, 2017*

РОЛЬ ТЕМПЕРАТУРЫ И МИКРОСТРУКТУРЫ УГОЛЬНОГО ВЕЩЕСТВА В ЭНЕРГОМАССООБМЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Татьяна Анатольевна Киряева

Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 54, кандидат технических наук, тел. (923)170-32-11, e-mail: coalmetan@mail.ru

Чжоу Аитао

Школа ресурсов и техники безопасности, Китайский университет горного дела и технологий, 100083, Китай, г. Пекин, тел. 86 010 62339036. e-mail: safety226@126.com

Представлены экспериментальные данные лабораторных и натурных исследований по особенностям взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса различной стадии метаморфизма с учетом влияния температурного фактора. Изучается влияние температуры и микроструктуры угольного вещества в энергомассообменных процессах (изменение массы, выхода летучих, удельной поверхности частиц угля, внутренней энергии релаксации метаноносности).

Ключевые слова: внезапные выбросы угля и газа, углеметановые геоматериалы, выход летучих, удельная площадь поверхности, разрушение, структура горных пород.

ROLE OF TEMPERATURE AND MICROSTRUCTURE OF COAL IN ENERGY AND MASS EXCHANGE PROCESSES

Tatiana A. Kiryaeva

Chinakal Institute of Mining SB RAS, 630091, Russia, Novosibirsk, 54 Krasny Prospect, Ph. D., tel. (923)170-32-11, e-mail: coalmetan@mail.ru

Zhou Aitao

School of Resource and Safety Engineering, China University of Mining and Technology, 100083, China, Beijing, tel. 86 010 62339036, e-mail: safety226@126.com

The paper presents laboratory and in situ research data on interaction of geomechanical and physicochemical processes in Kuzbass coal layers of various metamorphism ranks, considering temperature effect. The authors study the role of temperature and microstructure of coal in energy and mass exchange processes (variation of mass, volatile yield, specific surface, internal energy of methane adsorption capacity decrease).

Key words: coal and gas outbursts, coal and methane geomaterials, volatile yield, specific surface area, destruction, rock structure.

Coal and gas outbursts are a kind of extremely complex dynamic phenomenon [1, 2], during an outburst, the coals and rocks around the coal mining face are quickly broken and ejected, large amounts of gas release from the pulverized coal. The pulverized coal and gas flow induced by an outburst have higher energy [3], which can lead to fatalities and destroy underground equipment. In recent years, many coal and gas outburst accidents occurred in China. For example, October 20, 2004, a serious outburst occurred in Daping coal mine of Zhengzhou Coal Group in Henan province.

In this accident, the outburst coal and rock was about 1894 t as well as about 250 thousand m³ outburst gases. Due to a great overpressure of outburst gas flow, some unground ventilation facilities were destroyed, a large amount of gases reversed, which led the gas concentration in intake roadway to exceed the explosion limit, 148 people were killed and 32 people injured.

Hence, it is necessary to investigate the factors that influence on the propagation characteristic of outburst gas flow.

Researchers understand the fundamental significance of the structural aspect in interpreting wide-range geomechanical, geophysical, and complex mass exchange processes. The structure of rocks governs their physicochemical, physico-mechanical and process properties. The knowledge of the structure of rocks provides an insight on occurrence of methane in coal and allows specifying physicochemical principles of gas-dynamic control in mines.

In recent decades Russian scientists dynamically expand concept on coal and methane seam as a solid coal and gas solution [4]. The process of coal and methane decomposition proceeds with release of elastic energy resulting in dynamic fracture of coal and pushing out its considerable volumes into excavation area by emitted gas flows.

Important characteristic of Kuzbass coal is an internal energy relaxation in methane, which characterizes coal and methane system condition quantitatively when translating from one metastable state to another under methane content changed 2 times.

Coal and methane are connected physicochemically and form a coal-and-methane solution. Methane emission is only possible under alteration of thermodynamic state and decomposition of the solution. The solution decomposition is accompanied by the release of energy that goes to destruction of coal with formation of additional inner surface. With the higher gas content of coal, the gas-dynamic destruction is more intensive, up to total self-destruction in the form of coal and gas outbursts. With equal gas content, the mid-metamorphism coal is a stronger prone to self-destruction. With the higher decomposition energy, the broken coal is more ground. Conditions for micro-fracturing appear due to elastic energy of gas. So, destruction of the solid component of the coal-and-methane solution is associated with the formation of a new inner specific surface.

