

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

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ,
МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

Сборник материалов

Новосибирск
СГУГиТ
2018

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
Г. А. Уставич

Доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
А. А. Шоломицкий

Кандидат технических наук, доцент профессор кафедры инженерной геодезии
и маркшейдерского дела СГУГиТ, г. Новосибирск
В. А. Скрипников

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой маркшейдерского дела и геодезии
Карагандинского государственного технического университета им. академика Е. А. Букетова,
Республика Казахстан, г. Караганда
Ф. К. Низаметдинов

С26 Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля
2018 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика,
картография, маркшейдерия» : сб. материалов. – Новосибирск : СГУГиТ,
2018. – 305 с.

В сборнике опубликованы материалы XIV Международного научного конгресса «Интерэкспо ГЕО-Сибирь», представленные на Международной научной конференции «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» (секции «Геодезическое и маркшейдерское обеспечение строительства и эксплуатации инженерных сооружений и горнопромышленных комплексов», «Наблюдения техногенных и сейсмоопасных территорий и деформаций земной поверхности по данным геодезических, спутниковых, геофизических, гравиметрических и маркшейдерских измерений», «Картография, геоинформатика и инфраструктура пространственных данных», круглый стол «История развития кафедры картографии и геоинформатики», посвященный 80-летию кафедры», «Современные ГНСС-технологии сбора и обработки данных для решения задач устойчивого развития территорий»).

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 528:528.9:622.1

© СГУГиТ, 2018

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЕФОРМАЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКОГО СООРУЖЕНИЯ ГРЭС – ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ПЕРЕПАДА

Антон Викторович Никонов

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, кандидат технических наук, ведущий инженер, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Надежда Михайловна Рябова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В статье представлены сведения о конструктивных особенностях двухступенчатого перепада – гидротехнического сооружения отводящего тракта. Данное сооружение представляет собой лоток из монолитного железобетона длиной 33,1 м с расстоянием между стенками в свету 1,5 м. С целью мониторинга деформаций двухступенчатого перепада предложено установить в его конструкциях деформационные марки, а вблизи заложить три глубинных свайных опорных пункта. Все измерения предполагается выполнять электронным тахеометром, в частности отметки деформационных марок находить из тригонометрического нивелирования. По результатам предрасчета установлено, что средняя квадратическая ошибка определения планового положения деформационной марки относительно опорного пункта не превышает 1,5 мм, высотного положения – 0,5 мм, что соответствует заданной точности измерений II класса.

Ключевые слова: двухступенчатый перепад, электронный тахеометр, тригонометрическое нивелирование, точность, деформация сооружений, деформационная марка, ошибка измерения.

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM OF GEODESIC MONITORING OF DEFORMATIONS OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURE – A TWO-STAGE FALL

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 18/1, Planirovochnaja St., Novosibirsk, 630032, Russia, Ph. D., Leading Engineer, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Chesheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55

Nadezhda M. Ryabova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55

The article presents information on the design features of the two-stage fall - the hydraulic structure of the outflow tract. This structure is a tray of monolithic reinforced concrete with a length of 33.1 m with a distance between the walls of 1.5 m. In order to monitor the deformations of the two-stage fall, it is proposed to install deformation marks in its structures, and lay three deep pile bearing points nearby. All measurements are supposed to be performed by an electronic total station, in particular marks of deformation marks can be found from trigonometric leveling. According to the results of the calculation, it is established that the average quadratic error in determining the planned position of the deformation mark relative to the reference point does not exceed 1.5 mm, the altitude position is 0.5 mm, which corresponds to the specified accuracy of class II measurements.

Key words: two-stage fall, total station, trigonometric leveling, accuracy, deformation of structures, deformation mark, measurement error.

В главном корпусе тепловой электростанции имеется различное технологическое оборудование, требующее охлаждения. В частности конденсатор паротурбинной установки играет роль холодного источника – в нем происходит конденсация отработанного пара. В качестве теплообменной среды, как правило, используется вода. Для того чтобы температура холодного источника была постоянной, необходимо, чтобы циркуляционная вода имела постоянную температуру. Для этих целей охлаждающая вода непрерывно поступает из водоема (пруда-охладителя, озера или бассейна градирни) в теплообменные устройства, и, приняв тепло, сбрасывается обратно для охлаждения. Такая система водоснабжения называется оборотной.

На рассматриваемой ГРЭС охлаждение циркуляционной воды осуществляется в естественном водохранилище, в качестве которого выступает озеро. По сливным циркуловодам через оголовки слива теплая вода от энергоблока поступает в сифонный колодец и далее по открытому отводящему каналу до котлована, а из последнего через двухступенчатый перепад в водохранилище. Перепад уровня воды отводящего земляного канала и уровня водохранилища составляет 4,70 м.

Двухступенчатый перепад (рис. 1) является одним из сооружений отводящего тракта и располагается в 1,2 км от главного корпуса ГРЭС. В конструктивном отношении перепад выполнен в монолитном железобетоне прямоугольной доковой конструкции с расстоянием между стенками в свету 1,5 м. Толщина стенок изменяется от 500 мм у основания до 300 мм в верхней части. Высота стенок перепада переменная: высота первой ступени 2,35 м, второй 2,65 м. Длина первой ступени составляет 12,10 м, второй – 12,50 м. Общая длина перепада равна 33,1 м. На первой ступени предусмотрена водобойная стенка высотой 0,80 м, на второй ступени предусмотрен водобойный колодец глубиной 0,30 м. С целью предотвращения фильтрационных деформаций грунта вдоль стен перепада предусмотрена противофильтрационная диафрагма длиной 2,0 м с каждой стороны.

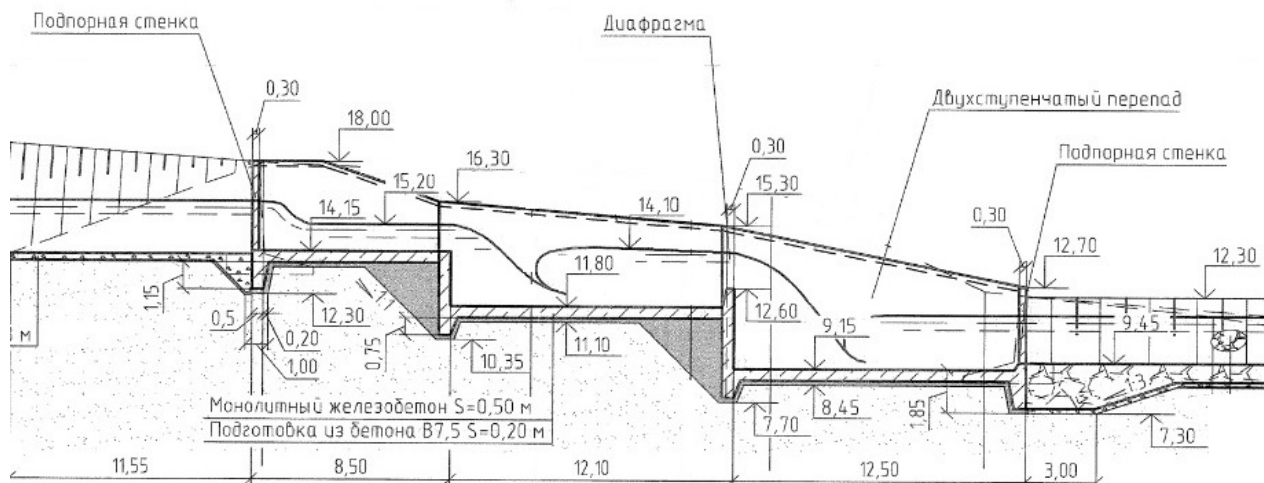


Рис. 1. Конструкция двухступенчатого перепада

Сопряжение двухступенчатого перепада с верхней и нижней частью отводящего канала выполнено посредством подпорных стенок из монолитного железобетона. Длина верхних подпорных стенок 12,0 м, нижних – 8,5 м. Между подпорными стенками и двухступенчатым перепадом, а также между участками двухступенчатого перепада имеются деформационные швы.

Согласно СП 58.13330.2012 [1], сооружения отводящего тракта (в том числе и перепад) относятся ко II классу, как гидротехнические сооружения ТЭС установленной мощностью от 300 до 1000 МВт. Сооружения отводящего тракта рассчитаны на расход 22 000 м³/ч.

В соответствии с Правилами [2] в установленные сроки и в предусмотренном объеме на всех ГТС должны вестись наблюдения за осадками и смещениями сооружений и их оснований, деформациями сооружений и облицовок, трещинами в них, состоянием деформационных и строительных швов.

В СП 23.13330.2011 [3] указано, что при проектировании оснований сооружений I–III классов необходимо предусматривать установку контрольно-измерительной аппаратуры (КИА) для проведения натурных наблюдений за состоянием сооружений и их оснований как в процессе строительства, так и в период их эксплуатации. Также отмечается, что в проектах оснований сооружений должна быть предусмотрена программа мониторинга, главной задачей которого является обеспечение безопасности строительства и эксплуатации сооружений, включая выявление опасных процессов и явлений для разработки предупреждающих и защитных мероприятий [3].

В действительности проектной документацией не была предусмотрена установка КИА в конструкциях двухступенчатого перепада, поэтому после визуального выявления деформаций возникла необходимость в разработке программы мониторинга сооружения.

В 2015 г. сотрудниками НИИЖБ им. А.А. Гвоздева проводилось инструментальное обследование двухступенчатого перепада. Установлено, что сте-

пень уплотнения земляной насыпи вокруг перепада соответствует проектным значениям. Были измерены расстояния между стенками перепада в свету, которые по проекту должны составлять 1500 мм. В среднем расстояние между стенками оказалось уменьшенным на 110 мм, что вероятно связано с деформацией стенок, обусловленной давлением грунта с внешней стороны лотка. Выявлено, что стенки двухступенчатого перепада имеют наклон вовнутрь, что свидетельствует о наличии именно деформационных процессов, а не строительного дефекта.

Научно-исследовательской организацией также был выполнен расчет конструкции двухступенчатого перепада, который показал недостаточное проектное горизонтальное армирование на отдельных участках стен лотка. Было рекомендовано усилить лоток горизонтальными металлическими распорками (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид двухступенчатого перепада с установленными распорками

При проведении мониторинга положения строительных конструкций наиболее ответственных гидротехнических сооружений (судоходных шлюзов, плотин и пр.) в последнее время все чаще применяются непрерывные методы наблюдений с использованием датчиков углов наклона, автоматизированных электронных тахеометров, ГНСС-приемников [4–8]. Измерительная информация с данной аппаратуры посредством каналов связи передается на управляющий компьютер, где производится ее анализ и принятие решения.

Учитывая конструктивные особенности двухступенчатого перепада (небольшие размеры; установленные стальные распорки, предотвращающие дальнейшее перемещение стенок лотка вовнутрь) нами было принято решение выполнять контроль планово-высотного положения его конструкций периодически – циклами (1–2 цикла в год). В соответствии с требованиями п.4.6 ГОСТ 24846-2012 [9] был принят II класс точности измерений: допустимая погрешность измерения вертикальных перемещений – 2 мм, горизонтальных – 5 мм.

Поскольку величины перемещений определяют по результатам наблюдений в двух циклах, то в каждом отдельном цикле погрешность не должна превышать 1 мм по высоте и 2,5 мм в плане.

Для выполнения измерений в верхних частях стенок лотка и подпорных стенок в тело бетона были заложены деформационные марки в виде стальных болтов с кернением точки для установки мини-вешки. Схема размещения деформационных марок и их внешний вид представлены на рис. 3.

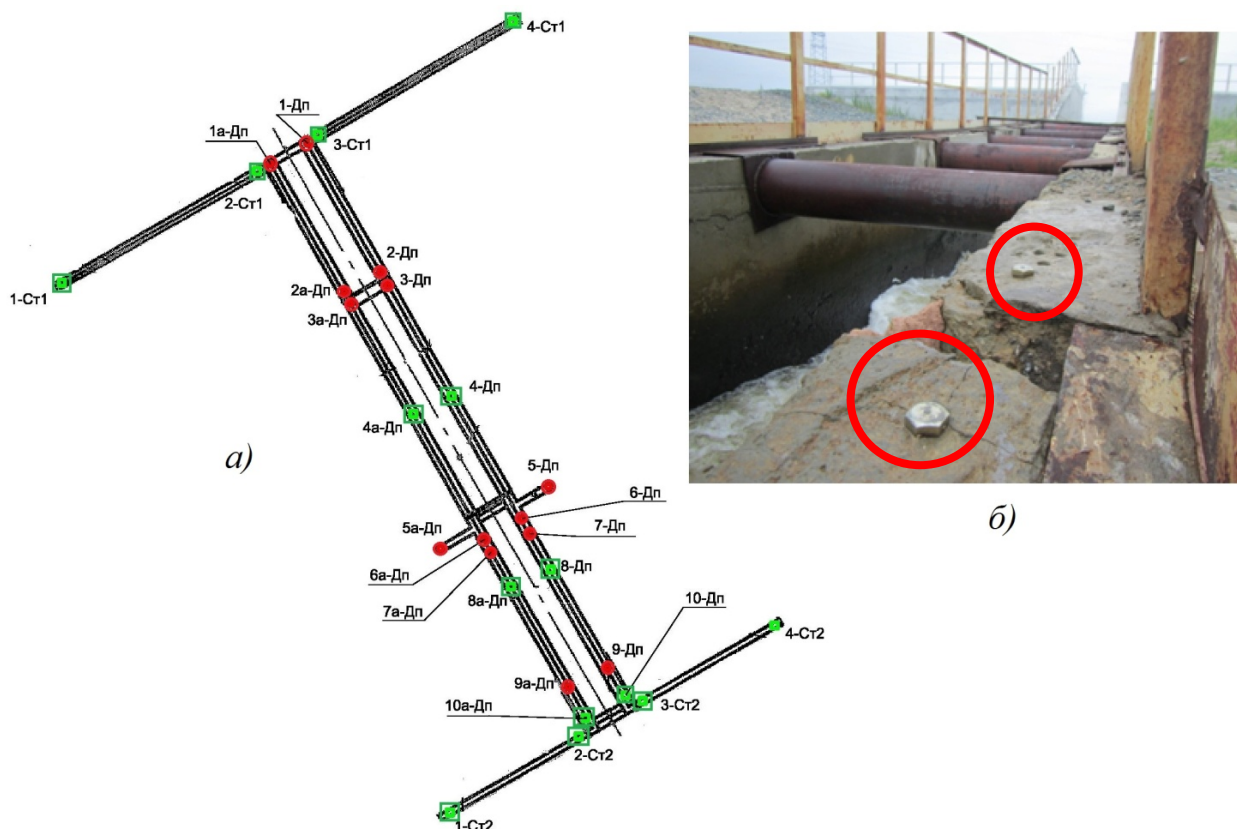


Рис. 3. Деформационные марки:

а) схема мест установки; б) внешний вид марок, установленных по обе стороны от деформационного шва

Для определения величин абсолютных перемещений деформационных марок было принято решение запроектировать три исходных опорных пункта в виде железобетонных свай, с устройством металлической тумбы для принудительного центрирования прибора. Минимум три пункта необходимо для выполнения анализа их устойчивости перед каждым циклом измерений. Подобная конструкция исходного пункта показана в статье [10]. Расчет свай выполнялся с учетом фактических геологических и климатических условий участка работ. Установлено, что силы морозного пучения не окажут влияние на стабильность свай при ее длине $L=12$ м. Исходные опорные пункты ($Rp-1$, $Rp-2$, $Rp-3$) для обеспечения их устойчивости были запроектированы на расстоянии порядка 100 м от гидротехнического сооружения. В непосредственной близости от

двухступенчатого перепада было принято решение разместить бетонную плиту Пм1 для того, чтобы устанавливать на ней электронный тахеометр во время измерений. В противном случае, установка прибора на песчаное основание не позволила бы выполнить измерения на заданном уровне точности вследствие его оседания (рис. 4).

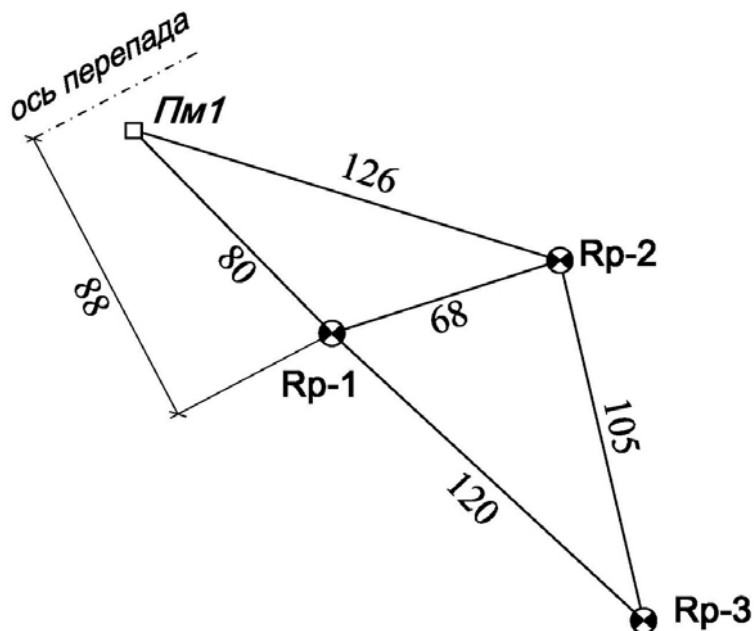


Рис. 4. Расположение исходных опорных пунктов и плиты Пм1

Установлена следующая последовательность выполнения геодезических измерений в каждом цикле:

- определение устойчивости опорных геодезических пунктов путем измерений углов и расстояний в образованном ими треугольнике, а также проложением между ними нивелирных ходов по методике I класса [9];
- определение плановых координат рабочей станции (тахеометра на штативе, установленного на плите Пм1) посредством измерения расстояний и углов в треугольнике, образованном Пм1 и двумя пунктами $Rp-1$ и $Rp-2$ (измерения по трехштативной системе);
- определение высотного положения рабочей станции путем измерения превышения между Пм1 и $Rp-1$ методом тригонометрического нивелирования из середины [11-13];
- определение координат и отметок деформационных марок полярным способом с рабочей станции.

Предрасчет точности определения плановых координат рабочей станции (Пм1) выполнялся в программном продукте Credo_dat. При выполнении предрасчета предполагалось, что в треугольнике измеряются все три угла и расстояния со средней квадратической ошибкой (СКО) $m_\beta=2''$ и $m_s=2$ мм соответствен-

но. Расчетная ошибка положения рабочей станции в плане составила $m_{p.c.} = 1$ мм ($P=0,68$).

На рис. 5 показана схема измерений полярным способом. Таким образом, положение всех деформационных марок определяется с одной установки электронного тахеометра (рабочей станции). Помощник геодезиста последовательно устанавливает визирную цель (мини-вешку с отражателем) на контрольных точках.

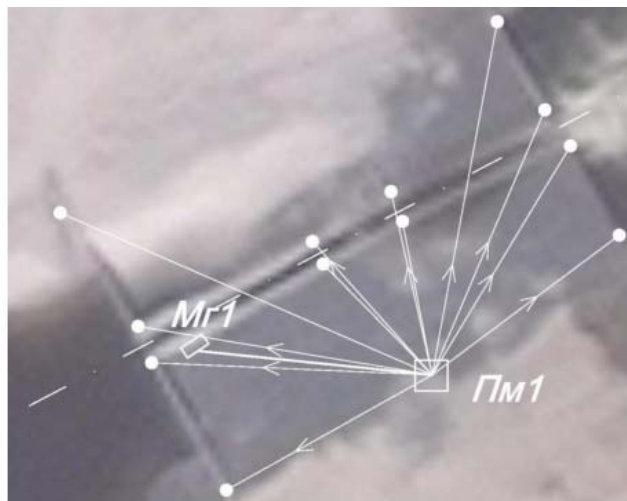


Рис. 5. Схема измерения координат и высот деформационных марок полярным способом с рабочей станции

Предрасчет точности определения положения деформационной марки полярным способом относительно рабочей станции (Пм1) производился по известной формуле (1).

$$m_{xy} = \sqrt{m_s^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} S^2} . \quad (1)$$

Принимая максимальное расстояние от тахеометра до марки $S=30$ м, ошибку измерения угла $m_\beta=2,0''$, ошибку измерения расстояния длиной до 30 м – $m_s=1,0$ мм [14] была получена СКО определения координат деформационной марки в плане $m_{xy}=1,0$ мм. Ошибка M_{xy} положения деформационной марки в плане относительно опорного пункта (с учетом ошибки определения рабочей станции) составила

$$M_{xy} = \sqrt{m_{p.c.}^2 + m_{xy}^2} = \sqrt{1^2 + 1^2} \approx 1,4 \text{ мм}, \quad (2)$$

что не превышает ранее установленного критерия (2,5 мм).

Аналогичным образом рассчитывалась точность высотных определений. Для определения отметки рабочей станции тахеометр на втором штативе уста-

навливают посредине между Пм1 и Rp-1. Точность передачи высоты определяется по формуле

$$m_{h\text{ ст}} = \sqrt{(2 \sin^2 \alpha) m_s^2 + \frac{2 S^2 m_a^2}{\rho^2}}. \quad (3)$$

Принимая в формуле (3) угол наклона $\alpha=5^\circ$, ошибку расстояния $m_s=1,5$ мм, ошибку измерения угла наклона $m_a=2,0''$ и длину плеча $S=45$ м ошибка измерения превышения на станции составит $m_{h\text{ ст}}=0,64$ мм. Выполняя передачу отметки четырьмя приемами, окончательная СКО передачи высоты на рабочую станцию равна $m_{h\text{ п.с.}}=0,32$ мм.