The studies of coal specimens from the five beds in Kuzbass, with volatile content from 18 to 43 %, yielded an empirical relation of the internal specific surface in coal with different Protodyakonov's hardness f , outburst force F (fig. 1) and coal-and-methane internal energy E .

The revealed connection of the coal-and-methane internal energy and the coal and gas outburst force was confirmed by statistical data on 197 instances of outbursts collected in mines in Karaganda, Kuznetsk and Pechora Basins gathered from 1943 to the present day. Due to weak gas-dynamic events the outbursts with the force lower than 20 tons were excluded from the data sampling. The remaining 114 outbursts were grouped by coal-and-methane internal energy per 10 kJ/kg. The average outburst force was estimated in each group (the points in fig. 1).

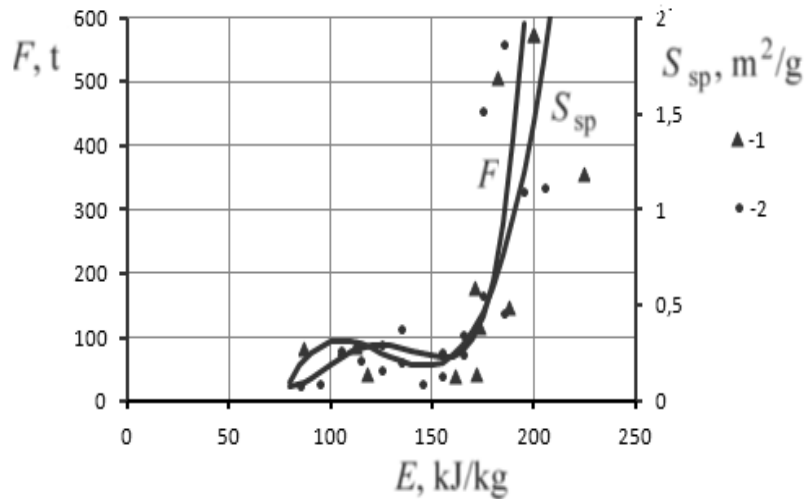


Fig. 1. The curves of the specific internal surface S_{sp} , outburst force F and internal energy E of coal-and-methane:
1 – experiment; 2 – averaged statistics

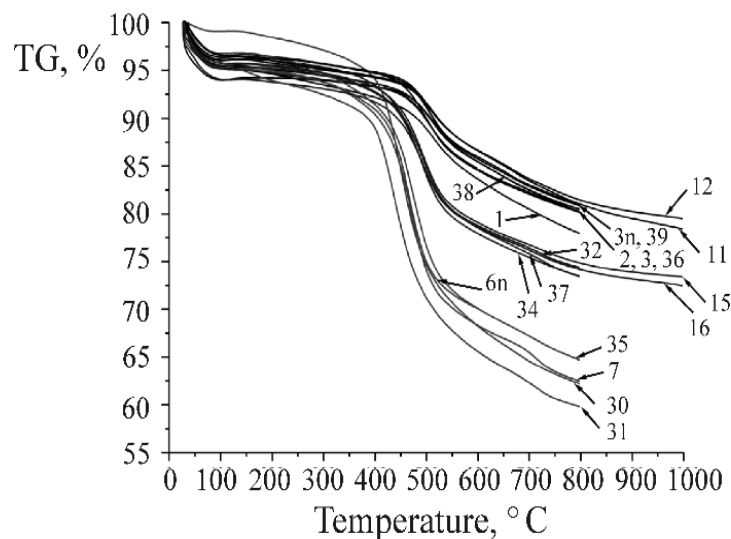


Fig. 2. Percentage of TG (Thermo-gravimetry) versus temperature for the tested coal specimens. The figures are the numbers of the specimens

Thus, the change in the specific internal surface of coal particles and the self-destruction of coal have allied physical mechanism connected with the elastic energy of the gas component of the coal-and-methane material. The prompt decision of gas safety problems in mines requires express-methods. One of such methods can be the advanced estimation of the specific internal surface of coal sampled in deposits and producing faces.