Ошибка измерения превышения между осью вращения зрительной трубы и деформационной маркой находится по формуле

$$m_h = \sqrt{m_s^2 \sin^2 \alpha + \frac{m_a^2}{\rho^2} S^2 \cos^2 \alpha + m_l^2 + m_\delta^2}, \quad (4)$$

где m_l – ошибка измерения высоты визирной цели; m_δ – ошибка за наклон визирной цели.

Ошибкой определения высоты визирной цели можно пренебречь (при использовании мини-вешки из комплекта тахеометра фиксированная высота принимается $l=100$ мм), ошибка за наклон визирной цели при отклонении вешки от вертикали $\varepsilon=15'$, $S=25$ м, угле наклона $\alpha=15^\circ$, высоте визирной цели $l=100$ мм составит $m_\delta=0,11$ мм [15].

Подставляя в формулу (4) величины $m_a=2,0''$, $m_s=1,0$ мм, $\alpha=15^\circ$, $S=25$ м, $m_\delta=0,11$ мм СКО измерения превышения одним приемом составит

$$m_h = \sqrt{1,0^2 \sin^2 15^\circ + \frac{2,0^2}{206265^2} 25000^2 \cos^2 15^\circ + 0,11^2} = 0,37 \text{ мм}. \quad (5)$$

Тогда окончательно СКО высотного положения деформационной марки относительно опорного пункта (Rp-1) будет вычисляться как

$$M_H = \sqrt{m_{h\text{ п.с.}}^2 + m_h^2} = \sqrt{0,32^2 + 0,37^2} \approx 0,49 \text{ мм}, \quad (6)$$

что не превышает ранее установленного критерия (1,0 мм) и подтверждает возможность успешного применения тригонометрического нивелирования при наблюдении за осадками и деформациями сооружений [16–18].

Таким образом, в статье рассмотрена последовательность выполнения геодезического мониторинга конструкций двухступенчатого перепада. Выполнение измерений по предложенной схеме с использованием электронного тахеометра позволяет определять положение деформационных марок относительно

опорного пункта в каждом цикле с ошибкой: в плане $M_{xy}=1,4$ мм, по высоте – $M_H=0,5$ мм, что соответствует точности II класса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 58.13330.2012 «Гидротехнические сооружения. Основные положения» (актуализированная редакция СНиП 33-01-2003).
2. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации : Утв. Минэнерго России 19.06.03: Ввод. с 01.10.03 СПб : ДЕАН, 2003. – 332 с.
3. СП 23.13330.2011 «Основания гидротехнических сооружений» (актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85).
4. Козлов Р.В., Ли В, Моргунов К.П. Использование современных средств измерения деформаций при исследовании сооружений Волгоградского гидроузла // Вестник гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2017. – Т. 9. № 1. – С. 95–110.
5. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Геодезические наблюдения за горизонтальными смещениями плотин // 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. 1. – С. 9–12.
6. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Совершенствование схем планового обоснования для определения горизонтальных смещений гидротехнических сооружений // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 97–100.
7. Резник Б. Е. Непрерывные геодезические измерения деформаций строительных конструкций эксплуатируемых сооружений // Геопрофи. – 2008. – № 4. – С. 4–10.
8. Резник Б. Е. Методика контроля фундаментов ВЭУ при непрерывном мониторинге // Геопрофи. – 2016. – № 6. – С. 40–47.
9. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерений деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс] : Межгос. стандарт. - Введ. 01.07.2013.– М.: Стандартинформ, 2014. – 22 с.
10. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики // Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников / Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – №4/С. – С.48–54.
11. Никонов А. В. Исследование точности тригонометрического нивелирования способом из середины с применением электронных тахеометров // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 26–35.
12. Никонов А. В. Технологические схемы при проложении ходов тригонометрического нивелирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 77–83.
13. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – №1. – С.28–34.
14. Никонов А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып.1 (29). – С. 43–53.
15. Пискунов М. Е. Влияние наклона рейки на точность тригонометрического нивелирования короткими лучами из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1972. – №3. – С.9–14.
16. Никонов А. В. Опыт применения тригонометрического нивелирования с использованием электронных тахеометров для наблюдений за осадками сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинфор-

матика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 78–86.

17. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.

18. Никонов А. В. Методика тригонометрического нивелирования первого и второго разрядов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – №5/С. – С. 39–45.

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Н. М. Рябова, 2018

ИЗУЧЕНИЕ РЕЛЬЕФА ДНА АКВАТОРИЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Сергей Романович Горобцов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, ст. преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)471-55-67, e-mail: sergey@gorobtsov.com

Ксения Андреевна Функ

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)717-58-37, e-mail: ksyha_5837@bk.ru

В статье рассмотрены геодезические методы съемки рельефа дна акваторий, приводится обзор области применения данных методов. Изучение рельефа дна позволяет решать комплекс инженерных задач, связанных с использованием водных объектов.

Ключевые слова: геодезическая съемка, морская геодезия, эхолот, акватория, рельеф, гидрографическая съемка, РТК, лазерное сканирование.

STUDY OF THE RELIEF OF THE BOTTOM OF AQUATORIES BY GEODESIC METHODS

Sergey R. Gorobtsov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)471-55-67, e-mail: sergey@gorobtsov.com

Ksenia A. Funk

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)717-58-37, e-mail: ksyha_5837@bk.ru

In this article geodetic methods of surveying of the bottom of water areas, as well as application of these methods, are considered. The study of the bottom relief allows solving a complex of engineering tasks related to the use of water bodies.

Key words: geodetic survey, marine geodesy, sonar, water area, terrain, hydrographic survey, RTK, laser scanning.

В течение последнего десятилетия технологии гидрографической съемки рельефа дна акваторий претерпели радикальные изменения в части качества получаемых данных и возможности их объемного представления с помощью современных, точных приборов для сбора, изучения и обработки пространственных данных [1].

Такие геодезические приборы как теодолиты, лазерные сканеры в большинстве случаев применяются для съемки местности на суше. Но, в последнее время, их все чаще используют для изучения рельефа дна акваторий в следую-

щих целях: укрепление береговой линии; проектирование инженерных коммуникаций (прокладка кабелей, строительство опор моста) по дну акватории; создание 3D-моделей подводных элементов гидротехнических сооружений; проектирование фарватера; расчет объемов работ для расчистки дна; разработка паспорта водоема; составление карты для рыбаков; составление карты водоема, с целью дальнейшего его изучения; гидрологические и экологические исследования.

Изучением рельефа дна акваторий занимается раздел геодезии «морская геодезия». Одной из главных задач морской геодезии является определение размеров и формы земной поверхности акватории. Решение задачи становится возможным благодаря детальному изучению поверхности и структуры дна, его съемки, измерений, а также отображение поверхности на картах и планах – картографирование рельефа дна [2].

Существуют различные методы изучения рельефа дна акваторий. В данной статье рассмотрены:

- традиционная гидрографическая съемка;
- гидрографическая съемка с помощью эхолотов и картплоттеров;
- гидрографическая съемка с воздуха;
- гидрографическая съемка с помощью кинематики реального времени (RTK);
- лазерное сканирование для исследования дна акваторий.

Гидрографическая съемка. Гидрографическая съемка во многом схожа с классическими методами геодезической съемки. Важное различие между ними состоит в том, что при гидрографической съемке физически невозможно видеть участки съемки, а также непрерывное движение поверхности воды. В свою очередь, важно учитывать океанографические изменения, движение вертикальной земной коры, астрономические приливы и метеорологические эффекты, которые влияют на поверхность воды и вызывают ее изменение.

Традиционная гидрографическая съемка. При традиционной гидрографической съемке, как и при топографической горизонтальной съемке, прибор (теодолит, тахеометр) устанавливается на берегу, а отражатель на судне. На дно водоема ставится специальная веха (мерный шуп). Если глубина водоема не превышает 7 метров, то съемка осуществляется без помощи водолаза. При глубине водоема свыше 7 метров съемку рекомендуется выполнять с помощью водолаза, который, находясь на глубине, удерживает низ вехи, при этом длина телескопической вехи не должна превышать 12 метров. Если расстояние от судна до прибора большое, то выполнение работ производится с помощью спутниковых измерений. Традиционная гидрографическая съемка целесообразна при незначительных глубинах, когда вешка с установленной спутниковой геодезической антенной легко удерживается на воде. [3].

Использование гидрографической съемки возможно и при замерзании водоема, когда толщина льда превышает 10 см. При помощи коловорота во льду делаются лунки. Также они координируются в плане, и после этого, с них же выполняются промеры глубин.

Гидрографическая съемка с помощью эхолотов и картплоттеров. Гидрографическая съемка при глубине свыше 12 метров выполняется с использованием профессионального картплоттера с гидрографическим эхолотом. Такая съемка является самым современным способом определения глубины. Профессиональные эхолоты выполняют промерные и гидрографические работы на глубине от 0,5 до 1000 метров.

Гидрографический эхолот предусматривает использование одночастотного и двухчастотного излучателя, подключаемых к эхолоту отдельно. Средства обработки отраженных зондирующих импульсов учитывают физические свойства водной среды, обеспечивают разбиение диапазона сканирования на интервалы времени, дальности, в которых последовательно выделяют наибольшую интенсивность отражения, формируют изображение профиля дна и осциллограммы отраженного сигнала.

Гидрографическая съемка с воздуха. Возможность фотографирования водных объектов и подводной ситуации с летательных аппаратов впервые высказал русский исследователь А. М. Кованько в 1896 г. [4]. Идея использования фотометрических свойств материалов аэрофотосъемки (аэронегативов) для определения глубин впервые была сформулирована советским ученым В. А. Фаасом еще в 30-х годах прошлого столетия и подверглась экспериментальной проверке на реке Нева [5]. В основе фотометрического способа заложен принцип использования зависимости между оптической плотностью негатива и яркостью изображаемого дна, которая, в свою очередь, зависит от глубины.

Благодаря широкому использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) гидрографическая аэрофотосъемка приобретает все большую популярность. Достоинством такой аэрофотосъемки является снижение объема полевых работ при исследовании водного объекта и его береговой полосы [6].

Гидрографическая съемка с помощью кинематики реального времени (RTK). Геодезическая система RTK используется для гидрографических съемок на судах для горизонтального позиционирования. С помощью RTK базовая станция в известной точке передает поправки по линии передачи данных на приемник на судне. Таким образом, приемник может вычислять GPS-координаты в реальном времени с точностью до сантиметрового уровня. В дополнение к GPS-оборудованию для отображения профиля дна можно использовать лоты или измерительные рейки. Измерение глубины осуществляется неупорядоченными изменениями поверхности воды. В свою очередь, эффект качения является одним из значительных источников ошибок измерений гидрографической глубины, вызванных вертикальным движением судна для съемки, из-за волн. Измеряя вертикальное перемещение судна с применением RTK, эффект качения уменьшается от измерений глубины.

Данные, полученные с помощью RTK GPS, обрабатываются на компьютере, с использованием специализированного обеспечения.

Трехмерное гидрографическое отображение текущей формы дна акваторий может генерироваться в среде ArcGIS с использованием скорректированных измерений глубины и горизонтальных положений [7]. Такой метод определяет

высоты волн от ортометрических высот и корректирует изменения высоты волны от измерений глубины.

Результаты гидрографических изысканий обрабатываются с помощью специального геодезического программного обеспечения или с применением гидрографических продуктов, а также могут рассчитываться вручную (например, промеры глубин водоемов).

Итогом съемки рельефа дна акватории является его отображение на плане, с нанесенными на нем отметками глубины в разных точках, т.е. картографирование рельефа дна. По сути это такой же топографический план в разных масштабах (от 1 : 500 до 1 : 10 000), где вместо горизонталей рисуются изолинии.

Применение лазерного сканирования для исследования дна акваторий. С недавнего времени в практику исследований дна акваторий используется технология, основанная на использовании лазерного сканера. Данная технология используется с применением судов или беспилотных летательных аппаратов.

Принцип использования технологии аналогичен применению лазерного сканирования для наземных объектов. Сканирование поверхности дна водоема может выполняться, как правило, на глубину до 20 м при достаточной прозрачности воды.

На основе облака точек строится цифровая модель рельефа дна акватории, по которой можно получить информацию о динамике изменений состояния дна, вызванных природными или техногенными воздействиями [8].

Рассмотренные в статье геодезические методы для изучения рельефа дна акваторий хорошо применимы до глубины 20–40 м.

Сегодня в большинстве исследований глубинных измерений, проводимых в водной среде, используется акустический метод. Но следует учитывать, что на небольшие водные участки экономически не выгодно использовать акустический метод.

Для исследования морфологии дна акваторий и дистанционного мониторинга подводных объектов существует метод гидролокации, средствами которого являются: системы бокового обзора, акустического профилирования и эхолотирования.

В настоящее время актуальным является разработка отечественных методик, связанных с геодезическим контролем состояния инженерных сооружений, расположенных в шельфовой зоне и на внутренних водных объектах [9].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колосков Е.Н., Фирсов Ю.Г. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России // Вестник государственного университета морского и речного флота им. Адмирала С.О. Макарова. – Санкт-Петербург : Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова, 2015. – С. 54–62.

2. ГКИНП 11-140-81 «Руководящий технический материал. Топографо-геодезические работы на шельфе и внутренних водоемах. Термины и определения».

3. СП-11-104-97 «Инженерно-геодезические изыскания для строительства». Часть III. «Инженерно-гидрографические работы при инженерных изысканиях для строительства».
4. Всеволожский, В. А. Основы гидрогеологии / В. А. Всеволожский. – М.: Изд-во МГУ, 1991.
5. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии / Под ред. А. П. Крэкнелла. – М.: Мир, 1984. – 535 с.
6. Исследование возможностей применения квадрокоптера для съемки береговой линии обводненного карьера с целью государственного кадастрового учета / А. Ю. Чермошенцев, С. А. Арбузов, А. П. Гук, И. М. Ламков // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 200–209.
7. Arzu Erener, Ertan Gökalp. Mapping the Sea Bottom Using RTK GPS and Lead-Line in Trabzon Harbor // Workshop – Hydro. WSH3 – Vertical Reference Frame & Marine Construction/Dredging. (Athens, Greece, May 22-27, 2004), p. 11.
8. Ламков И. М., Чермошенцев А. Ю. Обоснование необходимости использования цифровой модели рельефа для изучения поверхности дна обводненных карьеров, расположенных на территории города Новосибирска // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 69–74.
9. Гринев Г. А., Мурзинцев П. П. О применении современных технических средств для высокоточной съемки рельефа дна и подводных объектов // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 102–107.

© С. Р. Горобцов, К. А. Функ, 2018

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Виктор Александрович Скрипников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (382)343-29-55, e-mail: v.a.scripnikov@ssga.ru

Маргарита Александровна Скрипникова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (382)343-29-55, e-mail: m.a.scripnikova@ssga.ru

Дарья Александровна Бирюкова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент, тел. (999)464-14-19, e-mail: dasha13_97@mail.ru

Вадим Валерьевич Танюхин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, студент, тел. (983)130-86-50, e-mail: tbb7@mail.ru

Приведены результаты экспериментальных измерений выполненных в лабораторных условиях и даны рекомендации по совершенствованию методик измерений геодезическими приборами при определении геометрических параметров технологического оборудования.

Ключевые слова: геометрические параметры оборудования, геометрическое нивелирование, гидростатическое нивелирование, тригонометрическое нивелирование, электронный тахеометр.

ACCURACY DETERMINATION ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT GEOMETRIC PARAMETERS

Viktor A. Skripnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (382)343-29-55, e-mail: v.a.scripnikov@ssga.ru

Margarita A. Skripnikova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (382)343-29-55, e-mail: m.a.scripnikova@ssga.ru

Dar'ja A. Birjukova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (999)464-14-19, e-mail: dasha13_97@mail.ru

Vadim V. Tanjuhin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (983)130-86-50, e-mail: tbb7@mail.ru

It provides the results of experimental measurements performed in laboratory and gives recommendations for geodetic measuring methods improvement for the process of determining geometric parameters of technological equipment.

Key words: geometric parameters of equipment, geometric levelling, hydrostatic levelling, trigonometric levelling, electronic total station.

В настоящее время эксплуатируется много промышленного оборудования, которое требует периодического контроля его пространственного положения и контроля отдельных его частей. В производственной практике для выполнения мониторинга применяются различные методы определения высотного, планового и трёхмерного положения оборудования. Выбор метода измерений определяется, в основном, технологическим допуском на изменение параметра, особенностями конструкции оборудования, условиями измерений [1].

Мониторинг прецизионного оборудования выполняется как средствами промышленного контроля, так и с помощью геодезических приборов. Для выполнения измерений используются как оптические приборы, так и современные автоматизированные оптико-электронные приборы. Например, при определении высотного положения используются высокоточное геометрическое, гидростатическое и тригонометрическое нивелирование.

Сравнивая технические характеристики отсчётных систем высокоточных современных приборов для выполнения геометрического, гидростатического и тригонометрического нивелирования, следует отметить, что при диапазоне измерения превышений в несколько миллиметров и на расстояниях до 10–15 метров, они могут обеспечивать практически равную точность измерений. При наличии влияния неблагоприятных внешних факторов точность измерения превышений может значительно понижаться.

Наиболее значимыми факторами влияния на геометрическое и тригонометрическое нивелирование является вертикальная рефракция и турбулентность воздуха [2, 3]. Для гидростатического нивелирования на первый план выходит влияние температуры на точность измерений. Для всех способов неприемлемым является вибрация.

Рассмотрим инструментальные погрешности способов нивелирования. Для геометрического нивелирования одной из основных погрешностей является погрешность нанесения штрихов на шкалах реек. Для тригонометрического нивелирования большое влияние на точность измерения углов имеют погрешности нанесения штрихов на шкале вертикального круга. Следует отметить, что применение современных автоматизированных электронных тахеометров позволяет выполнять тригонометрическое нивелирование с высокой точностью [4, 5].

В датчиках гидростатического нивелира также необходимо учитывать погрешности шкал микрометра. Для уменьшения влияния погрешностей шкал рекомендуется размещать марки для нивелирования примерно на одном уровне, что позволит использовать для отсчитывания на разных марках один и тот же штрих рейки. Для нивелирования горизонтальных направляющих станков этот способ достаточно эффективен. При невозможности установить марки на од-

ном уровне можно рекомендовать установку универсальных марок, пригодных для выполнения измерений всеми способами. Применение для измерений этого типа марок (рис. 1) позволит использовать тот способ нивелирования, который обеспечит наиболее точное измерение каждого превышения, при существующих на момент измерений факторах влияния.

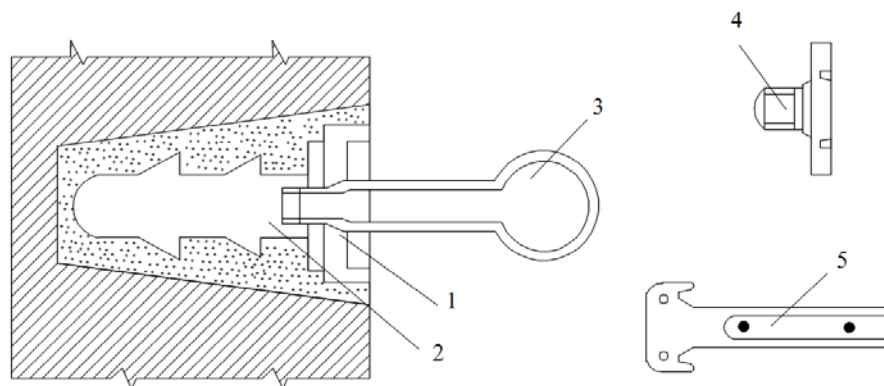


Рис. 1. Стенная осадочная марка закрытого типа:

- 1 – головка марки; 2 – хвостовина анкера; 3 – шаровой болт;
4 – предохранительная крышка; 5 – ключ для снятия крышки

При применении цифровых нивелиров следует учитывать некоторые их особенности, обусловленные системой взятия отсчетов. В частности, необходимостью обеспечения видимости в поле зрения прибора отрезка рейки, симметрично расположенного относительно средней горизонтальной нити, равномерного освещения шкалы рейки. Отсутствие метрической шкалы с подписанными делениями и необходимость работы с достаточно большим отрезком штрих-кодовой рейки не позволяет повысить точность измерений за счёт взятия отсчётов по одноимённому штриху. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что такой метод отсчитывания уменьшает влияние вертикальной рефракции и позволяет уменьшить изменение положения визирной оси при изменении температуры прибора [6, 7, 8].

В настоящее время пространственное положение технологического оборудования определяется с помощью высокоточных электронных тахеометров и наземных сканеров [9, 10]. Эти типы приборов имеют существенные различия в конструкции и в системах отсчитывания. Поэтому необходимы исследования методик измерений для определённых типов приборов в лабораторных условиях и исследование точности при моделировании влияния внешних условий, поскольку при проведении производственных работ точность измерений может быть значительно ниже паспортных значений прибора из-за условий измерений [11, 12].

Для сравнения точности способов нивелирования по универсальным маркам в лабораторных условиях было выполнено гидростатическое, тригонометрическое и геометрическое нивелирование. Схема нивелирного хода по осадочным маркам с измеренными превышениями и полученными невязками при-

ведена на рис. 2. Методика геометрического нивелирования предусматривала применение одной подвесной рейки. Схема измерений была несимметричной. Измерения выполнялись высокоточным нивелиром Н-05 из «средины» прямо и обратно при двух горизонтах. Расхождения в одноимённых превышениях не допускались более 0,2 мм. Было выполнено три цикла измерений. Результаты измерений, приведенные на рис. 2, даны в мм.

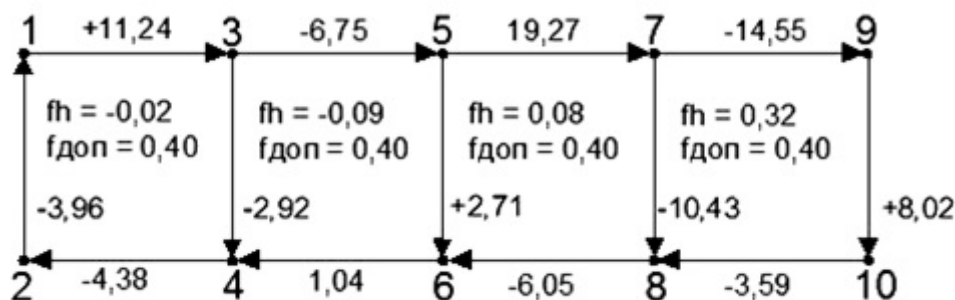


Рис. 2. Схема нивелирного хода по осадочным маркам с измеренными превышениями и полученными невязками для геометрического нивелирования

Тригонометрическое нивелирование проводилось с помощью высокоточного электронного тахеометра Leica TSRP 1201+. Паспортная точность измерения углов тахеометра – 1", расстояний – 1 мм. Измерения тахеометром выполнялись по одной и той же подвесной рейке одновременно с выполнением геометрического нивелирования. Превышения вычислялись с точностью до 0,01 мм. Схема нивелирного хода по осадочным маркам с измеренными превышениями и полученными невязками, приведена на рис. 3. Результаты измерений, приведенные на рис. 3, даны в мм.

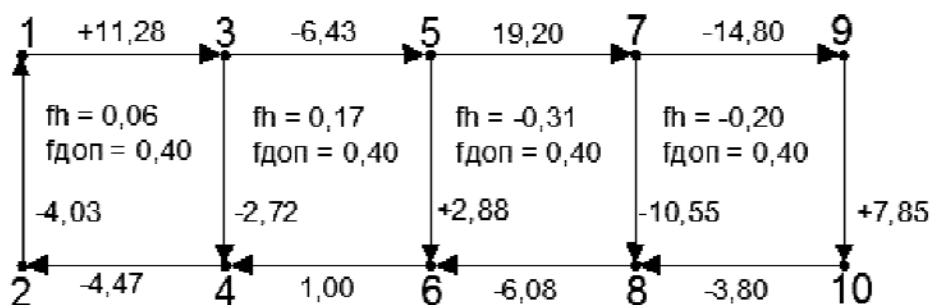


Рис. 3. Схема нивелирного хода по осадочным маркам с измеренными превышениями и полученными невязками для тригонометрического нивелирования

Нивелирование выполнялось «из середины», с наведением на один и тот же штрих рейки, в следующем порядке [13, 14]:

- наведение на рейку при круге лево, установленную на заднюю марку, взятие отсчёта по штриху на рейке при угле наклона близком к 0° ;
- наведение на переднюю марку и взятие отсчёта по штриху на рейке;
- наведение на рейку на передней марке при круге право и взятие отсчёта по штриху на рейке;
- наведение на рейку на задней марке при круге право и взятие отсчёта по штриху на рейке.

Гидростатическое нивелирование по маркам выполнялось нивелиром Мейссера. Было выполнено три цикла измерений. Расхождения в одноимённых превышениях также не допускались более 0,2 мм. Схема нивелирного хода по осадочным маркам с измеренными превышениями и полученными невязками, приведена на рис. 4. Результаты измерений, приведенные на рис. 4, даны в мм.

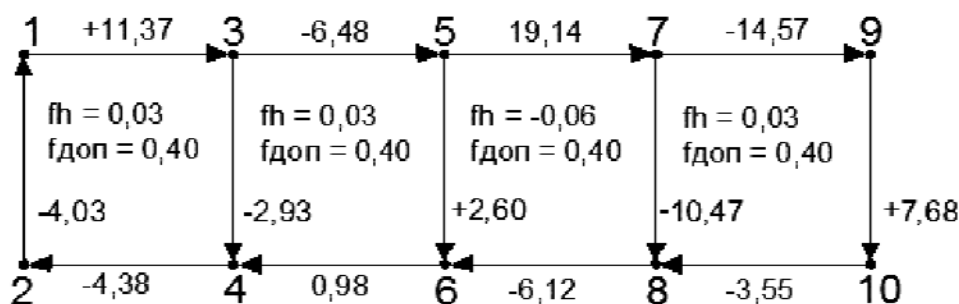


Рис. 4. Схема нивелирного хода по осадочным маркам с измеренными превышениями и полученными невязками для гидростатического нивелирования

Для получения отметок марок и оценки точности было выполнено уравнивание в программе CREDO DAT 4.0. Оценка точности измеренных превышений выполнялась по невязкам в полигонах и по поправкам из уравнивания. Результаты вычисления средней квадратической погрешности (СКП) измеренных превышений для методов нивелирования приведены в таблице.

Результаты оценки точности измеренных превышений

Вид СКП	Геометрическое нивелирование (мм)	Тригонометрическое нивелирование (мм)	Гидростатическое нивелирование (мм)
СКП по невязкам	0,09	0,10	0,02
СКП по поправкам	0,10	0,11	0,03

Для сравнения СКП превышения из многократных измерений для тригонометрического и геометрического было выполнено по десять приёмов измерений одного превышения. Максимальное расхождение значений превышений в

приёмах для обоих методов составило 0,02 мм, сходимость значений превышений между методами также не превысила 0,02 мм. СКП для обоих методов не превысила 0,01 мм.

Анализ полученных данных показывает, что все три метода, на данной сети марок, по точности соответствуют точности нивелирования I класса.

При выверке оборудования имеющего геометрическую форму цилиндра, например, статора гидрогенератора, может использоваться лазерный сканер или электронный тахеометр [15, 16]. Измерения геометрии статора могут выполняться как при постановке прибора внутри, так и снаружи оболочки статора.

В лабораторных условиях были выполнены измерения по 10 пунктам долговременного закрепления, расположенных равномерно по окружности радиусом примерно 2 метра. Измерения выполнялись при расположении тахеометра внутри и вне кольца пунктов. Пункты имеют устройство для принудительного центрирования, общий вид которого приведён на рис. 5.



Рис. 5. Схема установки призмы и нивелирной рейки

Для измерений использовались высокоточные электронные тахеометры Leica TSRP 1201+ и Leica TM30. При выполнении работ применялась мини-призма GMP104. Точность центрирования призмы составляла не более 0,05 мм.

Для контроля определения отметок, определённых электронным тахеометром использовался высокоточный цифровой нивелир DiNi03 в комплекте с метровой рейкой. Измерения выполнялись по программе нивелирования I класса. Схема установки на пункте призмы и нивелирной рейки показана на рис. 5. На первом этапе измерений электронный Leica TSRP 1201+ и нивелир устанавливались поочерёдно в центре окружности. Измерения выполнялись на каждый пункт дважды. Расхождения между приёмами в координатах и по отметке на пунктах, полученными тахеометром не превышали 0,1 мм, по отметкам из нивелирования не более 0,02 мм. Сравнение превышений между пунктами, полу-

ченных тахеометром и нивелиром, показало, что максимальные расхождения достигают 0,5 мм. Затем в центр устанавливался тахеометр Leica TM30 и выполнялось повторное определение координат и отметок пунктов. Сравнение полученных результатов измерения превышений с результатами, полученными из геометрического нивелирования, показало, что величины расхождений не превышают 0,1 мм.

На втором этапе измерений тахеометр устанавливался на расстоянии 6 метров от кольца пунктов. Повторные измерения тахеометром и нивелиром выполнялись одновременно по установленной на пункте рейке. Расхождение значений измеренных превышений из двух методов не превысило 0,1 мм.

Анализ результатов измерения превышений показал, что исследуемый тахеометр Leica TSRP 1201+ на расстояниях, близких к минимально-измеряемому, в автоматическом режиме наведения на отражатель, не обеспечивает паспортную точность измерения превышений. При увеличении расстояний до 6 метров, расхождение значений измеренных превышений, по сравнению с результатами, полученными из геометрического нивелирования, уменьшается с 0,5 мм до 0,1 мм.

Повторные измерения координат обоими тахеометрами показали, что вычисленные между пунктами расстояния различаются не более чем на 0,3 мм. Применение при повторных измерениях высокоточного центрирующего устройства, автоматического способа наведения на визирную цель и одной призмы, устанавливаемой на одной высоте, может повысить точность измерений при мониторинге геометрических параметров оборудования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Могильный С.Г., Шоломицкий А.А. Модели технологий автоматизированных высокоточных геодезических измерений при монтаже и мониторинге промышленных установок // «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения.»: сб. материалов междунар. научн.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 11 –13 ноября 2015г.). – СПб. : Политехника, 2015 – С.55–57.
2. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.
3. Никонов А. В. К вопросу о влиянии вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 12–26.
4. Никонов А. В. Особенности применения современных геодезических приборов при наблюдении за осадками и деформациями зданий и сооружений объектов энергетики // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 4 (24). – С. 12–18.
5. Никонов А. В. Исследование точности измерения расстояний электронными тахеометрами в безотражательном режиме // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 43–53.
6. Никонов А. В., Чешева И. Н., Лифашина Г. В. Влияние перепадов температуры окружающей среды на главное условие цифрового нивелира при наблюдениях за осадками фундаментов зданий и сооружений // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 2 (34). – С. 24–33.
7. Никонов А. В., Рябова Н. М., Соболева Е. Л. Об ошибке измерения превышения на станции цифровым нивелиром в полевых условиях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Ме-

ждунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 37–41.

8. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Опыт применения цифрового нивелира DiNi03 при выполнении повторного высокоточного гидротехнического нивелирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 189–192.

9. Скрипникова М. А. Возможности применения автоматизированных высокоточных электронных тахеометров при измерении деформаций инженерных сооружений // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 1. – С. 131–134.

10. Исследования зависимости погрешностей геодезических измерений в продольном и поперечном направлениях относительно визирного луча Apі Tracker3 от расстояния / Д. Б. Буренков, П. П. Мурзинцев, А. В. Полянский, Ю. А. Пупков, Л. Е. Сердаков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 3–6.

11. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Прикладная геодезия. Геодезические работы при определении осадок инженерных сооружений автоматизированными системами и приборами : учеб. пособие. – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 106.

12. Скрипников В. А., Скрипникова М. А. Исследование точности определения отметок марок при определении осадок фундаментов технологического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 87–91.

13. Уставич Г. А., Рахымбердина М. Е., Никонов А. В., Бабасов С. А. Разработка и совершенствование технологии инженерно-геодезического нивелирования тригонометрическим способом // Геодезия и картография. – 2013. – №6. – С. 17–22.

14. Ustavich G. A., Rakhymberdina M. Y., Toguzova M. M. Investigation and improvement of metrological calibration tests of the “digital level-barcode rod” system. // ARPN Journal of Engineering and Applied Science ISSN 1819-6608. April 2016. – T.11 – № 8.

15. Gorokhova Ekaterina I. Geomonitoring of Engineering Structures and Forecasting Their Deformations Using Laser Scanning Data Desislava Staykova, Nico Zill // International Workshop «Integration of Point-and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects. Proceedings 23th-24th march 2015, Studgart, Germany. – С.91-96

16. Mogilny S.G., Sholomytskiy A.A. , Seredovich V.A. , Seredovich A.V., Ivanov A.V. The Analysis of Methods for Determining the Geometric Parameters of Rotating Machines// International Workshop «Integration of Point-and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects. Proceedings 23th-24th march 2015, Studgart, Germany. – С.119-130

© В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова,
Д. А. Бирюкова, В. В. Танюхин, 2018

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ МАРКШЕЙДЕРСКИХ РАБОТ НА РАЗРАБОТКАХ ОТКРЫТОГО ТИПА

Никита Алексеевич Зуев

АО «Урало-Сибирская Гео-Информационная Компания», 620146, Россия, г. Екатеринбург, ул. Фурманова, 127, заместитель директора, тел. (343)219-95-99, e-mail: zuev@usgik.ru

Антон Александрович Кобзев

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, студент, тел. (915)409-68-58, e-mail: 79154096858@yandex.ru

Беспилотные авиационные системы (БАС), такие как различные модели DJI Phantom, в настоящее время всё чаще используются для проведения фотограмметрических работ. Это связано с простотой применения таких БАС, их дешевизной и оперативностью получения результатов. В статье представлена разработанная технологическая схема применения DJI Phantom 4 при проведении маркшейдерских работ на открытых карьерах, а также показаны результаты ее использования при выполнении работ по созданию топографической продукции.

Ключевые слова: фотограмметрия, маркшейдерия, вычисление объемов отвалов, беспилотные авиационные системы, DJI Phantom, Agisoft Photoscan.

USE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE WHEN CARRYING OUT MINE WORKS IN OPEN QUARRY

Nikita A. Zuev

Uralo-Sibirskaya Geoinformatsionnaya company JSC, 127, Furmanov St., Yekaterinburg, 620146, Russia, Deputy Director, phone: (343)219-95-99, e-mail: zuev@usgik.ru

Anton A. Kobzev

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Per., Moscow, 105064, Russia, Student, phone: (915)409-68-58, e-mail: 79154096858@yandex.ru

Unmanned aerial vehicles (UAV), such as various models of DJI Phantom drones nowadays are in frequent use for photogrammetric works. This is due to UAVs' operation simplicity, their low price and high efficiency in data processing. As such, the technology of using DJI Phantom 4 was worked out and applied to mine survey in open quarry. The article presents this technology as well as the results of the performed works for creating topographic products.

Key words: photogrammetry, mine survey, volume calculation, unmanned aerial vehicle, drone, DJI Phantom, Agisoft Photoscan.

Маркшейдерия на открытых разработках включает в себя комплекс геодезических работ, проводимых преимущественно наземными методами. Частота выполнения и состав таких работ определяются инструкцией по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) [1]. Согласно данному нормативному документу комплекс маркшейдерских работ включает следующие основные процессы:

1) топографическая съемка месторождения в масштабах 1:1 000 или 1:2 000 (не реже, чем один раз в 6 месяцев);

2) топографическая съемка внешних отвалов в масштабах 1:2 000 – 1:5 000;

3) определение объемов вынутых горных пород;

4) ведение маркшейдерской графической документации;

5) построение и обновление цифровой модели карьера.

Согласно инструкции, данные работы выполняются наземными геодезическими методами, а также с помощью аэрофотосъемки (АФС).

В связи с тем, что в настоящее время аэрофотосъемка с использованием беспилотных авиационных систем проводится с целью создания топографической продукции масштабов 1:5 000 – 1:500, была поставлена цель – разработать технологическую схему выполнения маркшейдерских работ на открытых разработках протяженностью до 500-600 м (например, на которых добываются мрамор, песок) с применением DJI Phantom.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1) разработана технологическая схема создания цифровой модели карьера, отвечающей требованиям к точности планов масштаба 1:2 000 с сечением рельефа 1 м, с применением квадрокоптера DJI Phantom;

2) выполнен эксперимент по проверке разработанной технологической схемы.

В качестве беспилотного воздушного судна (БВС), с помощью которого производилась аэрофотосъемка, был выбран DJI Phantom 4, технические характеристики которого приведены в табл. 1 [2].

Таблица 1

Основные технические характеристики DJI Phantom 4

Характеристика	Значение
Размер	30*30 см
Вес	1,4 кг
Тип двигателя	Электрический
Максимальная высота полёта	500 м
Максимальная скорость полёта	20 м/сек
Максимальная скорость ветра	10 м/ек
Время полёта	28 минут
Камера	DJI FC330, 12 МП

На основании инструкции по фотограмметрическим работам [3], инструкции по маркшейдерским работам [1] и опыта использования беспилотных авиационных систем разработана технологическая схема создания цифровой модели поверхности карьера, отвечающей требованиям к точности планов масштаба 1:2 000 с сечением рельефа 1 м, с применением квадрокоптера типа DJI Phantom.

Разработанная технологическая схема состоит из следующих этапов:

- 1) подготовительные работы:
 - a) планирование аэрофотосъемки;
 - b) планирование планово-высотной подготовки (ПВП);
 - c) запрос разрешения на использование воздушного пространства;
- 2) полевые геодезические работы:
 - a) проведение спутниковых наблюдений на пунктах ПВП и маркшейдерской сети карьера;
 - b) расположение на местности маркировочных знаков и спутниковые наблюдения на них;
- 3) полевые аэрофотосъёмочные работы:
 - a) выбор места взлёта и посадки квадрокоптера;
 - b) проведение аэрофотосъемки с использованием DJI Phantom;
- 4) камеральные работы по обработке результатов полевых геодезических и аэрофотосъёмочных работ:
 - a) вычисление координат точек ПВП;
 - b) обработка аэрофотоснимков в Photoscan с целью получения цифровой модели поверхности (ЦМП).

С целью апробирования разработанной технологической схемы проведен комплекс работ на открытом карьере. Аэрофотосъемка выполнена в два этапа: сначала АФС характерного фрагмента карьера – его борта (площадь съемки составила 0,15 кв. км), затем с определенными из этой съемки параметрами произведен залёт над всем карьером (площадь – 0,4 кв. км). Диаметр его на момент проведения работ составлял около 400 м, глубина – 60 м.

На первом этапе работ было запланировано несколько залетов с высот 30, 50 и 100 м над бортом карьера и создан проект планово-высотного обоснования, включающий 20 замаркированных опознаков (см. рис. 1). Это позволило в дальнейшем получить избыточность информации, которая использовалась для оценки технологической схемы.

На втором этапе проведены полевые работы по определению координат точек ПВП и пунктов маркшейдерской сети. Для этих целей выполнены спутниковые наблюдения в режиме «быстрая статика» и «RTK» согласно инструкции по развитию съёмочной сети спутниковыми методами [4]. После обработки результатов полевых геодезических работ стандартное отклонение координат точек не превышало 2 см. В качестве точек ПВП использованы маркировочные знаки различного цвета (белые, зеленые и синие, см. рис. 2). Применение в качестве опорных точек естественных контуров на карьере не представляется возможным ввиду их отсутствия, а также из-за однородности подстилающей поверхности.

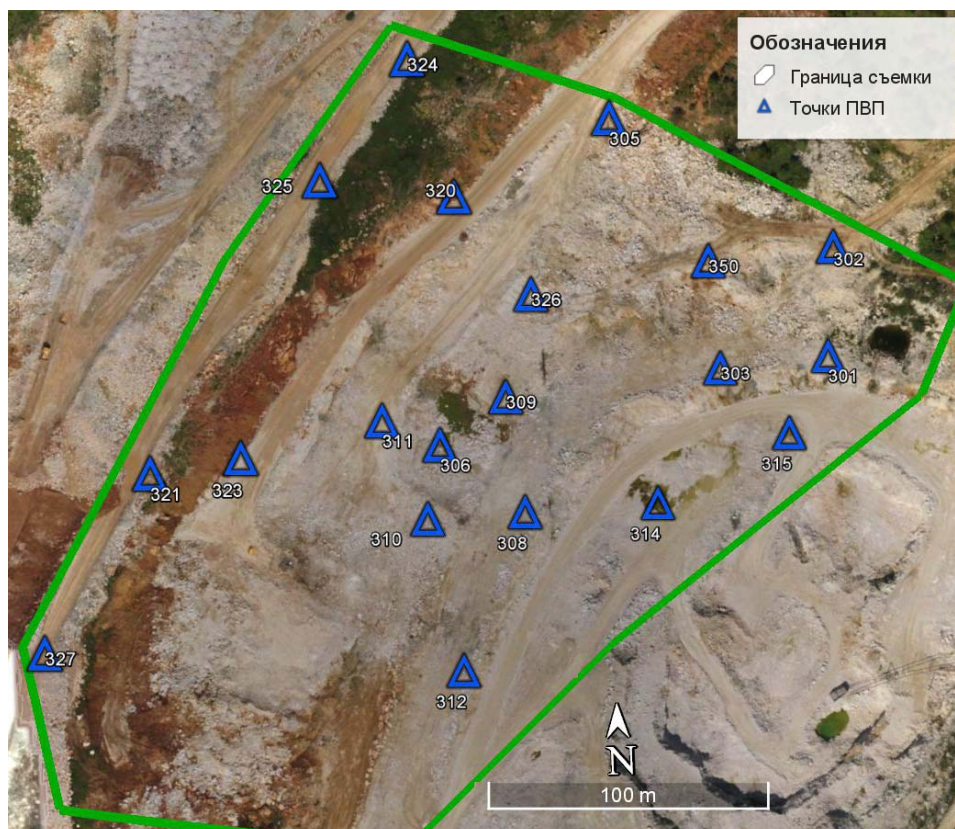


Рис. 1. Фотосхема с расположением точек ГВП для аэрофотосъемки борта карьера



Рис. 2. Внешний вид замаркированного опознака

После завершения геодезических работ выполнена аэрофотосъемка с применением БАС DJI Phantom 4 с высот 30, 50 и 100 м, при этом размер проекции пикселя на местности составил 2, 3 и 5 см, соответственно.