An important characteristic of coal gas-dynamic activity is the porous structure of coal beds with the stored internal energy of relaxation, E , on transition between the

stages of metastability. Such ideas on properties of mineral coal are based on the variety of processes of the natural origination (metamorphic grades), with formation of carbonic systems with a certain porous structure and changeable thermomechanical and physicochemical properties [5].

The porous structure was studied by the low-temperature (77 K) nitrogen adsorption on DigiSorb 26 00 plant. The specimens were pre-aged in vacuum 10–4 mm hg, at the temperature of 150 °C for 5 h. The real density ρ was measured by the volumetric method by helium on AutoPycnometer-1320 device.

TG was performed for all tested coal specimens in order to specify residual mass of a specimen under heating (the initial mass was assumed 100 %). As shown in Fig. 2, all specimens lose weight under heating, with different intensity within prominent intervals of 40–50 °C, 400–500 °C and higher. So, the experimental data split into three characteristic test series.

By studies, the mass loss Δm (percentage of original mass) in coal specimens mostly takes place in two temperature intervals: Δm_1 at 40–50 °C (T_1) and Δm_2 at 440–510 °C (T_2). The data of TG and DTG (Differential Thermal Analysis) are compiled in Table 1. According to Table 1, the behavior of Δm_2 at T_2 is more intricate than the behavior of Δm_1 at T_1 ; Δm_2 reaches 15 % on average.

The analysis of the pore structure parameters (size and volume of pores) by nitrogen adsorption technique at the temperature of 77 K shows the prevailing size is the size of macropores ($d > 100$ nm) and therefore coal cannot be examined reliably with the capillary condensation methods.

Table 1

The change in the specimen mass, Δm , versus T by DTG data

Specimen	T_1 , °C	Δm_1 , %	T_2 , °C	Δm_2 , %	Specimen	T_1 , °C	Δm_1 , %	T_2 , °C	Δm_2 , %
1	42	4.4	513	8.2	16	47	6.0	493	13.3
2	38	4.9	506	10.6	30	49	0.7	450	31.1
3	47	6.0	506	8.7	31	39	4.6	436	28.8
1n	38	4.0	510	8.9	32	47	4.8	487	18.2
3n	38	4.8	508	7.8	34	39	3.9	488	19.3
6n	39	4.8	466	21.6	35	48	3.5	476	21.5
7n	47	4.7	469	24.5	36	40	3.9	500	10.3
11	45	3.4	509	8.2	37	43	4.5	493	16
12	40	3.9	509	8.0	38	41	3.5	505	9.9
15	41	4.3	494	14.4	39	43	3.7	507	9.1

In future it is planned to use the mercury injection method. Table 2 describes the real density of Kuzbass coal: ρ_1 – density of sample after storage; ρ_2 – density of “fresh” sample. The value of ρ_2 corresponds to the typical density of coal of various ranks (1.3–1.4 g/cm³).

Table 2

Real density of Kuzbass coal

Specimen	$\rho, \text{g/cm}^3$		Specimen	$\rho, \text{g/cm}^3$	
	ρ_1	ρ_2		ρ_1	ρ_2
1	1.447	1.370	30	2.066	1.308
1 ground	1.334	—	31	2.779	1.366
3	1.418	1.364	31 ground	1.996	—
11	1.457	1.395	32	—	1.381
12	1.544	1.380	34	—	1.369
15	1.456	1.306	35	—	1.397
15 ground	1.420	—	36	2.081	1.489
16 ground	1.355	1.348	37	—	1.373
12	1.389	—	39	2.106	1.471

It was experimentally proved that with the time of storage of the excavated coal samples, the bond of coal and methane weakens. In particular, the change in density and mass of coal after storage was analyzed (Figs. 3 and 4). After 12 years of storage, coal specimens, heated to 500 °C, lost 3 times the mass of the specimens stored for 1 year. This confirms the dependence of the internal energy E of methane release on the coal mass loss. Figure 5 shows the correlation dependence of E and coal mass loss at T_2 (refer to Table 1). It is seen that the presence of difficult-to-remove (tightly bound) volatile components (samples nos. 1, 3, 38, 39) results in the higher energy of methane release, and vice versa, the specimens with easy-to-remove volatile matter (specimens nos. 30, 31) posse lower E [6, 7].