На последнем этапе проведена камеральная обработка результатов АФС в программном продукте Agisoft Photoscan 1.3.2. Аналитическая фототриангуляция выполнена раздельно по снимкам, полученным с различных высот, после чего проведено сравнение точности фототриангулирования по координатам общих опорных и контрольных точек. Количество опорных точек составляло 4, контрольных – 9. При оценке точности использовались не все точки ПВП, так как некоторые из них, преимущественно расположенные на дне карьера, не отобразились при съемке с высоты 100 м, а крайние точки не отобразились на снимках, полученных с высоты 30 м. В табл. 2 представлены расхождения и средние квадратические погрешности (СКП) планового положения (ошибка в плане) и высот (ошибка по высоте) опорных и контрольных точек, полученные по результатам аналитической фототриангуляции и геодезических работ.

Таблица 2

Погрешности фототриангуляции, полученные по снимкам с различных высот

Имя точки	Высота 100 м		Высота 50 м		Высота 30 м	
	Ошибка в плане, см	Ошибка по высоте, см	Ошибка в плане, см	Ошибка по высоте, см	Ошибка в плане, см	Ошибка по высоте, см
Опорные точки						
305	6,3	1,2	0,7	-0,1	3,4	0,1
311	4,9	1,0	5,2	1,3	7,5	2,0
312	16,4	-2,4	5,7	-0,6	7,8	-1,7
327	9,7	2,7	3,2	-0,5	2,7	-0,3
СКП	10,3	2,0	4,2	0,8	5,8	1,3
Контрольные точки						
309	20,7	27,0	21,1	0,0	4,4	-3,0
310	20,8	9,4	6,0	4,6	10,9	0,5
314	21,2	3,0	8,3	-4,1	6,4	-8,5
320	13,9	-1,0	15,0	1,4	7,9	-1,7
321	19,6	-1,4	9,1	4,4	9,7	6,6
323	13,0	4,8	6,0	-2,0	8,5	4,0
324	4,4	-0,7	11,9	-0,1	14,6	1,7
325	5,6	8,9	11,0	-0,1	14,9	7,2
326	9,5	8,2	5,9	-7,8	3,9	-7,2
СКП	15,6	10,5	11,5	3,7	9,8	5,3

На основе сравнительного анализа данных, приведенных в табл. 2, установлено, что все результаты фототриангуляции отвечают требованиям к точности создания планов масштаба 1:2 000 с сечением рельефа 1 м, однако при высоте полета 30 м требуется значительно больших временных затрат на съемку и обработку снимков, так как значительно увеличивается количество изображений. На снимках, полученных с высоты 100 м, за счёт глубины карьера не рас-

познаются многие опознаки, что приводит к потере точности фототриангуляции. Поэтому оптимальной для аэрофотосъемки карьера является высота, равная 50 м.

Для создания цифровой модели всего карьера произведён залёт с использованием БАС DJI Phantom 4. В результате планово-высотной подготовки определены координаты 22 замаркированных опознаков в режимах «быстрая статика» и «RTK» [4]. Схема расположения опорных и контрольных точек представлена на рис. 3. Полученные в результате аналитической фототриангуляции погрешности отвечают требованиям инструкции по фотограмметрическим работам [3] для создания топографической продукции масштаба 1:1 000 с сечением рельефа 1 м. Средняя квадратическая погрешность (СКП) определения планового положения опорных точек составила 10 см, высот – 2 см, для контрольных точек – 22 см в плане и 13 см по высоте.



Рис. 3. Схема расположения точек ПВП для аэрофотосъемки всего карьера

После проведения оценки точности фототриангуляции в программном продукте Agisoft Photoscan построена цифровая модель поверхности карьера и отвалов (область точек ПВП 201-206-204, см. рис. 3). Данная ЦМП впоследствии использована для дешифрирования при создании топографического плана масштаба 1:2 000, также по ней построены квазигоризонтالي с сечением рельефа 1 м, которые уточнялись при стереоскопической съемке. Кроме того, по ЦМП произведено измерение объемов отвалов в ГИС Спутник.

Таким образом, в соответствии с представленной технологической схемой были выполнены работы по созданию цифровой модели поверхности открытого карьера с применением квадрокоптера DJI Phantom.

В настоящее время беспилотные авиационные системы используются при проведении маркшейдерских работ в России и за рубежом. Так, в 2016 году компанией «Джи Пи Эс Ком» определены объемы горных работ с применением БВС Phantom 4. При выполнении этой работы в качестве точек ПВП использовалось 12 замаркированных опознаков. СКП определения планового положения контрольных точек составила 7 см, высот – 6 см [5]. Французская компания Groupe CB совместно с RedBird (в настоящее время Axiware) разработала комплексное решение по мониторингу карьеров и проведению маркшейдерских работ с использованием БАС senseFly eBee. Исследования выполнены на 9 карьерах общей площадью 366 Га. Всего использовалось 77 точек ПВП в виде замаркированных опознаков, 22 из которых являлись контрольными. Погрешности планового и высотного положения контрольных точек составили не более 3 см. В результате работ получены цифровые модели карьеров, карты уклонов и ортофотопланы [6].

В материалах публикаций, посвященных применению беспилотной авиации для выполнения маркшейдерских работ, отмечаются преимущества использования БАС по сравнению с наземной съёмкой в отношении обеспечения безопасности, оперативности и невысокой стоимости проведения работ. Это объясняется тем, что маркшейдеру не требуется находиться непосредственно в очаге горных работ, значительно сокращается время пребывания геодезиста в зоне проведения геологических работ в карьере, отсутствует необходимость приостановки работ на карьере для выполнения маркшейдерского замера, так как получение материалов для этих целей производится дистанционно.

В результате экспериментальной проверки технологической схемы создания цифровой модели поверхности открытых карьеров с использованием БАС выявлены следующие особенности проведения работ:

- 1) необходимость использования замаркированных опознаков, так как естественные контуры отсутствуют;
- 2) при проведении аэрофотосъемки карьеров протяженностью до 500 м достаточно использовать пять опорных точек и две-три контрольных для обеспечения точности топографической продукции масштаба 1:1000 с сечением рельефа 1 м;
- 3) цифровые модели поверхности открытых карьеров, полученные с применением БАС, объективны (так как предоставляется изображение местности, а

не точечные и векторные данные), их можно использовать для контроля за ходом проведения работ на карьере, планирования дальнейшей разработки, выделения геологических особенностей.

4) использование беспилотной авиации при проведении маркшейдерских работ согласно инструкции [1] позволяет выполнить комплекс необходимых работ в кратчайшие сроки и обеспечивает требуемую точность выходных материалов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. РД 07-603-03. Инструкция по производству маркшейдерских работ. – М. : Федеральное государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2004. –120 с.

2. Phantom 4 Характеристики [Электронный ресурс] // DJI: [сайт]. URL: <http://www.dji.com/ru/phantom-4/info> (дата обращения: 18.11.2017).

3. ГКИНП (ГНТА)- 02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

4. ГКИНП-02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 124 с.

5. Вьюнов М. В. Оценка использования возможности применения аэрофотосъёмочных БПЛА для учета горных работ при добыче полезных ископаемых 2017. URL: http://config.com/files/pdf/презентации_2017/Вьюнов.pdf (дата обращения: 18.11.2017).

6. SenseFly. Building the future of quarry monitoring — using drones to boost safety & survey efficiency 2016. URL: https://www.sensefly.com/fileadmin/user_upload/sensefly/user-cases/2016/senseFly-Case-Study-Redbird.pdf (дата обращения: 10.11.2017).

© Н. А. Зюев, А. А. Кобзев, 2018

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ВРЕМЕННЫХ ОТВАЛОВ КАРЬЕРА БОРОК В ПРОГРАММЕ AGISOFT PHOTOSCAN

Виктор Семенович Писарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)777-79-87, e-mail: viktor@ssga.ru

Бахтиёр Назруллоевич Ахмедов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (953)873-09-06, e-mail: khudobakhsh@inbox.ru

Айгерим Толумбеккызы Нурмухаметова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (705)873-53-00, e-mail: ai-kerim_95@mail.ru

Арсен Иванович Тарабукин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (999)452-78-19, e-mail: tarabukin16@icloud.com

В статье рассмотрены разработанные авторами процедуры, позволяющие усовершенствовать методику получения цифровой модели местности путем обработки аэрофотограмметрических данных при ведении открытых горных работ. Приведен пример обработки и описывается поэтапное создание ортофотоплана в программе Agisoft PhotoScan. Продемонстрированы все этапы обработки аэрофотограмметрических снимков.

Ключевые слова: ортофотоплан, аэрофотоснимки, камеры, маркеры, облако точек, полигональная модель, текстура, трехмерная модель, дисторсия.

CONSTRUCTION OF A DIGITAL MODEL OF THE TEMPORARY DUMPS OF THE BOROK OPEN-PIT IN THE PROGRAM AGISOFT PHOTOSCAN

Victor S. Pisarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)777-79-87, e-mail: viktor@ssga.ru

Bachtier N. Akhmedov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: khudobakhsh@inbox.ru

Aigerim T. Nurmukhametova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (705)873-53-00, e-mail: ai-kerim_95@mail.ru

The article considers issues that allow improving the methodology for obtaining a digital terrain model by processing aerial photogrammetric data management of open pit mining. This article is an example of processing and describes the stage-by-stage creation of an orthomosaic in Agisoft PhotoScan. There all stages of processing aerial photogrammetric images are demonstrated.

Key words: orthophoto, aerial photos, cameras, markers, cloud points, polygonal model, texture, three-dimensional model, distortion.

Деятельность любого горнодобывающего предприятия невозможна без отлаженной маркшейдерской службы. Однако традиционный подход к маркшейдерскому обеспечению горных работ приводит к значительным потерям времени и малой экономической эффективности, а при дефиците квалифицированных кадров – и к низкому качеству самих работ.

При выполнении тахеометрической съемки объектов горнодобывающего предприятия требуется одновременное участие нескольких специалистов на продолжительный период времени. Для повышения эффективности возможно применение аэрофотосъемки (АФС) с пилотируемых летательных аппаратов, дешифрирование спутниковых снимков либо аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Одним из перспективных способов решения маркшейдерских задач на крупных карьерах в ближайшее время станет метод дистанционного картографирования с использованием беспилотных летательных аппаратов.

Применение аэрофотосъемки в маркшейдерском деле позволяет решать следующие виды задач:

- оперативное построение цифровой модели карьера;
- подсчет объемов добытого полезного ископаемого;
- определение устойчивости бортов карьера;
- мониторинг опасных объектов.

Стоит отметить, что технология аэрофотосъемки с БПЛА в наше время в значительной степени отработана. Большая часть существующих и эксплуатируемых беспилотных летательных аппаратов предназначена для воздушной разведки и наблюдения, которые осуществляются с помощью фото- и видеосъемки. Также данная модель квадрокоптера успешно подходит для выполнения маркшейдерско-геодезических работ.

При проведении работ на территории карьера «Борок», расположенного в г. Новосибирске, нами был использован квадрокоптер DJI Phantom, некоторые технические характеристики которого приведены в таблице.

Параметры полета позволяют выполнить съемку с высокой степенью наложения (до 80 %), таким образом, параллельные маршруты и перекрывающиеся изображения будут охватывать всю заданную область территории. Полет

выполняется в полностью автоматическом режиме от взлета и до посадки. Наземная контрольная станция управления (GCS) используется для запуска, управления полетом и процессом съемки.

Технические характеристики DJI Phantom	Время полета (одна батарея): 28 мин Максимальная скорость: до 72 км/ч Дальность передачи сигнала: до 3,5 км Камера: 12 Мп Система облета препятствий: есть Встроенные датчики: GPS, ГЛОНАСС, акселерометр, датчик высоты, магнитометр, ультразвуковой датчик, оптический датчик
Преимущества	Мобильность, простота управления, возможность передачи изображения в режиме реального времени, стабильность, система облета препятствий, возможность съемки под углом, невысокая цена
Недостатки	Лимит батареи, камера подходит не для всех задач

Камеральная обработка аэрофотоснимков, полученных по результатам полетов DJI Phantom, производилась в программном обеспечении Agisoft PhotoScan.

Программа Agisoft PhotoScan – универсальный инструмент для генерации трехмерных моделей поверхностей объектов съемки по фотоизображениям этих объектов. PhotoScan может применяться для построения моделей местности по данным аэрофотосъемки и генерации матриц высот и ортофотопланов, построенных на основе этих моделей. Обработка фотоснимков в PhotoScan максимально автоматизирована, что является основным преимуществом данной программы.

Для обработки аэрофотоснимков и построения ортофотоплана была произведена загрузка фотографий с помощью меню Файл/Добавить. Положения камер заданы в соответствии с их географическими координатами, полученными по результатам полета.

На следующем этапе происходит выравнивание фотографий, программа распознает положение камер и строит разреженное облако точек на основе соответствий между фотографиями. Для выравнивания камер в диалоговом окне «Обработка» выбираем пункт «Выравнивать фотографии». Устанавливаются следующие значения параметров:

- точность высокая (чем выше точность, тем больше времени и вычислительных ресурсов потребуется для завершения этапа);
- преселекция пар общая (если положения камер не заданы) (рис. 1).

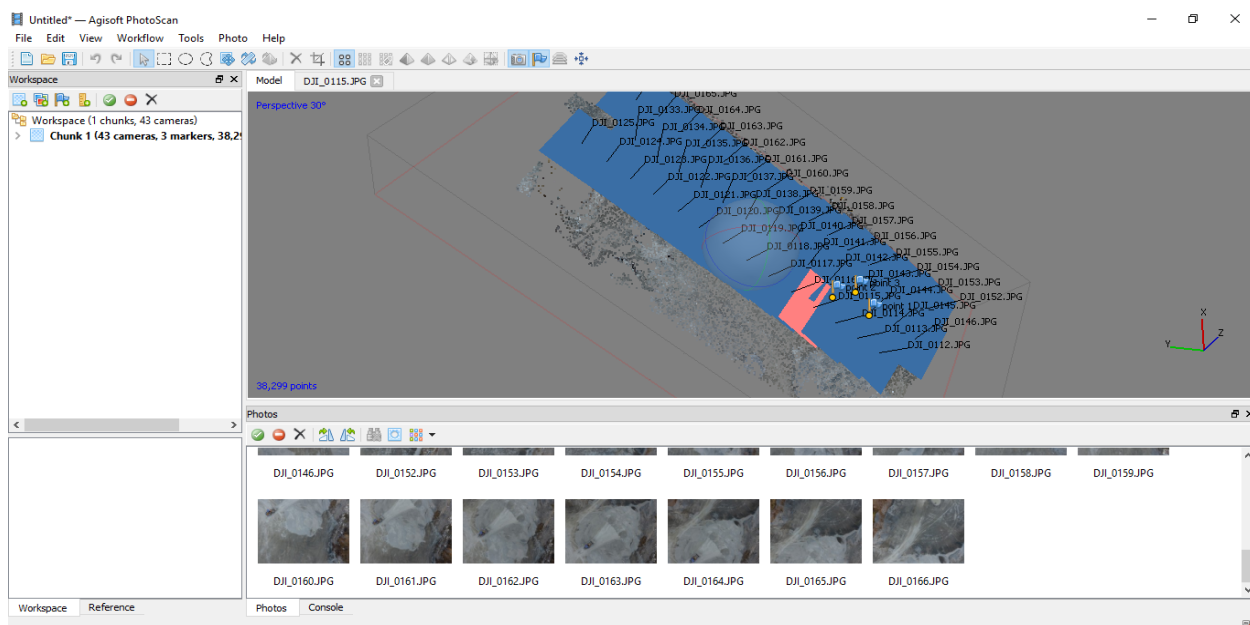


Рис. 1. Выстроенные фотографии

Для более точного расположения камер расставляем маркеры с помощью функции «Создать маркер» (рис. 2).

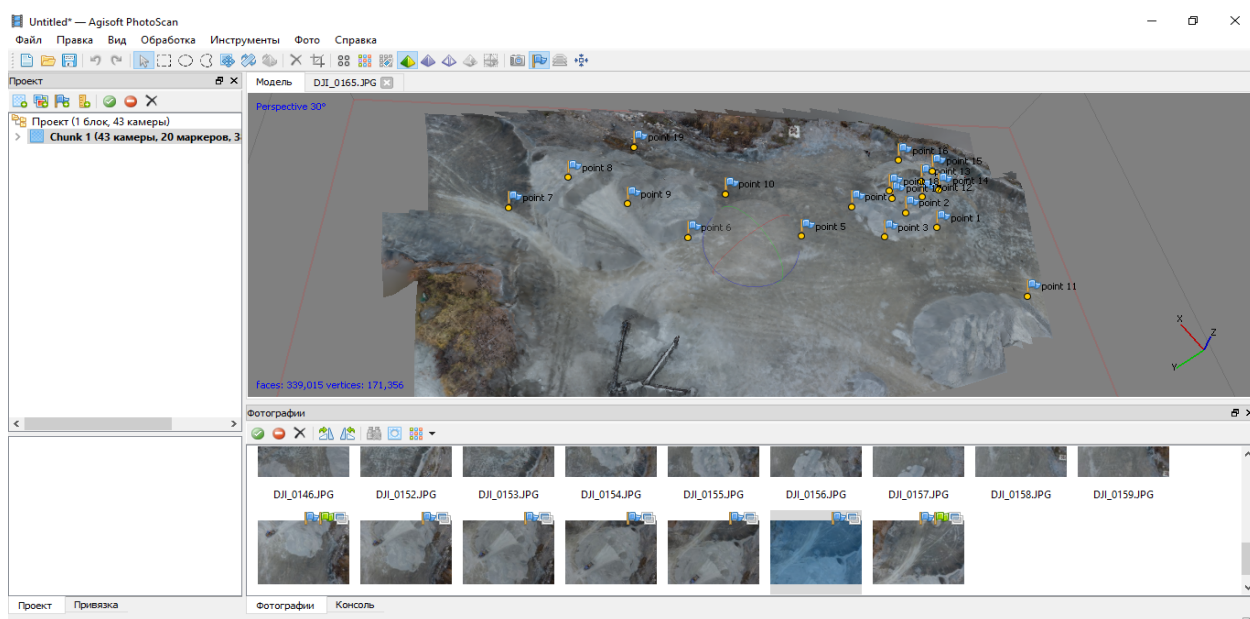


Рис. 2. Установка маркеров

После того как все камеры будут выстроены, происходит построение плотного облака точек, а затем и полигональной модели «Построение плотного облака» (рис. 3).

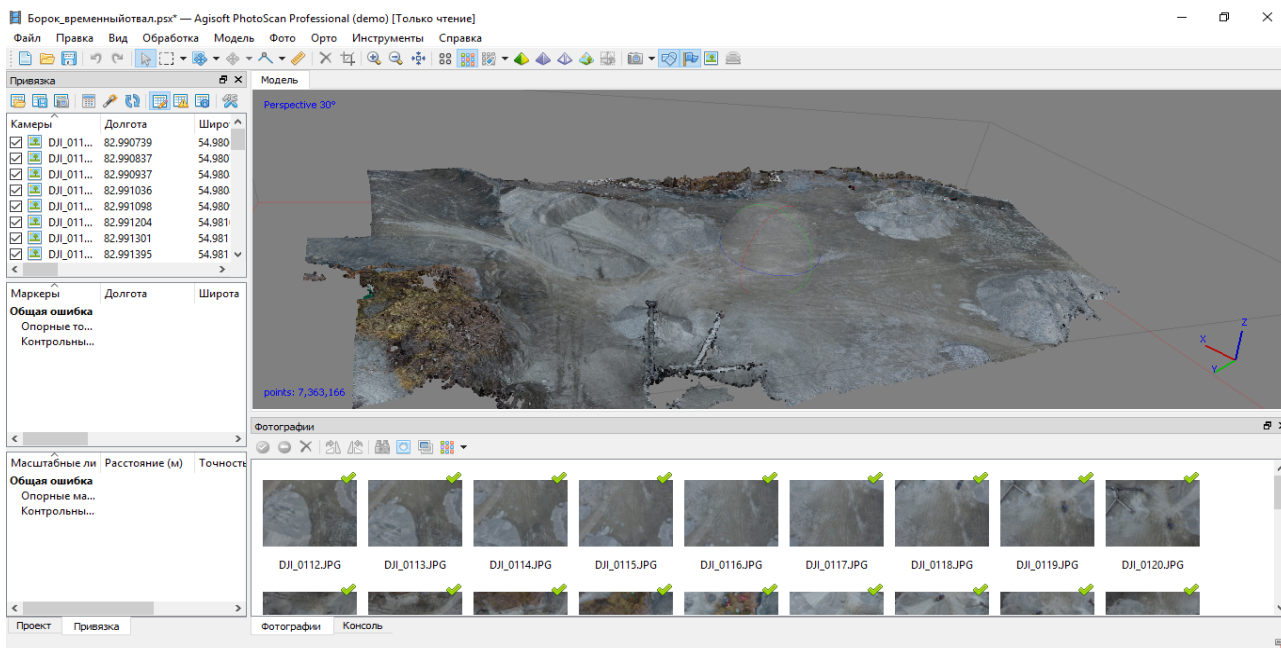


Рис. 3. Результат построения плотного облака

Полученное облако точек содержит достаточно большое количество информации, тем не менее, конечным результатом аэрофотосъемки является векторная модель территории. На основе полученного плотного облака точек программа строит трехмерную полигональную модель (рис. 4).

С помощью вкладки «Обработка» пункт «Построить плотное облако/ Построить модель» выполняем построение цифровой модели.

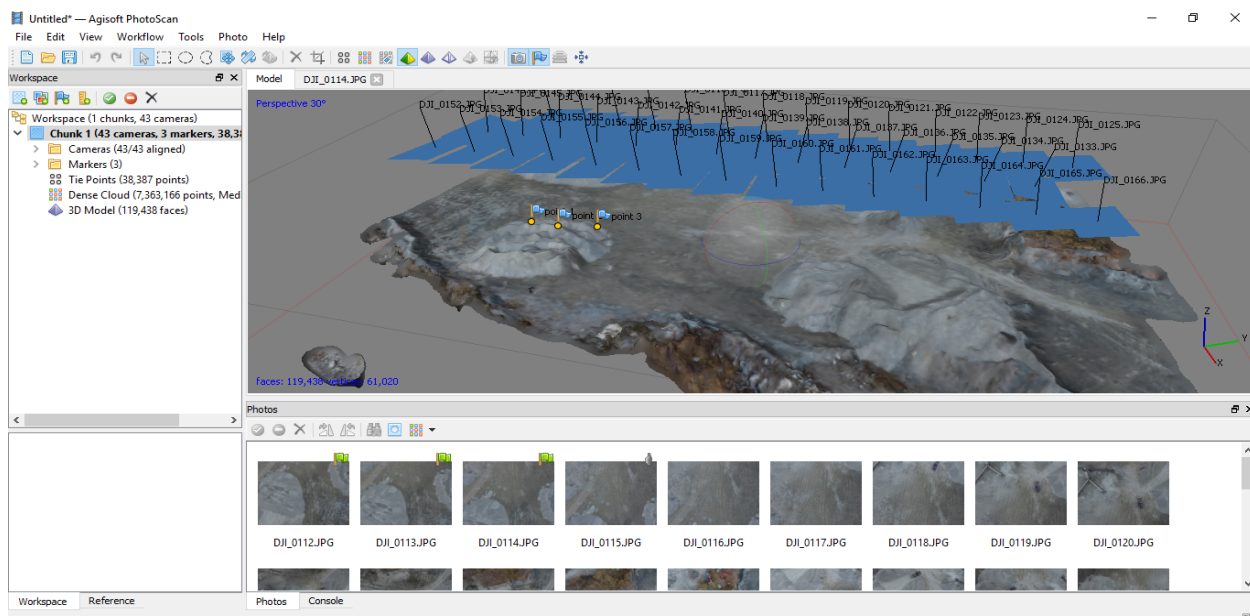


Рис. 4. Результат построения модели

Далее на следующем этапе выполняем «Построение текстуры» и создание цифровой модели временных отвалов, показанных на рис. 5.

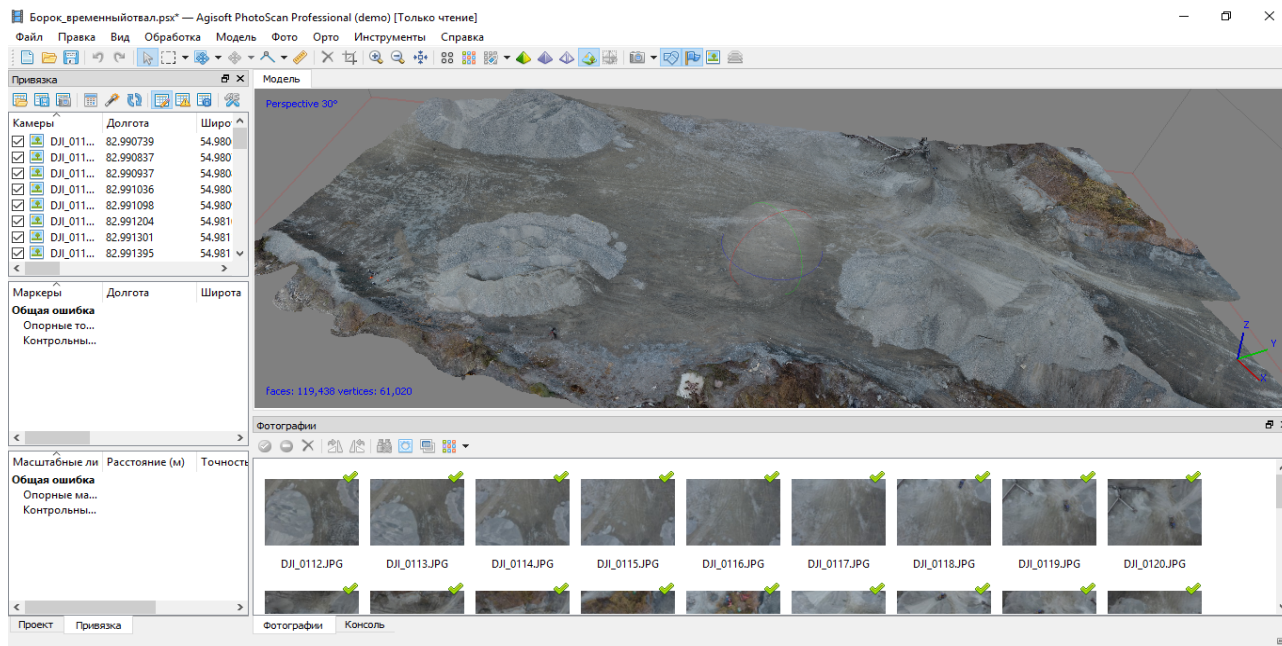


Рис. 5. Конечный результат создания цифровой модели временных отвалов по аэрофотоснимкам

На итоговом этапе были получены векторные модели отвалов, которые можно экспортировать в любую ГИС и САД систему для дальнейшего решения производственных задач.

Таким образом, беспилотные летательные аппараты в горнодобывающей отрасли становятся все более востребованы. В сравнении с традиционными методами аэрофотосъемка с помощью беспилотных летательных аппаратов является более рентабельной, так как требует меньше временных и трудовых затрат. Кроме того, возрастает спрос на качественные данные, получаемые в режиме реального времени, при этом повышается эффективность и производительность добычи полезных ископаемых.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГИТА)-02-036-02. М: ЦНИИГАиК, 2002. – 80 с.
2. Руководство по построению ортофотоплана и карты высот в программе Agisoft PhotoScan Pro 1.2.
3. Писарев В. С. Использование современных сканирующих систем на открытых горных выработках // Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры «От идеи до внедрения»: сборник материалов международной научно-практической конференции. – 2015. – С. 61–64.
4. Писарев В. С., Ахмедов Б. Н. Автоматизированное обновление цифровых моделей геопространства // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. на-

уч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 46–50.

5. Лисицкий Д. В., Писарев В. С. Мультимедийное направление в картографии // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 3 1. – С. 41–46.

6. Нурмухаметова А. Т. 3-х мерное моделирование при подсчете объемов полезного ископаемого // Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М. И. Кучина. – Томск, 2017. – С. 582–583.

© В. С. Писарев, Б. Н. Ахмедов, А. Т. Нурмухаметова, А. И. Тарабукин, 2018

ЛИНЕЙНАЯ ИНТЕРПОЛЯЦИЯ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ПОПРАВОК К АНОМАЛИЯМ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ ЗА ВЛИЯНИЕ МАСС ВНЕШНЕЙ ОБЛАСТИ

Артём Владимирович Мареев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (953)865-45-78, e-mail: Artemi2013@mail.ru

В статье приводятся результаты эксперимента по применению способа интегральных параметров для вычисления топографических поправок к аномалиям силы тяжести за гравитационное влияние масс рельефа внешней области. В результате эксперимента выявлено, что линейная интерполяция топографических поправок возможна внутри области размером $1' \times 1'$ ($3,2 \text{ км}^2$), при радиусе центральной зоны равном десяти километрам. Это позволяет использовать параметрический способ интерполяции топографических поправок в оптимизации вычислений топографической редукции аномалий силы тяжести.

Ключевые слова: аномалия силы тяжести, топографическая редукция, топографическая поправка, параметрический способ интерполяции топографических поправок.

LINEAR INTERPOLATION OF TOPOGRAPHIC CORRECTIONS TO GRAVITY ANOMALIES

Artem V. Mareev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (923)865-45-78, e-mail: Artemi2013@mail.ru

In the paper experimental results of applying parametric interpolation of topographic corrections to external zone topographic corrections are presented. The experiment shows that linear interpolation of external zone's topographic correction is valid in area $1' \times 1'$ ($3,2 \text{ км}^2$), if radius of the central zone is 10 km. It allows using parametric interpolation method for optimization of topographic reduction calculations.

Key words: gravity anomalies, topographic reduction, topographic correction, parametric method of topographic corrections interpolation.

Современное координатно-временное и навигационное обеспечение в полной мере неосуществимо без информации о внешнем гравитационном поле Земли. Для пользователя такая информация предоставляется в виде модели геопотенциала. Сама модель обычно представляет собой набор коэффициентов разложения потенциала силы тяжести Земли по сферическим функциям. Модель является готовым продуктом, прошедшим через несколько этапов сложной математической обработки. На пути превращения измеренных значений аномалий силы тяжести (АСТ) в модель геопотенциала одним из технологических этапов является топографическое редуцирование.

Топографическая редукция АСТ – это процедура учета гравитационного влияния масс промежуточного слоя вокруг результативной точки измерения АСТ. Она предполагает разделение зоны учета влияния рельефа на элементарные блоки, а также численное интегрирование по полученному разделению. Численный результат интегрирования называют топографической поправкой к АСТ:

$$\delta g(x_p, y_p, z_p) = G \iiint_{\tau} \frac{\sigma(x, y, z)}{S^2} d\tau, \quad (1)$$

где x_p, y_p, z_p – координаты результативной точки;

G – гравитационная постоянная;

$\sigma(x, y, z)$ – функция плотности распределения масс;

S – расстояние между текущим блоком интегрирования и результативной точкой;

$d\tau$ – объемный элемент (блок) зоны учета гравитационного влияния рельефа.

В процессе подготовки данных при моделировании гравитационного поля Земли для каждого отдельного измерения АСТ выполняется численное интегрирование (1). Точность вычисления топографических поправок к АСТ напрямую зависит от точности используемой модели рельефа и размера объемного элемента. Чем меньше величина объемного элемента и чем лучше он представляет форму рельефа, тем точнее будет выполнен расчет топографической поправки. Однако это влечет за собой увеличение вычислительной нагрузки, что наряду с непрекращающимся ростом объема гравиметрической информации приводит к необходимости поиска решений по оптимизации процедуры вычислений топографической редукции АСТ. В качестве иллюстрации проблематики приведем следующий пример. Пусть в наличии имеются гравиметрические измерения с плотностью 10 точек на квадратный километр по всей территории России (площадь – 17 100 000 км²).

Согласно замерам, время расчета топографической поправки к АСТ за влияние масс внешней и дальних областей для одной точки численным способом составляет 1,5 минуты на процессоре Intel Core i7 4790 одним потоком (при использовании в дальней области 1-минутной модели рельефа, а во внешней области 3-секундной модели). Соответственно общее время расчета топографических поправок на всю территорию России составит 178125 суток одним интегральным потоком. Применение быстрого преобразования Фурье позволит сократить время расчетов до 890 суток. На практике данные числа могут быть значительно больше, поскольку в замерах не учитывались затраты времени на интегрирование во внутренней зоне (от 0 до 10 км). Важно отметить, что быстрые вычисления топографических поправок к аномалиям силы тяжести позволяют разработчикам моделей ГПЗ применять различные редукционные схемы (Буге, изостатические редукции, инверсионные редукции) в различных регионах Земного шара, что в свою очередь позволяет найти наиболее подходящие

способы редуцирования и получить наилучший результат моделирования гравитационного поля. Потому задача оптимизации расчетов топографической редукции АСТ довольно широко обсуждается в научной литературе [3]–[7].

Одним из подходов в оптимизации вычислений топографической редукции является расчет топографических поправок с помощью интегральных параметров [3]. Способ основан на возможности линейной интерполяции интегральных параметров внутри областей определенных размеров и предполагает, что вычисления топографических поправок производится путем интерполяции интегральных параметров в результирующую точку, тогда как сами интегральные параметры рассчитываются каким-либо интегральным методом в узлах регулярной сетки. Оптимизация вычислений достигается за счет того, что шаг регулярной сетки значений топографических параметров может быть значительно шире шага измерительной гравиметрической информации. То есть, если интегральные параметры можно интерполировать в пределах сетки шагом 10 минут дуги, а на каждую 10-минутную трапецию приходится 10 измерений, то экономия в расчетах составит шесть точек, на которые не нужно выполнять численное интегрирование.

Топографические поправки меняются в пространстве нелинейно, и их непосредственная линейная интерполяция приводит к значительным ошибкам. В работе [1] приводится экспериментальное подтверждение возможности линейной интерполяции топографических поправок к АСТ за влияние топографических масс дальних областей (за 200-км зоной). Также в работе [1] было установлено, что топографические поправки за дальнюю область можно интерполировать в пределах 10-минутной регулярной сетки с допускаемой погрешностью в 1 мкГал. Открытым оставался вопрос о возможности интерполяции интегральных параметров топографических поправок во внешней области (от 10 до 200 км). В связи с чем возникает задача экспериментального определения размера области допустимой интерполяции интегральных параметров топографических поправок к АСТ за внешнюю область.

Первым интегральным параметром является топографической поправка к аномалии силы тяжести, вычисляемая в узлах регулярной сетки ЦМР с высотой, равной средней высоте ЦМР в области интерполяции. Вторым интегральный параметр – вычисляемое значение вертикальной составляющей градиента топографической поправки между топографической поверхностью и поверхностью со средней высотой, полученной по высотам из выбранной ячейки сетки ЦМР.

Для определения области возможной линейной интерполяции топографических поправок был проведен эксперимент, аналогичный приведенному в статье [1]. Однако в новом эксперименте требовалась более детальная модель рельефа и более точные формулы расчета поправки (1).

В эксперименте была использована модель рельефа в 3-секундной детализации, разработанная на данных радарной съемки SRTM. Модель находится в свободном доступе по ссылке: <http://www.viewfinderpanoramas.org/dem3.html>.

Для проведения эксперимента были выбраны профили, которые находятся в области между меридианами $L_1=93^\circ$, $L_2=94^\circ$ и параллелями $B_1=24^\circ$, $B_2=25^\circ$. Выбор профилей в данной области не случаен, так как 200-километровая окрестность области определения профилей характеризуется значительными перепадами высот (предгорье), в том числе значительны перепады высот внутри самих профилей.

На основе исходных 3 - секундных профилей путем разрежения получены профили результативных точек следующего дискретного ряда: 15", 30", 1' , 2' (первая группа профилей). Затем был смоделирован ряд профилей, координаты точек которых располагаются посередине сетки, задаваемой профилями первой группы. Для вычислений интегральных параметров использовался алгоритм численно-аналитического интегрирования [3]. Указанный алгоритм рекомендован для расчета поправок во внешней зоне.

В данном исследовании зона учета рельефа полагалась переменной. Моделирование влияние притяжения рельефа производилась в областях от 10 до 200 км и от 15 до 200 км. В первой группе профилей была выполнена линейная интерполяция интегральных параметров в середину, на основе которых затем вычислены поправки к АСТ. Именно эти значения поправок сравнивались со значениями, рассчитанными непосредственно численным интегрированием во второй (контрольной) группе профилей. Результаты эксперимента приведены в таблице.

Ошибки интерполяции топографических поправок внешней области

Интервал интерполяции (количество точек в профилях)	15"(270)	30"(350)	1'(220)	2'(100)
Центральная зона 10 км				
Среднее значение разностей поправок, мкГал	0,005	-0,101	-0,251	-0,871
Стандартное отклонение разностей поправок, мкГал	0,174	1,208	4,136	14,053
Центральная зона 15 км				
Среднее значение разностей поправок, мкГал	0,003	-0,014	0,018	-0,210
Стандартное отклонение разностей поправок, мкГал	0,067	0,428	1,654	4,769

Таким образом, считая достаточной точность интерполяции поправок на уровне 5 мкГал, можно положить допустимым интервал линейной интерполяции в 1 минуту дуги (через 1,8 км) при размере ближней зоны в 10 км. Соответственно имеется возможность разработки параметрической модели топогра-

фических поправок за внешнюю область дискретностью в 1 угловую минуту. Заранее просчитанная модель топографических поправок за внешнюю область позволит увеличить скорость обработки гравиметрической информации за счет исключения необходимости интегрирования для каждой отдельной результативной точки для площадных или профильных гравиметрических съемок. Очевидно, что при необходимости достижения более высокой точности вычислений и одновременно высоких скоростей обработки можно уверенно использовать 1– минутную дискретность задания интегральных параметров при 15 – километровом радиусе ближней зоны.

Однако наперед просчитанная глобальная модель интегральных параметров поправок не всегда может быть удобной на практике, поскольку она не даст возможность пользователю модифицировать параметры редуцирования. Поэтому для расчета топографических поправок внешней области предлагается использовать следующий оптимизированный алгоритм:

- по имеющейся совокупности измерений определить оптимальное расположение узлов сетки интегральных параметров, полностью покрывающих область задания данных, с шагом обеспечивающим требуемую точность вычисления поправок;

- на основе ЦМР определить значения средних высот в каждой из ячеек регулярной сетки, построенной на предыдущем шаге алгоритма, а также определить собственные значения высот в узлах образованной сетки;

- вычислить интегральные параметры в узлах регулярной сетки;

- путем линейной интерполяции полученных интегральных параметров выполнить вычисления топографических поправок в результативных точках.

Наиболее эффективно использовать преимущество параметрического способа интерполяции поправок позволит алгоритм, включающий в себя оценку оптимального интервала интерполяции и радиуса неучитываемой области (центральной зоны) на основе оценки степени изрезанности рельефа местности. Таким образом, алгоритм сможет автоматически увеличивать интервал интерполяции, уменьшать радиус центральной зоны в равнинных областях и действовать обратным образом в местности со сложным рельефом. Однако это требует дополнительного изучения влияния изрезанности рельефа на интервалы линейной интерполяции поправок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мареев А.В. О возможности расширения интервала линейной интерполяции поправок полной топографической редукции для обработки больших массивов гравиметрической информации [Электронный ресурс] / А.В. Мареев // Физика земли. – 2016. № 6, с. 1–5.
2. Дементьев Ю.В., Развитие теории и разработка технологии определения аномалий силы тяжести в полной топографической редукции [Текст] : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук/ Ю.В. Дементьев // Новосибирск – 2012.
3. Casenave, Fabien, Laurent Métivier, Gwendoline Pajot-Métivier, and Isabelle Panet. “Fast Computation of General Forward Gravitation Problems.” *Journal of Geodesy* 90, no. 7 (July 2016): 655–75.

4. Grombein, Thomas, Kurt Seitz, and Bernhard Heck. "Optimized Formulas for the Gravitational Field of a Tesseroid." *Journal of Geodesy* 87, no. 7 (July 2013): 645–60.
5. Forsberg R (1985) Gravity field terrain effect computation by FFT. *Bull G'eod* 59:342–360
6. Heck, B., and K. Seitz. "A Comparison of the Tesseroid, Prism and Point-Mass Approaches for Mass Reductions in Gravity Field Modelling." *Journal of Geodesy* 81, no. 2 (January 25, 2007).
7. Nagy D (2006) The prism method for terrain corrections using digital computers. *Pure Appl Geophys* 63:31–39

© *A. B. Mapeev, 2018*

О ВЫБОРЕ КОНСТРУКЦИИ ПУНКТОВ ВЫСОТНОЙ ОСНОВЫ НА ПРОМПЛОЩАДКЕ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Валерий Геннадьевич Сальников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, зав. кафедрой инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)932-62-20, e-mail: salnikov@ssga.ru

Александр Сергеевич Горилько

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)750-78-06, e-mail: cahek28@mail.ru

Андрей Михайлович Астапов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, обучающийся, тел. (951)380-24-18, e-mail: andrey_astapov@inbox.ru

Богдан Денисович Чебаков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, обучающийся, тел. (913)790-73-31, e-mail: patci.ci@yandex.ru

Выполнен анализ существующей высотной основы Серовской ГРЭС. Выявлено, что расположенные на территории глубинные кустовые репера не стабильны и использовать их в качестве высотной основы нельзя.

На основании проведенного анализа сделан вывод о том, что выбранная конструкция кустовых глубинных реперов не удовлетворяет физики-геологическим характеристикам территории промышленной площадки с условием наличия вечномёрзлых грунтов; места установки кустовых глубинных реперов были выбраны неудачно или располагались вблизи подземных коммуникаций; во время установки кустовых глубинных реперов была допущена технологическая ошибка.