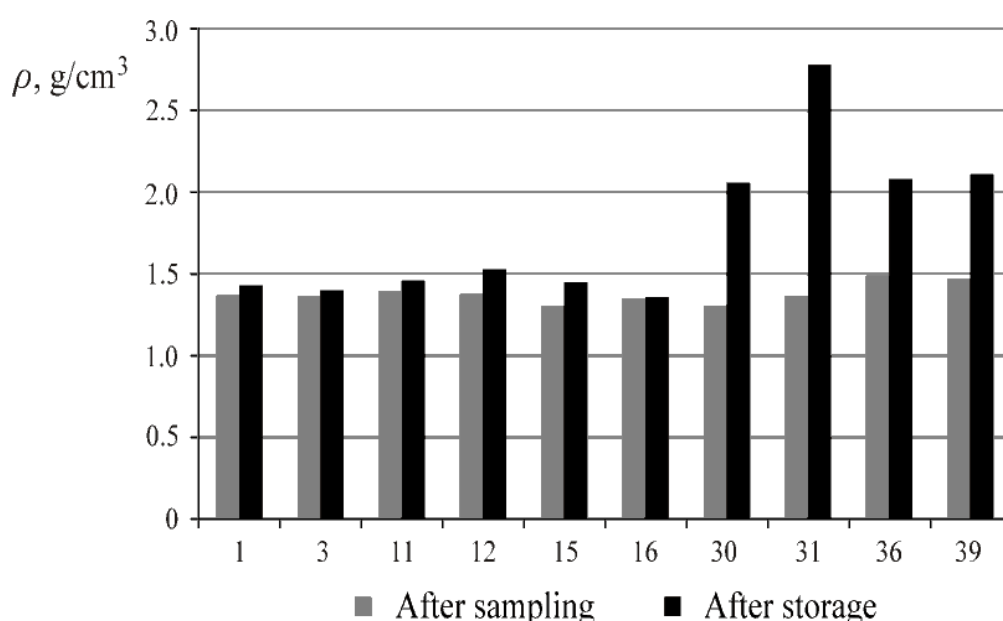


Fig. 3. The real density change after storage

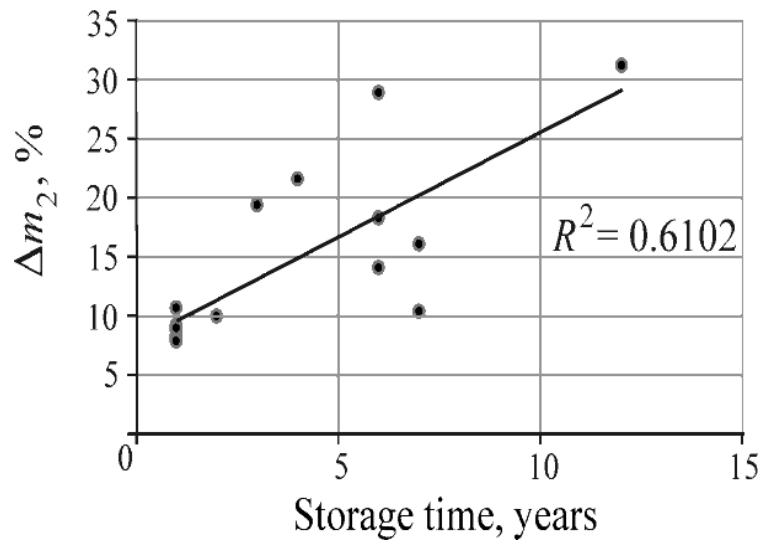


Fig. 4. Mass loss at 500 °C versus coal storage time

By now it is only presumable that this is conditioned by methane ability to fuse in the “fluid-like” coal components, which requires further investigation. On the other hand, the maximum internal energy of coal-and-methane is typical of middle-rank coal. Specimens with tight bonding have volatile content from 18 to 25% and refer to middle rank that is the most outburst-hazardous.