Ключевые слова: геометрическое нивелирование, высотное обоснование, грунтовый репер, куст реперов.

ABOUT VARIANTS OF ALTITUDE GEODETIC BASE ON INDUSTRIAL SITES OF POWER STATIONS

Valerij G. Sal'nikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Head of Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)932-62-20, e-mail: salnikov@ssga.ru.

Aleksandr S. Goril'ko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)750-78-06, e-mail: cahek28@mail.ru

Andrej M. Astapov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (951)380-24-18, e-mail: andrey_astapov@inbox.ru

Bogdan D. Chebakov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (913)790-73-31, e-mail: patci.ci@yandex.ru

The article shows the analysis of existing height geodetic base of Serovskaja HPS, the results of which reveals that piled benchmarks, located in the territory, are not stable, and cannot be used as geodetic base.

Based on the analysis it is concluded that the chosen construction of piled benchmarks does not take into account physical and geological parameters of the industrial ground that is located on ever-frozen subsoil; positions of piled benchmarks were not chosen well or were located near underground facilities; a mistake was made in piled benchmarks installation.

Key words: geometric leveling, vertical survey, ground benchmark, bush benchmarks.

В настоящее время существует тенденция к увеличению строительства и реконструкции тепловых электростанций из-за возросшего количества потребления электроэнергии. Для обеспечения стабильной и безопасной работы промышленных объектов необходимо своевременно проводить наблюдения за осадками и деформациями зданий, сооружений и основного оборудования тепловых электростанций.

Проведение комплекса высокоточных геодезических работ невозможно без наличия стабильной высотной основы, если на промышленной площадке присутствуют вечномёрзлые грунты.

При выполнении работ по определению осадок и деформаций зданий, сооружений и оборудования в качестве пунктов высотной основы на территории строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций (ТЭС) нормативными документами [1,14] регламентируется применять следующие типы геодезических пунктов:

- глубинные реперы, основания которых устанавливаются в скальные, полускальные или другие практически несжимаемые грунты;
- стенные реперы, устанавливаемые на несущие конструкции зданий и сооружений, осадка которых стабилизировались;
- «свайные» реперы, в качестве которых могут использоваться набивные или забивные сваи, установленные ниже глубины промерзания грунта.

Выбор конструкции пункта высотной основы и его расположение на промышленной площадке производится в зависимости от гидрогеологической характеристики грунтов, а также компоновки зданий и сооружений [10].

Рассмотрим высотную основу строящегося энергоблока ПГУ-420 МВт на территории действующей Серовской ГРЭС, которая расположена в 10 км северо-восточнее г. Серова, одного из крупных промышленных центров Свердловской области. Непосредственно участок изысканий находится на территории

Серовской ГРЭС и включает в себя промышленную площадку, а к юго-востоку занят законсервированным золоотвалом.

Нормативная глубина промерзания для пылевато-глинистых грунтов составляет – 2,1 м, насыпных грунтов – 2,5 м, зольных – 2,6 м. В западной части территории имеются вечномёрзлые грунты – 6,1 м. Но с течением времени произошла стабилизация уровня режима. Амплитуда сезонного колебания уровня подземных вод по данным многолетних режимных наблюдений составляет 1,5 – 2,0 м.

Исходя из гидрогеологической характеристики промышленной площадки Серовской ГРЭС в качестве исходной высотной основы была запроектирована сеть, состоящая из трех кустов глубинных реперов. Каждый куст состоит из трех глубинных реперов [7, 12]. Глубинные репера в кусте располагаются по углам равностороннего треугольника; расстояние между соседними реперами в кусте не превышает 12 м. Глубинный репер представляет собой трубу диаметром 89 мм на длину якоря, величина которого обычно равна $0,2H$, где H – глубина закладки репера. В нашем случае глубина закладки реперов была равна 10,0 – 10,5 м. Реперная труба в верхней части имеет фланец с высотной маркой, нижняя часть трубы перфорируется на величину бетонного якоря. Конструкция глубинного репера представлена на рис. 1.

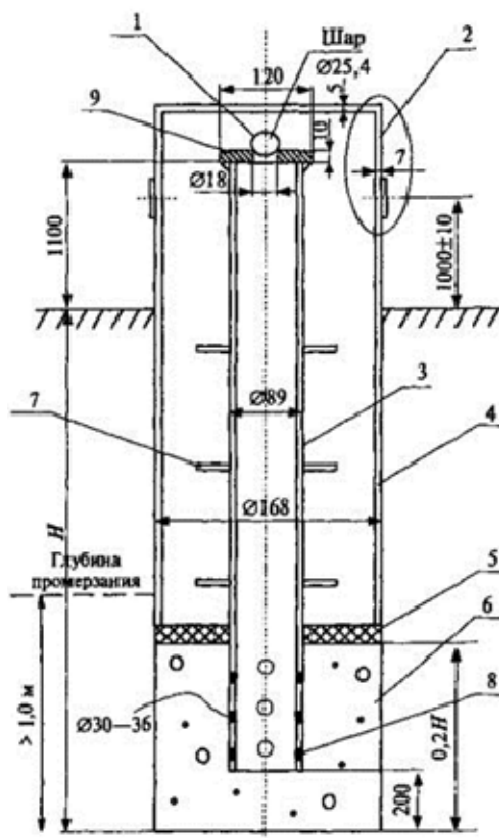


Рис. 1. Глубинный репер:

- 1 – высотная марка; 2 – крышка; 3 – реперная труба; 4 – труба обсадная;
- 5 – гидроизоляция; 6 – якорь (бетон); 7 – диафрагма; 8 – перфорация;
- 9 – фланец

Такой репер необходимо оформить так, чтобы на верхней части или с боку сваи была установлена площадка со сферической головкой, необходимой для постановки рейки (рис. 1).

Грунтовые репера исходной основы были равномерно установлены (глубина закладки 6,0 – 6,5 м) по всей территории промышленной площадки таким образом, чтобы была обеспечена связь с минимальным количеством станций между кустовыми глубинными реперами [4, 6].

После установки всех реперов исходной основы, по истечению двух месяцев были определены абсолютные отметки глубинных и грунтовых реперов. Для этого в проекте производства геодезических работ (ППГР) рекомендуется использовать высокоточное геометрическое нивелирование II класса с применением оптических и цифровых нивелиров.

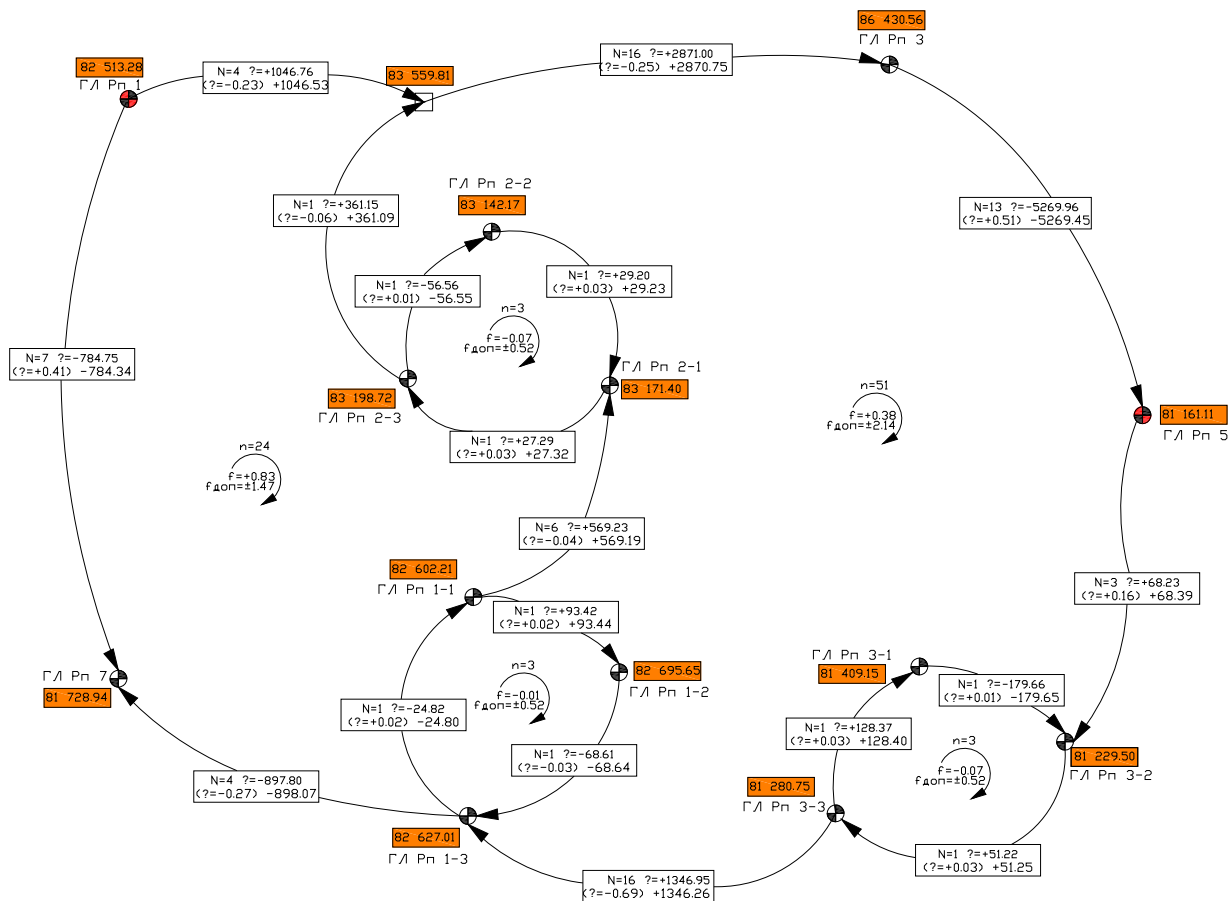
В ходе применения данного метода последовательно брались отсчеты на каждом из реперов (рис. 2).



Рис. 2. Общий вид кустовых глубинных реперов

Заканчивают прием измерений повторным отсчетом на начальный репер I, который делают для контроля устойчивости инструмента в процессе измерений и в обработку не включают. Затем процесс измерений повторяют при другом горизонте инструмента [2, 5].

Далее нивелирный ход от куста реперов до ближайшей марки осадочной сети прокладывают по грунтовым реперам при двух горизонтах инструмента с использованием стандартных реек с инварной полосой, схема нивелирных ходов представлена на рис. 3.



ПРИМЕЧАНИЕ

Г-7

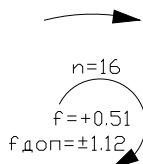
название узловой точки

84 844.04

отметка узловой точки, подсчитанная по материалам уравнивания

N=10 ?=-826.19
(?=+0.39) -825.80

Первая цифра (N=10) – количество стоянок инструмента между узловыми точками;
Вторая цифра (?=-826.19) – суммарное превышение между узловыми точками в мм;
Третья цифра (?=+0.39) – поправка в мм;
Четвертая цифра (-825.80) – уравненное суммарное превышение в мм.



направление нивелирного хода

Первая цифра (n=16) – общее количество стоянок инструмента в полигоне;
Вторая цифра (f=+0.51) – полученная невязка в полигоне, сумма измеренных превышений, посчитанная по ходу часовой стрелки;
Третья цифра (fдоп=±1.12) – допустимая величина невязки полигона, подсчитанная как $\pm 0,3\text{мм}\sqrt{n}$, где n-количество стоянок инструмента

Рис. 3. Схема нивелирных ходов

После проложения нивелирных ходов приступают к уравниванию. Уравнивание рекомендуется выполнять по методу профессора В. В. Попова [4, 8, 9]. После уравнивания определяют отметки каждого репера, и составляется каталог высот, представленный в табл. 1.

Таблица 1

Каталог высотного обоснования, грунтовых реперов находящихся
на действующей станции

№ репера	Н, м	Описание местоположения знака
ст. марка 491	83,934	Стенная марка на здании химцеха Серовской ГРЭС, территория действующей станции.
Гр.рп1	82,531	В районе КПП №2, в 30 м от дороги ГРЭС – с. Филькино, территория Золоотвала №1
Гр.рп2	86,149	В районе металлических ворот ж/б ограждения (район ОВК), территория действующей станции
Гр.рп3	86,453	В районе управления ППЖТ, территория действующей станции
Гр.рп5	81,179	В районе КРУЭ 220, со стороны оси 7 за ограждением, территория действующей станции
Гр.рп7	81,787	В районе СМБ, территория Золоотвала №1

Каталог высотного обоснования по кустовым глубинным реперам, расположенным на территории строительства ПГУ-9 Серовской ГРЭС, представлен в табл. 2.

Таблица 2

Каталог высотного обоснования по кустовым глубинным реперам

№ репера	Н, м	Описание местоположения знака
ст. марка 491	83,934	Стенная марка на здании химцеха Серовской ГРЭС, территория действующей станции
Гл.Рп1-1	82,60299	Первая группа реперов в районе штаба Дирекции по строительству Серовской ГРЭС
Гл.Рп1-2	82,69648	
Гл.Рп1-3	82,62798	
Гл.Рп2-1	83,17029	Вторая группа реперов в районе Градирни №1
Гл.Рп2-2	83,14152	
Гл.Рп2-3	83,20427	
Гл.Рп3-1	81,41390	Третья группа реперов в районе КРУЭ 220 кВ
Гл.Рп3-2	81,23371	
Гл.Рп3-3	81,28473	

После выполненного уравнивания данной сети по способу профессора В. В. Попова, необходимо определить наиболее стабильные из реперов: Гр.рп1 и Гр.рп5, сходимост данных пунктов находится в пределах 0,2 мм, высота

данных пунктов является неизменной с ноября 2013 г. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Результаты уравнивания по способу В. В. Попова

№ репера	Высота (передана по акту №1 в работу)	Цикл май-июнь 2015 г	Δ мм
ст. марка 491	83 934	закрыта	—
Гр.рп1	82 531	82 531,0	0,0
Гр.рп2	86 149	закрыта	—
Гр.рп3	86 453	86 448,3	- 4,7
Гр.рп5	81 179	81 178,8	- 0,2
Гр.рп7	81 787	81 746,7	- 40,3

Согласно формуле (1) критерием неподвижности глубинных (грунтовых) реперов служит предельное значение K , мм [19]:

$$K \leq 2m_{cm} \sqrt{2n}, \quad (1)$$

где m_{cm} – средняя квадратическая погрешность определения превышения штатива (станции), принимаемая 0,15 мм;

n – число станций в ходе.

Репер Гр.рп1 расположен так, что не подвержен влиянию осадочной воронки от возводимых зданий и сооружений, а так же проезда тяжелой строительной техники (рис. 4).



Рис. 4. Общий вид репера Гр.рп1

В качестве высотной основы был использован кустовой репер Гл.рп3-1 с отметкой 81 415,71 мм. Данные представлены в таблице 5.

Периодичность циклов наблюдений

№№ Гл.Рп.	Циклы					Δ, мм
	Февраль 2015 г	Март 2015 г	Май 2015 г	Июль 2015 г	Август 2015 г	
Гл.рп.3-1	81 415,71	81 415,71	81 409,15	81 407,82	81 406,82	-8,89
Гл.рп.3-2	81 232,24	81 232,09	81 229,50	81 228,51	81 227,32	-4,77
Гл.рп.3-3	81 281,56	81 281,56	81 280,75	81 279,84	81 278,49	-3,07

С марта 2015 г по август 2015 г. выполнены еще два цикла нивелирования. За данный период кустовые репера № 3 (Гл.рп. 3-1, 3-2, 3-3) значительно изменили свое высотное положение (таблица 5). Максимальная осадка за четыре месяца составила $-7,89$ мм, а минимальная $-1,72$. С учетом того, что данные кустовые репера были установлены в начале 2014 г., по настоящее время их стабилизация не наступила, и они продолжают проваливаться вниз. Использование данных кустовых реперов для выполнения работ по наблюдению за осадками зданий и сооружений недопустимо [17, 18]. В качестве высотной основы рекомендуется использовать глубинные репера Гл.рп5 и Гл.рп1 (таблица 3). Также можно отметить, что в процессе строительства Серовской ГРЭС часть реперов была утрачена и выведена из работоспособного состояния или засыпана строительным мусором (рис. 5).



Рис. 5. Общий вид грунтового репера Гл.рп2

Данное нестабильное положение глубинных пунктов может быть вызвано следующими причинами [13, 15, 16]:

- выбранная конструкция кустовых глубинных реперов не удовлетворяет физико-геологическим характеристикам территории промышленной площадки с условием наличия вечномёрзлых грунтов;

- места установки кустовых глубинных реперов были выбраны неудачно или располагались вблизи подземных коммуникаций;
- во время установки кустовых глубинных реперов была допущена технологическая ошибка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.spbgasu.ru/upload-files/users/iastahov/norm/GOST_31937-2011_.pdf.
2. Aydin, C.: 2012, Power of global test in deformation analysis. *Journal of Surveying engineering*, 138, No.2, 51–56. DOI: 10.1061/(ASCE)SU.1943-5428.0000064
3. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения (Engineering survey for construction. Basic principles). Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. – М.: Минрегион России, 2016. – 141 с.
4. Жуков Б. Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий: монография. – Новосибирск: СГГА, 2003. – 356 с.
5. ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-24846-2012>
6. Goryanov I, Kodyrov A, Shevchuk A, Averyanov S, Delfontsev E. Influence of the position of the visual objective – reflective mark on the accuracy of measurements by the diagram of the reverse linear – angle heading // *Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying.* – 2017, Vol.61 – 3. pp. 29 – 36.
7. Аврунев Е. И. Анализ стабильности исходных пунктов на основании спутниковых определений в геодезической сети сгущения // ГЕО-Сибирь-2010. VI Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 127–133.
8. Zienkiewicz M, Hejbudzka K, Dumalski A. Multi split functional model of geodetic observations in deformation analyses of the Olsztyn Castle. *Acta Geodyn. Geomater.*, 14, No. 2 (186), 195–204, 2017. DOI: 10.13168/AGG.2017.0003
9. Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций / Г. Г. Китаев, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, Е. Л. Соболева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 7–13.
10. Олейник А. М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геокриологической обстановки от техногенной деятельности // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 37–40.
11. Афонин Д. А. Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной территории // *Геодезия и картография.* – 2011. – № 9. – С. 16–22.
12. РД 34.21.322-94. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатирующихся тепловых электростанций. – М.: Оггрэс, 1997. – 63 с.
13. Hiller B, Jambaev H. Development and natural tests of automated systems of deformation monitoring // *Vestnik SSUGT* – 2016. Issue 1 (33). pp. 48 – 61.
14. СО 153-34.21.322–2003. Методические указания по организации и проведению наблюдений за осадками фундаментов и деформациями зданий и сооружений строящихся и эксплуатируемых тепловых электростанций. – М.: ЦПТИиТО ОРГРЭС. – 20 с.

15. Ustavich G., Salnikov V., Demin V., Ryabova N. The scheme of geodetic control of cooling towers geometry while constructing //Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying.– 2015, Vol.59 – 5/S. pp. 51-56.
16. Новиков В. Ю. Применение деформационного мониторинга для предотвращения аварий промышленных объектов // Экология и промышленность России. – 2014.– № 2. – С. 46–48.
17. Mill, T., Ellmann, A. Terrestrial Laser Scanning Technology for Deformation Monitoring of a Large Suspension Roof Structure. INGEO 2014 – 6th International Conference on Engineering Surveying Prague, Czech Republic, April 3-4, 2014 pp. 179–186
18. Grishchenkova E. Mathematical modeling of the surveying conditions on monitoring stations using total station //Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying.– 2017, Vol.61 – 5. pp. 49-54
19. Goryainov I. On the best configuration of the inverse linear-angular serifs and the required amount of points to achieve the desired accuracy //Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying.– 2016, Vol.60 – 4. pp. 41-47.

© В. Г. Сальников, А. С. Горилько, А. М. Астапов, Б. Д. Чебаков, 2018

СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКОЙ (САУ-3D)

Владимир Васильевич Щербаков

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной геодезии, тел. (913)912-86-91, e-mail: vvs@stu.ru

Иван Александрович Бунцев

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, тел. (913)397-48-42, e-mail: geodep@yandex.ru

Иван Владимирович Щербаков

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, ведущий инженер, тел. (913)795-33-33, e-mail: sibdorproect@bk.ru

Владимир Дмитриевич Астраханцев

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент, тел. (913)742-01-05, e-mail: vvs@stu.ru

Разработка автоматизированных средств и методов геодезического обеспечения реконструкции (ремонта) железных дорог с использованием цифровых технологий.

Ключевые слова: геоинформационные системы, ремонт путей, геометрические параметры пути.

SYSTEMS OF AUTOMATED CONTROL OF CONSTRUCTION EQUIPMENT (ACS-3D)

Vladimir V. Shcherbakov

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy, phone: (913)912-86-91, e-mail: vvs@stu.ru

Ivan A. Buncev

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Department of Engineering Sciences, Leading Researcher, phone: (913)397-48-42, e-mail: geodep@yandex.ru

Ivan V. Shcherbakov

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Department of Engineering Sciences, Leading Engineer, phone: (913)795-33-33, e-mail: sibdorproect@bk.ru

Vladimir D. Astrahancev

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (913)742-01-05, e-mail: vvs@stu.ru

Developed three fundamentally different ways and implemented of automatic control systems for the road-building machines.

Key words: geoinformation system, location and geometrics, repair of rail track.

Автоматизация строительных процессов всегда была актуальна, а в последнее время с появлением спутниковой аппаратуры, лазерной и гироскопической техники, цифровых систем управления гидро и электроприводом строительных машин получила широкое развитие. Особенно важно использование систем автоматизированного управления (САУ) при выполнении трудоемких строительных процессов, таких как планировочные земляные работы, устройство дорожных одежд, балластировка железнодорожного пути, постановка инженерных сооружений в проектное положение, контроль качества работ и многое другое. Строители десятилетиями используют копир – струну для реализации проектных решений при строительстве автомобильных и железных дорог, обеспечивая высокое качество работ, включая высотные отметки, поперечный уклон, параметры вертикальных и горизонтальных кривых. Технология трудоемкая, но обеспечивающая высокое качество геодезических работ. Применяются также ультразвуковые датчики на автогрейдерх и бульдозерах для управления рабочими органами строительной техникой, спутниковая аппаратура позиционирования, комплексированные системы, включающие гироскопические датчики, инерциальные системы, спутниковые приемники позиционирования ГНСС [1].

САУ в основном применяются при строительстве автомобильных и железных дорог, а также при строительстве крупных инженерных сооружений.

В последние годы наиболее интенсивно развиваются технологии и САУ на базе ГНСС. Специфика использования САУ на строительной площадке (объекте строительства) существенна по отношению к традиционным технологиям геодезического обеспечения строительных процессов, независимо от конструктивных особенностей и принципа работы САУ. Нормативных требований регламентирующих применение САУ на строительной площадке нет, так же как и технологических требований к созданию проектной документации (электронных и цифровых проектов), включая контроль качества работ, натурные объемы контроля, оценка результатов работ по базам данных (БД) САУ. Эти системы являются новым направлением геодезического обеспечения строительства, имеют различные функциональные возможности, принцип работы, устройство, системы координат и точность измерений, при этом в нашей стране их работа не регламентирована в настоящее время строительными нормами и нормативными требованиями в геодезии.

Для систематизации САУ рассмотрим критерии, по которым их можно классифицировать. Анализируя САУ, применяющиеся в настоящее время на строительных машинах по уровню управления можно выделить САУ индикаторного типа, когда машинист по текущей информации управляет «вручную»

рабочими органами или с использованием автоматизированных устройств управлением гидро и электроприводом рабочих органов.

По количеству геометрических параметров контроля D,2D,3D, а по функциональным возможностям САУ можно разделить на несколько групп:

- планировочные (планировка земли, дорожных одежд, балластировка)
- постановка в проектное положение в плане и профиле элементов конструкции железных дорог, слоев дорожных одежд и т.д).
- комплексные системы управления (планировочные работы и вынос инженерных объектов в проектное положение).

Рассмотрим системы автоматизированного управления (САУ), обеспечивающие контроль одного параметра.

Примером таких систем может быть САУ на базе лазерного построителя плоскости и приемника установленного на штанге жестко связанной с рабочими органами на автогрейдере, бульдозере и другой строительной технике (рис. 1).

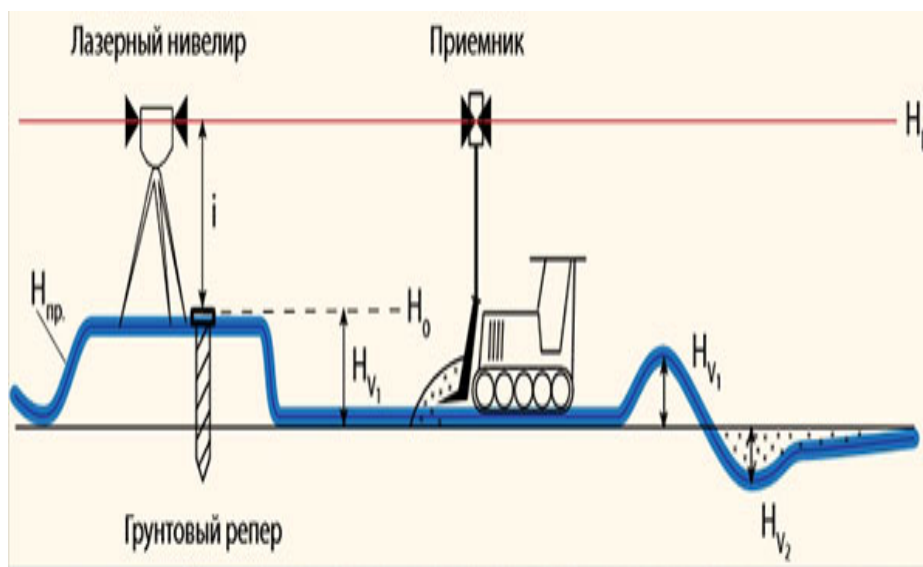


Рис. 1. САУ на базе лазерного построителя плоскости

САУ, выполняющие функции контроля по одному параметру, как правило, управляется в «ручную» и является системами индикаторного типа, обеспечивающие машиниста информацией для управления строительной машиной.

Второй тип (САУ-2D), обеспечивает реализацию проектных решений по двум параметрам - например, по высотным отметкам и поперечному уклону таких машин как автогрейдер или асфальтоукладчик [2].

Третий тип (САУ-3D), обеспечивает реализацию проектных решений по трем параметрам, например плановое положение, высотные отметки и поперечные уклоны. На рис. 2 показан бульдозер, оборудованный САУ – 3D с двумя спутниковыми антеннами жестко связанными с рабочими органами бульдозера.

Две антенны позволяют выполнять пространственную ориентацию и надежное обеспечение пространственными данными.



Рис. 2. CAU-3D «Site Vision»

На рис. 3 приведена структурная схема CAU – 3D с одной антенной и датчиками пространственного положения: инклинометрами, датчики углового вращения.



Рис. 3. CAU-3D на базе ГНСС и датчиков пространственной ориентации

Широкое применение нашли CAU – 3D на базе роботизированного электронного тахеометра и активного отражателя, например система Trimble Blade Pro 3D. Аналогичные 3D системы имеют Leica, Topcon и др.

Сибирский государственный университет путей сообщения разработал и поставляет в ОАО «РЖД» аналогичные приведенным CAU на базе ГНСС для автогрейдеров (рис. 4).

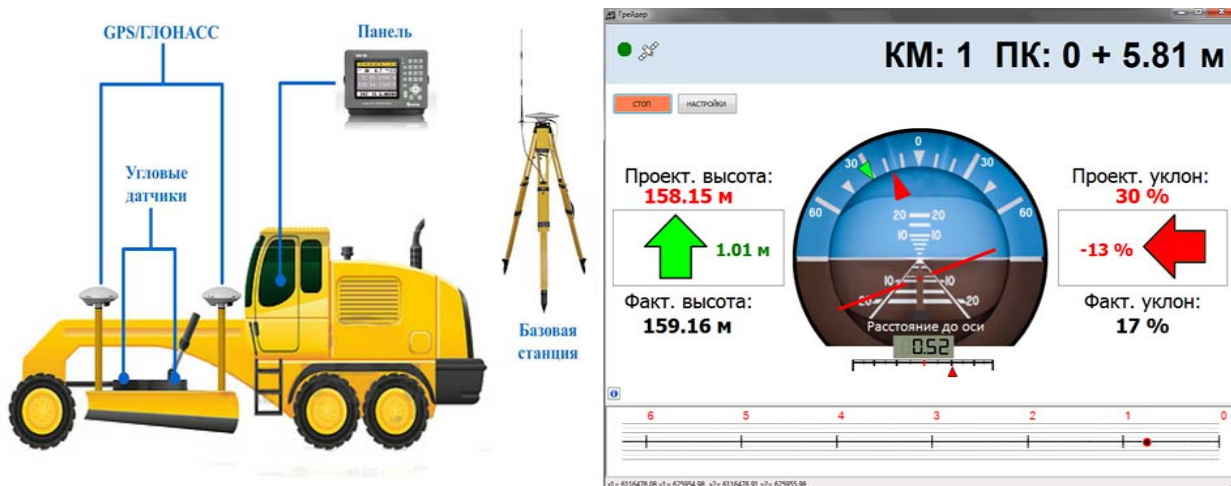


Рис. 4. САУ-3D для автогрейдера (разработка СГУПС)

Главным отличием САУ-3D для автогрейдера, (разработка СГУПС) является возможность работать с универсальным цифровым проектом, созданным для строительных и др. машин: электробалластер, выправочно-подбивочно-рихтовочная (ВПР) и щебнеочистительная машины [3]. Возможность использования одного цифрового проекта для всех строительных машин позволяет значительно сократить затраты на создание цифрового (электронного) проекта. САУ-3D, при этом может использоваться как система индикаторного типа без подключения к гидро и электроприводу, так и в автоматизированном режиме. Для контроля геометрических параметров при вырезке загрязненного балласта в СГУПС для щебнеочистительных машин разработана САУ-3D на базе ГНСС и гидростатического нивелира (рис. 5) [4].

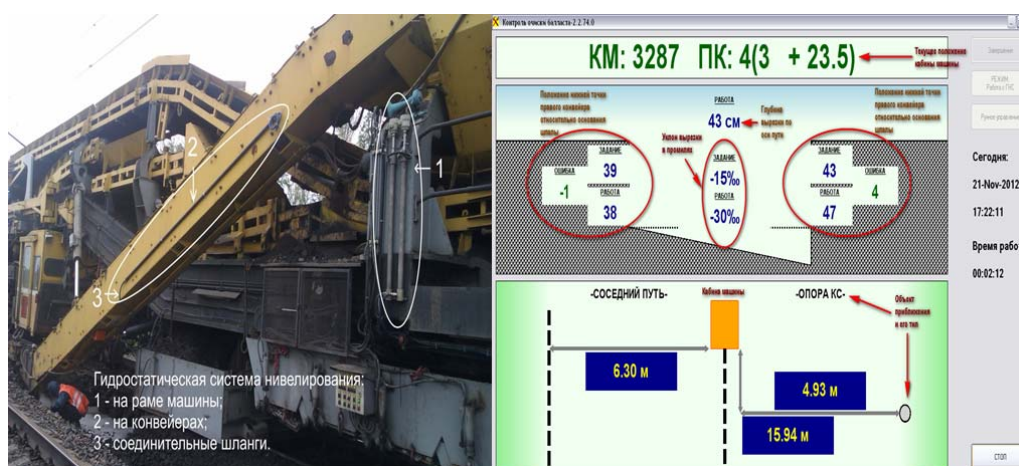


Рис. 5. САУ-3D ЩОМ 1200 (разработка СГУПС)

САУ-3D позволяет контролировать глубину вырезки с проектными отметками и поперечным уклоном, а так же контроль габаритов приближения строений.

САУ-3D щебнеочистительных машин может применяться как в индикаторном режиме, так и автоматизированном, например машины RM202, оснащенные САУ – 3D используются в индикаторном режиме, а ЩОМ 1200 в автоматизированном.

Одной из наиболее сложных и эффективных с широкими функциональными возможностями является САУ-3D (разработка СГУПС) для электробалластеров, ВПО, ВПР (рис. 6) [5].



Рис. 6. САУ-3D ВПО – 3000 (разработка СГУПС)

САУ-3D ВПО – 3000 является по функциональным возможностям комплексной системой, обеспечивающей планировочные работы (балластировка) и постановку железнодорожного пути в проектное положение, при этом используется только автоматизированный режим управления с контролем габаритов приближения строений, видео регистрацией рабочих органов (ПРУ). К комплексным системам относится также САУ-3D «Доуматик», (разработка СГУПС), которая включает оборудование ГНСС и штатную троссо - хордовую выправочную систему «Доуматик». Спутниковый приемник обеспечивает определение сдвижек и подъемов на переднем конце троссо-хордовой системы, что позволяет САУ одновременно выполнять постановку пути в проектное положение в плане и профиле, по уровню и «сглаживать» путь, устранять короткие до 20м. неровности. [6].

Таким образом, из приведенного видно, что САУ обеспечивает решение сложных и трудоемких задач при строительстве и ремонте автомобильных и

железных дорог. Учитывая наличие разнообразных функциональных возможностей системы управления, область применения, точность измерительных систем и другие характеристики САУ, а также методы их тестирования и калибровки, контроля качества работы необходимо на государственном уровне организовать работу по подготовке нормативных требований, регламента работы, включая создания цифровых проектов. В России нет структуры в настоящее время, которая могла бы обеспечивать техническую политику в области геодезии, примером может служить САУ для строительной техники, которые не подкреплены нормативной базой. Разработчики могут формировать технические требования аппаратно-программной реализации САУ, системам координат, критерии для классификации, структуре и форматам проектных данных и многое другое, но это необходимо решать в рамках технической политики в геодезии на государственном уровне.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Разработка систем автоматизированного управления выправкой пути на базе ГНСС, Транспортное строительство, 2015г, №9 стр22-25
2. Кулижников А.М., Ануфриев А.А., Колесников И.П.. Нормативная база для САУ 3D // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. - №2. С.38-41.
3. Щербаков В.В., Ковалева О.В., Щербаков И.В. Цифровые модели пути-основа геодезического обеспечения проектирования строительства(ремонта) и эксплуатации железных дорог, Геодезия и картография, 2016г, №3 стр12-16.
4. Щебнеочистительная машина: пат. на полезную модель 126011 Российская Федерация, МПК 51 E01B27/10 / В.В. Щербаков [и др.]; заявитель и патентообладатель СГУПС. – № 2012124581/11; заявл. 14.06.2012, опубл. 23.03.2013.
5. Щербаков В. В. Выправка пути при реконструкции и ремонте железнодорожных путей с использованием ГИС-технологий и ГНСС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 14–20.
6. Щербаков В. В., Щербаков И. В. Анализ способов постановки железнодорожного пути в проектное положение при реконструкции (модернизации) и эксплуатационной работе // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 87–92.

© В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков, В. Д. Астраханцев, 2018

КОНТРОЛЬ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В ПРОЦЕССЕ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Владимир Васильевич Щербаков

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой инженерной геодезии, тел. (913)912-86-91, e-mail: vvs@stu.ru

Ангелина Александровна Земерова

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, тел. (923)223-52-33, e-mail: angelina_406@mail.ru

Сергей Анатольевич Комягин

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, тел. (923)777-35-44, e-mail: skomyagin@mail.ru

Иван Андреевич Попов

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, тел. (913)768-88-93, e-mail: ivanandpopov@gmail.ru

Разработка методов и средств, для усовершенствования геодезического контроля геометрических параметров железнодорожного пути.

Ключевые слова: геометрические параметры пути, геодезическое обеспечение, системы автоматизированного управления (САУ).

CONTROL OF GEOMETRIC PARAMETERS IN THE PROCESS OF CONSTRUCTION AND REPAIR OF RAILWAYS

Vladimir V. Shcherbakov

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Engineering Geodesy, phone: (913)912-86-91, e-mail: vvs@stu.ru

Angelina A. Zemerova

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D. Student, phone: (923)223-52-33, e-mail: angelina_406@mail.ru

Sergey A. Komyagin

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D. Student, phone: (923)777-35-44, e-mail: skomyagin@mail.ru

Ivan A. Popov

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D. Student, phone: (913)768-88-93, e-mail: ivanandpopov@gmail.ru

Development of methods and tools to improve the geodetic control of geometric parameters of the railway track.

Key words: geometric parameters of the path, geodetic support, automated control systems (ACS).

В настоящее время в связи с повышением скоростей движения, объемов перевозок грузов ужесточились требования к геометрии рельсовой колеи, в том числе к методам геодезического обеспечения проектирования, строительства, ремонта и эксплуатации железных дорог. Область применения существующих диагностических средств и методов контроля состояния рельсовой колеи и других геометрических параметров ограничены их функциональными возможностями. Это связано с измерением геометрических параметров относительными методами, в основе которых лежит измерительная база, длина которой не превышает длину вагона. Положение в плане и профиле контролируется при этом по трех точной системе измерения стрел изгиба через 0.1-0.5м в вертикальной и горизонтальной плоскости в середине измерительной 20метровой базы. При увеличении скоростей движения необходимо определять геометрию рельсовой колеи на хордах до 200 м., что невозможно сделать без использования координатных методов и измерительных средств, созданных на базе координатных методов. [1]. Геодезические методы не используются т.к. измерять координаты рельсовых нитей (оси пути) через -0.1 - 0.5м для получения геометрических параметров традиционными методами крайне сложная задача.

Поэтому при проведении эксплуатационной работы роль геодезического обеспечения не значительна по сравнению с новым строительством, капитальным ремонтом, реконструкцией железных дорог. Наибольший объем геодезических работ выполняется при реконструкции и модернизации железных дорог. Неотъемлемой частью работ при реконструкции железных дорог является контроль качества ремонтов по геометрическим параметрам, определению их соответствия нормативным требованиям и проектным решениям.

Традиционно при геодезическом обеспечении ремонтов (реконструкции), выполняются разбивочные работы с использованием инструментальных средств (нивелир, теодолит, тахеометр).

На каждом этапе реконструкции контролируются определенные параметры, например, при балластировке контролируются высотные отметки, проектное положение оси пути, габариты приближения строений. На других этапах контролируются как геометрические параметры, так и пространственное положение инженерных сооружений.

Геометрия рельсовой колеи и пространственное положение определяется в соответствии с нормативными требованиями (Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути от 18.01.2013 №75р и внесенных изменений распоряжением ОАО РЖД» от 17 июля 2017г. № 1376р) и в стандартах ОАО «РЖД».

Применение на объектах ремонта современных строительных (ремонтных) машин оборудованных системами автоматизированного управления (САУ, САУ-2D, САУ-3D) позволяет отказаться от разбивочных работ, объем работ по

подготовке опорной и съемочной геодезической сети значительно сокращается, и в целом сокращается трудоемкость геодезических работ.

В соответствии с утвержденными регламентами технических процессов на реконструкции (модернизации) железнодорожного пути по технологии КСПД ИЖТ (распоряжение ОАО «РЖД» В №788ц – 16) современные методы геодезического контроля отличаются от традиционных.

Так, на этапе подготовки реконструкции (модернизации) значительное внимание уделяется системам координат, в которых создан проект, и которые необходимо создать для функционирования САУ, созданию опорной геодезической сети, подготовке цифровой основы для актуализации проектов и для работы САУ.

Средства геодезического контроля также усовершенствуются, используются новые измерительные системы, включающие функциональные возможности по комплексному определению, как пространственных данных, так и геометрических параметров. Последние разработки для контроля пространственных данных и геометрии рельсовой колеи позволяют получать геометрические параметры по пространственным данным. К таким системам относится АПК «Профиль-М» [2].

При использовании АПК «Профиль-М» процесс съемки, расчета и составления продольных и поперечных профилей, а также карточки кривой автоматизирован на всех этапах.

Камеральные работы выполняются с применением программных продуктов : ArcViewGis, Trimble Business Centre, AutoCAD, а также по ПО разработанного в НИЛ «Диагностики дорожных и земляного полотна» СГУПС: «Карточка кривой», Профиль Duo и др.

АПК «Профиль-М» позволяет вести контроль геометрических параметров, сопоставляя данные разных проходов, а также выполнять работы по созданию цифровых моделей пути (ЦМП) для работы систем автоматизированного управления строительной техникой [3].

Технологическая схема контроля геометрических параметров заключается в поэтапном (операционном) контроле пространственных данных и геометрических параметров в соответствии с распоряжением ОАО «РЖД» 75р и В№788ц – 16.

На подготовительном этапе с использованием АПК «Профиль-М» (постановки пути в проектное положение и балластировки) получаем актуализированные данные по проектным решениям, создается цифровой (электронный) проект.

На этапе балластировки используются электробалластеры, выпровочно-подбивочные, рихтовочные машины ВПО, которые оснащены САУ-3D и не требуют геодезических разбивочных работ, т.к. выполняют работы в автоматизированном режиме. Контрольные функции заключаются в экспорте данных их БД САУ в ПК и оценки качества в соответствии с нормативными требованиями.

В соответствии с регламентом часть контроля геометрических параметров выполняется, выборочно, например габариты приближения строений в сечениях опор контактной сети.

Таким образом на данном этапе большая часть геодезического контроля автоматизирована и не требует затрат на полевые работы. В таблице показаны данные полученные с БД САУ-3D.

Км+Пк+м	Балластировка			Постановка пути в проектное положение (по междупутью)		
	Проект (м)	Факт (м)	Разность (см)	Проект (м)	Факт (м)	Разность (см)
31+2+00	169.06	169.02	+4	5.30	5.27	-3
31+2+10	169.09	169.10	-1	5.33	5.30	-3
31+2+20	169.12	169.11	+1	5.37	5.37	0
31+2+30	169.14	169.11	+3	5.40	5.42	+2

Из таблицы видно, что параметры для оценки качества работ формирующиеся в процессе работы САУ-3D, обеспечивают необходимый объем контроля.

Полевые контрольные измерения, как правило, подтверждают результаты БД САУ-3D и фиксируются дорожным мастером в специальном журнале.