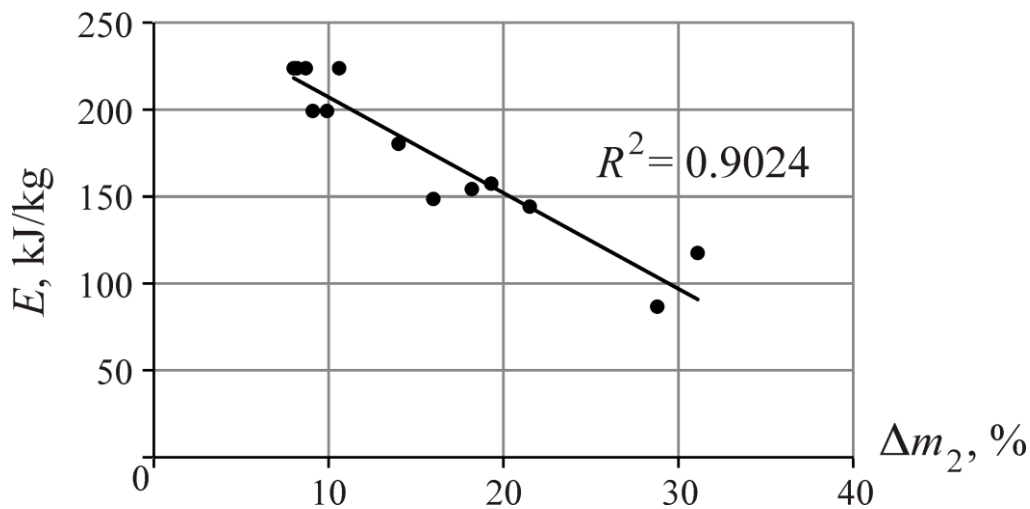


Fig. 5. Methane energy release versus mass of Kuzbass coal specimens

REFERENCES

1. Yuan L. Control of coal and gas outbursts in Huainan mines in China: A review // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering. – 2016. – 8 (4). – P. 559–567.
2. Zhou H. et al. Methane drainage and utilization in coal mines with strong coal and gas outburst dangers: A case study in Luling mine, China // Journal of Natural Gas Science and Engineering. – 2014. – 20. – P. 357–365.

3. Guo H. et al. Pulverization characteristics of coal from a strong outburst-prone coal seam and their impact on gas desorption and diffusion properties // *Journal of Natural Gas Science and Engineering*. – 2016. – 33. – P. 867–878.
4. Alekseev A. D., Airuni A. T., Zverev I. V. et al. Property of an Organic Matter in Coal to Form Meta-Stable Single-Phase Systems with Gas by the Type of Solid Solutions // *Dipl. Nauch. Utkryt*. – 1994. – No. 9.
5. Interaction of Geomechanical and Physicochemical Processes in Kuzbass Coal / V. N. Oparin, T. A. Kiryaeva, V. Yu. Gavrilov, R. A. Shutilov, A. P. Kovchavtsev, A. S. Tanaino, V. P. Efimov, I. E. Astrakhantsev, I. V. Grenev // *J. Min. Sci.* – 2014. – Vol. 50, no. 2. – P. 191–214.
6. Kiryaeva T. A., Mel'gunov M. S. Preliminary Data on State-of-the-Art Investigation into Coal Structure, *GIAB*, Special issue no. 7, Kuzbass-1, 2009. – P. 155–160.
7. Nonlinear Deformation-Wave Processes in Various Rank Coal Specimens Loaded to Failure under Varied Temperature / V. N. Oparin, T. A. Kiryaeva, O. M. Usol'tseva, P. A. Tsoi, V. N. Semenov // *J. Min. Sci.* – 2015. – Vol. 51, no. 4. – P. 641–658.

© T. A. Киряева, Ч. Аумао, 2017

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>Н. М. Бабашкин, С. А. Кадничанский, С. С. Нехин, Л. И. Яблонский.</i> Проблемы нормативно-технического обеспечения создания пространственных данных по материалам дистанционного зондирования	3
2. <i>А. А. Бучнев, В. П. Пяткин, Ф. В. Пяткин.</i> Облачная среда в прикладных дистанционных исследованиях Земли	8
3. <i>Г. Г. Побединский, И. А. Столяров.</i> Современное состояние государственной системы геодезического обеспечения Российской Федерации и основные направления ее развития	14
4. <i>И. Лехнер.</i> Требования к геодезическому обеспечению строительства в Чешской Республике	28
5. <i>С. И. Кабанихин, Е. Н. Голубева, В. Н. Крупчатников, А. А. Леженин, А. В. Пененко, В. В. Пененко, Г. А. Платов.</i> Цифровая интеллектуальная Сибирь и Арктика	37
6. <i>А. Н. Прусаков, А. И. Спиридонов.</i> Вопросы метрологической службы отрасли по обеспечению единства измерений при осуществлении геодезической и картографической деятельности	49
7. <i>Х. К. Ямбаев, С. В. Староверов.</i> Особенности фоточувствительных приемников с зарядовой связью и их возможности в геодезии и метрологии	62
8. <i>С. О. Шевчук, К. И. Малютина, Л. А. Липатников.</i> Перспективы использования свободного программного обеспечения для постобработки ГНСС-измерений	74
9. <i>Р. Эхигиатор Иругхе, О. С. Олушолу.</i> Исследование многоцелевого назначения дамбы Каинджи с помощью батиметрического и объемного методов съемки	90
10. <i>А. Пилюян, А. Геворгян, Д. Варданын.</i> Классификация растительного покрова и видов землепользования Сюнникского марза по спутниковым снимкам RapidEye	97
11. <i>Т. А. Киряева, Ч. Аитао.</i> Роль температуры и микроструктуры угольного вещества в энергомассообменных процессах	103

CONTENTS

1. <i>N. M. Babashkin, S. A. Kadnichanskiy, S. S. Nekhin, L. I. Yablonskiy.</i> The need of regulatory documents for spatial data creating based on remote sensing	3
2. <i>A. A. Buchnev, V. P. Pyatkin, F. V. Pyatkin.</i> Cloud in the application of Earth remote sensing.....	8
3. <i>G. G. Pobedinskiy, I. A. Stolyarov.</i> Modern status of the state system of geodesic support of the Russian Federation and the main directions of its development	14
4. <i>J. Lechner.</i> Engineering surveying requirements for construction in the Czech Republic.....	28
5. <i>S. I. Kabanikhin, E. N. Golubeva, V. N. Krupchatnikov, A. A. Lezhenin, A. V. Penenko, V. V. Penenko, G. A. Platov.</i> Smart digital Siberia and the Arctic	37
6. <i>A. N. Prusakov, A. I. Spiridonov.</i> The issues of metrological service industry to ensure uniformity of measurements in the implementation of geodetic and cartographic activities	49
7. <i>H. K. Yambayev, S. V. Staroverov.</i> Features of photosensitive receivers charging communication and their opportunities in geodesy and metrology.....	62
8. <i>S. O. Shevchuk, K. I. Malyutina, L. A. Lipatnikov.</i> Prospects of using free software for GNSS measurements post-processing.....	74
9. <i>R. Ehigiator Irughe, O. S. Olushola.</i> Prospecting into the multi-purpose benefits of Kainji dam using bathymetric and volumetric survey techniques.....	90
10. <i>A. Piloyan, A. Gevorgyan, D. Vardanyan.</i> Land cover/land use classification for Syunik marz using RapidEye satellite imagery.....	97
11. <i>T. A. Kiryaeva, Z. Aitao.</i> Role of temperature and microstructure of coal in energy and mass exchange processes.....	103

Научное издание

ХIII Международные научный конгресс и выставка

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ-2017

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *Е. М. Федяевой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 11.05.2017. Формат 60 × 84 1/16

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 6,51. Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно-издательский отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плеханова, 10.

Отпечатано в картопечатной лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск, 108, ул. Плеханова, 8.