На этапе отделочных работ с использованием машин типа «Доуматик», Динамик-3Х» и других оснащенных САУ с функцией «графика сдвижек» так же как и на этапе балластировки железнодорожного пути кроме постановки в проектное положение по уровню, высотным отметкам и в плане, сглаживается. Полевой геодезический контроль выполняется выборочно по отклонению геометрических параметров в сечениях опор контактной сети (ОКС) по габаритам приближения строений. При этом основная часть параметров сохраняется в БД САУ, и контролируется по соответствию нормативным требованиям.

Итогом геодезического контроля качества ремонта является исполнительная съемка.

Исполнительная съемка выполняется АПК «Профиль-М». В качестве опорной геодезической сети используются пункты ОГС, созданные проектными организациями. При наличии спутниковой референц-сети, используются дифференциальные поправки от пунктов сети. В отчет по исполнительной съемки в соответствии с требованиями [4], включается: карточка кривой в формате ФП-5, геометрические параметры в стандарте ЦП-515 [5], продольный и поперечный профили и десятки таблиц по земляному полотну, инженерным сооружениям и т.д. На рис. 1 показана карточка кривой, на рис. 2 геометрические параметры, на рис. 3 поперечный профиль, на рис. 4 продольный профиль.

ПАСПОРТНЫЕ ДАННЫЕ: K=544м, R=1065м, L1=153м, L2=96м, $\alpha=23,46^\circ$, h=100мм

ПС:		Ведомость от 22.12.2017						Поездка: 22.12.2017				ПЧ: 11		
Участок:		Новосибирск-Красноярск				Направление 13803		Путь: 1				Км: 3340-3341		
Кривых правая	1	Характеристики кривой						1-я переходные				2-я		
	1	Начало		Конец		дл.	уг	Отвод		Отвод		дл.		
		км	пк	км	пк			max	ср.	дл.	max			ср.
	план	0	0+77	0	6+47	570	23.47	1.02	0.28	154	0.82	0.52	117	
	уров.	0	0+79	0	6+40	561		0.82	0.62	155	0.98	0.82	115	
	план-уров.	-2		7		9								
пр. сл.		Характеристики круговой кривой										скор.	пас.	грз.
		Начало		Конец		Радиус/уровень						Vпз	100	80
		км	пк	км	пк	дл	min	max	ср.	анп	ψ	Vкр	128	105
	план	0	2+31	0	5+30	299	1024	1115	1066	0.20	0.09	Vпр	120	
	уров.	0	2+34	0	5+25	291	87	93	91	0.11		Vиз		
	план-уров.	-3		5		8		2+92		5+94		Vдп	120	105

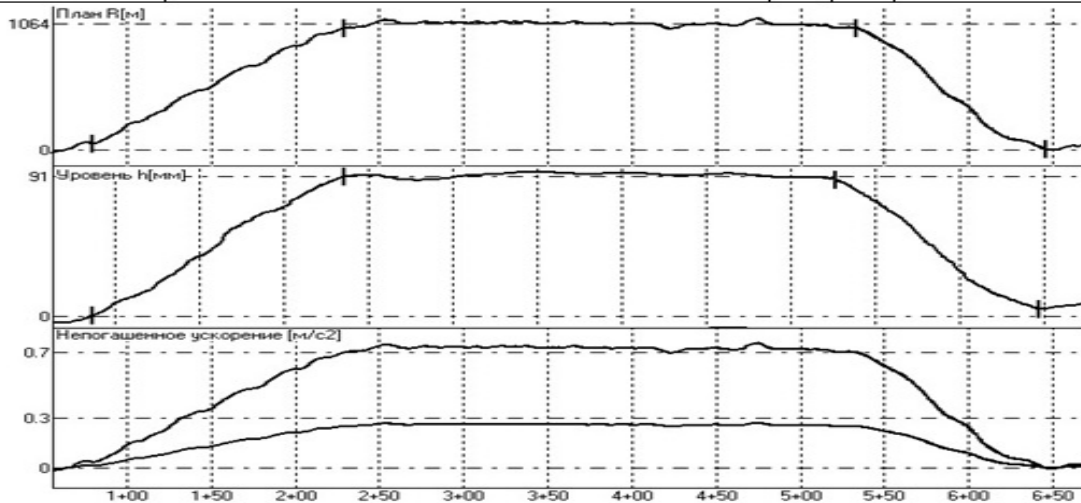


Рис. 1. Карточка кривой в формате ФП-5

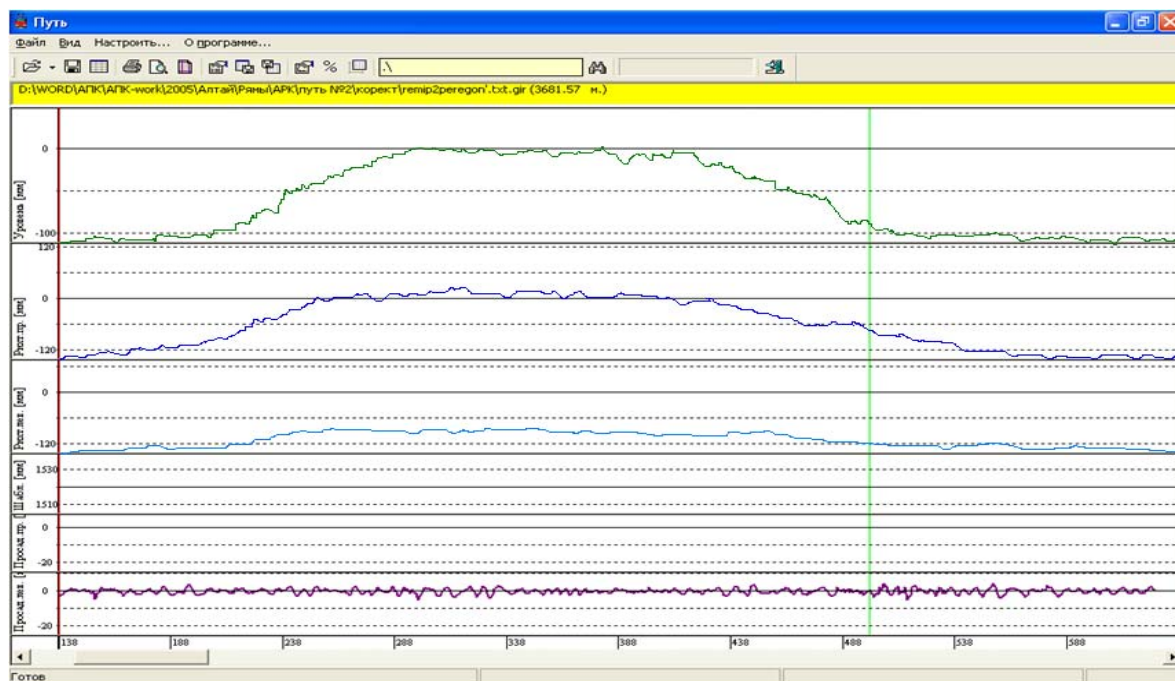


Рис. 2. Геометрические параметры рельсовой колеи с стандарте ЦП 515

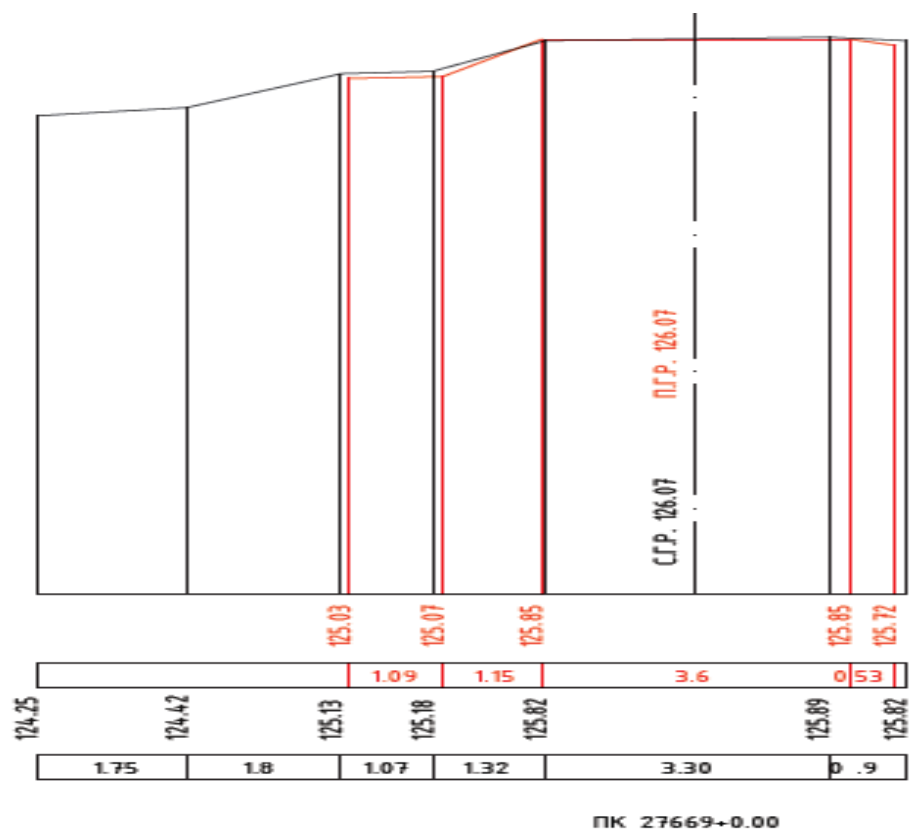


Рис. 3. Поперечный профиль земляного полотна

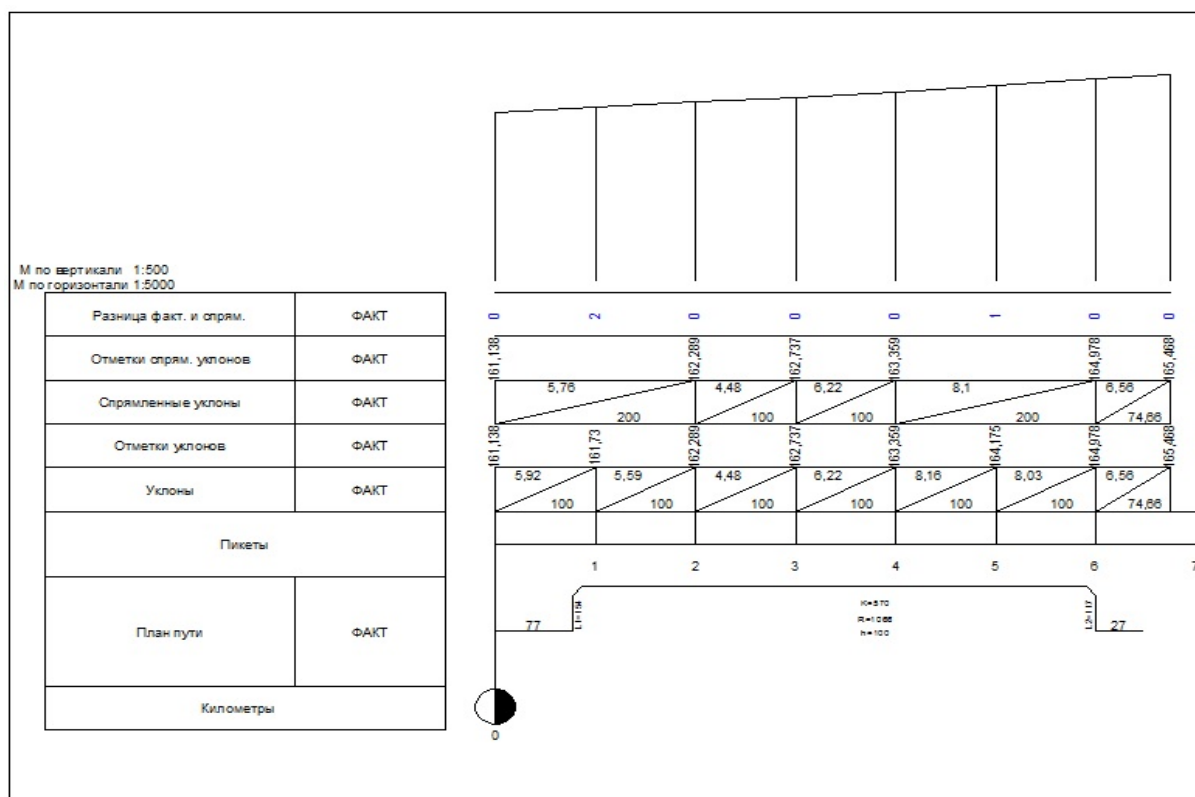


Рис. 4. Продольный профиль ремонтируемого пути

В заключении необходимо отметить, что современные технологии строительства (реконструкции) железных дорог с использованием САУ позволяют значительно сократить трудоемкость геодезических работ и повысить их качество. При этом геодезический контроль качества работ так же значительно упрощается, за счет исключения разбивочных работ и инструментальных полевых измерений на каждом этапе и в целом по объекту строительства (ремонта), а производительность возрастает.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Щербаков И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 17–23.
2. Пат. 2628541 Российская Федерация. RUC 1МПКВ61 К9/08Е 01В 35/00. Способ определения пространственных координат и геометрических параметров рельсового пути и устройство для его осуществления [Текст] / В.В. Щербаков, И.В. Щербаков, И.А. Бунцев.- 2016106560; заявл. 24.02.2016; опубл. 18.08.2017, Бюл. № 23.
3. Щербаков В. В. Цифровые модели пути – основа геодезического обеспечения проектирования, строительства (ремонта) и эксплуатации железных дорог [Текст] / В.В. Щербаков, О.В. Ковалева, И.В. Щербаков // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 12–16.
4. Технические условия на работы по реконструкции (модернизации) и ремонту железнодорожного пути, утвержденные распоряжением ОАО «РЖД» от 18.01.2013 №75р.
5. Инструкция по расшифровке лент и оценке состояния рельсовой колеи по показаниям путеизмерительного вагона ЦНИИ-2 и мерам по обеспечению безопасности движения поездов, утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» от 14.10.1997 № ЦП-515.

© В. В. Щербаков, А. А. Земерова, С. А. Комягин, И. А. Попов, 2018

ГЕОСИСТЕМЫ И BIM КАК ЭЛЕМЕНТЫ ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ

Владимир Дмитриевич Астраханцев

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии, тел. (383)328-02-37, e-mail: kmn@stu.ru

Иван Иванович Золотарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент, тел. (383)361-07-79, e-mail: museum@ssga.ru

В статье предлагается изучить возможность разработки новой технологии проектирования и построения современных геосистем на основе BIM-технологий.

Ключевые слова: технология, проектирование, строительство, здание, цифровая модель, местность, информационное моделирование, геодезия, картография.

GEOSYSTEMS AND BIM-TECHNOLOGIES AS DIGITAL ECONOMY ELEMENTS

Vladimir D. Astrakhantsev

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy Department, phone: (383)328-02-37, e-mail: kmn@stu.ru

Ivan I. Zolotarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., phone: (383)361-07-79, e-mail: museum@ssga.ru

The building present article proposes to consider development of a new technology of designing and modern geosystems based on BIM-technologies.

Key words: technology, design, construction, building, digital model, terrain, information modeling, geodesy, cartography.

В Российской Федерации в последнее время на самом высоком уровне продвигается идея перехода от командно-постиндустриальной к цифровой экономике. Наглядно демонстрируются успехи в цифровизации по нескольким направлениям в сферах коммуникаций, в медицине, авиастроении, ВПК и некоторых других. Имеются у нас несколько структур, практически полностью выполняющих работы в цифровом формате. Это уже упомянутая система коммуникаций, а также – геосистемный комплекс. При координировании и привязке к местности всех объектов недвижимости и наземных коммуникаций, создании проектов объектов любого масштаба, для мониторинга экологической ситуации, для моделирования или отслеживания течения природных и техногенных катаклизмов, во многих других ситуациях широко используются геосистемные технологии. При этом основой этих операций является обычно цифровая мо-

дель местности (ЦММ), создаваемая с применением геодезических, аэрокосмических и других технологий. Особое значение имеет применение возможностей геосистемных и, в частности, геодезических технологий в строительстве. Они создают основу для проектирования, сопровождают процессы возведения объектов и создания инфраструктуры, участвуют в мониторинге состояния объектов на протяжении всего их жизненного цикла. В наибольшей степени развито применение геосистем и BIM-технологий в промышленно развитых странах и быстро растущих экономиках. Так, с 2016 года необходимо использование BIM при получении государственных заказов в Великобритании, Норвегии, Нидерландах, Финляндии и Дании. Применение BIM-технологий позволило на 30% снизить стоимость строительства объектов за государственный счет. Европарламент рекомендует внедрение BIM всеми странами ЕС. Активно внедряются BIM-технологии в Северной Америке, странах Юго-Восточной Азии и Китае. Применение BIM в стройиндустрии Китая, особенно - в сфере строительства дорог и мостов, позволило добиться существенного прогресса.

Есть объекты, строительство и реконструкция которых предполагает остановку или ограничение работы производственных, инфраструктурных и многих других процессов. Детальные проработки китайских специалистов на основе BIM позволяют решать инженерные задачи в фантастически короткие сроки и не делать таких остановок. Так, в 2015 году в Пекине за 43 часа был разобран старый и собран новый шестиполосный мост, и на его проезжей части даже была нанесена разметка. В 2016 году над действующей автотрассой без остановки движения были развернуты на 90 градусов за 1,5 часа два стометровых моста [1]. По данным «Shanghai Tower Development» при сооружении Шанхайской башни в рамках BIM- модели на этапе проектирования были просчитаны варианты размещения высотных кранов и монтажных конструкций. В результате выполненного анализа их взаимного рационального расположения и взаимодействия экономия составила не менее 16 млн. долларов.

Из бывших союзных республик наиболее продвинутой в этой сфере является Белоруссия. Там уже создана соответствующая нормативная база и решается вопрос подготовки кадров. По решению министерства образования Белорусский национальный технический университет (БНТУ) стал базовым вузом по подготовке специалистов для BIM. Начата подготовка студентов по специальности «Современные информационные технологии в строительстве». В результате переговоров между государством и одним из мировых лидеров в разработке BIM компанией «Autodesk» было достигнута договоренность, что в течение нескольких лет организации из государственного списка получают программное обеспечение с существенной скидкой. При этом БНТУ также заключил соглашение с «Autodesk» о создании учебного центра.

В Правительстве России обсуждаются разработанные Минстроем предложения по внедрению технологий информационного моделирования и, возможно, в 2019 году использование BIM-моделей при работе с государственными заказами станут обязательным требованием. Уже сегодня любой строительной фирме, стремящейся работать на внешнем рынке, необходимо освоить ин-

формационное моделирование. Для успешной реализации этой важной задачи необходимо преодолеть, как минимум, три проблемы:

1. Отсутствие соответствующей нормативной базы, позволяющей работать с цифровой информацией. В настоящий момент для прохождения экспертизы BIM-модели вначале необходимо подготовить комплект плоскостных чертежей, а уже к ним добавить BIM-модель объекта.

2. Для реализации цифровых технологий необходимы кадры, обладающие соответствующими компетенциями, приборы для работы в цифровом пространстве и соответствующие методики контроля, обеспечивающие требуемую нормативную точность.

3. Программы, используемые для цифрового моделирования, созданы в странах, применивших к России санкции. Необходимо дистанцироваться от зарубежных программ и активно заняться разработкой отечественного софта.

На Всероссийской научно-практической конференции «Лучшие мировые практики BIM-технологий в России» подвели итоги первого всероссийского открытого конкурса «BIM-технологии 2016». Среди 21 финалиста оказался только один российский университет – МГУ, и то в содружестве с UNKproject. Этот факт является весьма красноречивым.

Выступая перед участниками Съезда транспортников России 5 марта 2018 г., президент России В. В. Путин отметил, что «...развитие транспортной системы, развитие инфраструктуры – одна из наших главных задач на ближайшие шесть, десять и пятнадцать лет». Решать эту задачу предстоит выпускникам железнодорожных вузов, которые должны обладать самыми современными компетенциями, особенно в области ГИС (геодезических информационных систем) и BIM-технологий. Владельцы производственной недвижимости заинтересованы в цифровых технологиях – для них важно оптимизировать расходы на весь жизненный цикл объекта.

Проекты контроля геометрических параметров железнодорожного пути с применением цифровых технологий остаются неизменными десятками лет - вплоть до момента их преобразования в соответствии с обновлением технологии эксплуатации, по производственной необходимости или по другим объективным причинам. И на протяжении всего периода эксплуатации цифровые технологии контроля обеспечивают требуемую точность получаемых результатов, уменьшение времени на контрольные измерения. Такие устройства уже разработаны в нашей стране [2], имеются и соответствующие методики их применения [3]. В итоге экономический эффект, получаемый от использования приборов спутникового позиционирования и устройств автоматизированного контроля геометрических параметров пути, измеряется сотнями миллионов рублей (по данным [3] - до 400 млн. руб. в год на объектах РЖД). Освоение этих разработок студентами происходит на кафедрах инженерной геодезии. Но такие кафедры на сегодня сохранились только в трёх из девяти железнодорожных вузов страны – в Санкт-Петербурге, Москве и Новосибирске. Понимание необходимости изменения ситуации должно привести к решениям на уровне министерства.

Положительные примеры уже есть в нашей стране. 1 марта 2018 года на конференции, посвященной программному обеспечению проектирования и расчетов инженерных систем зданий и сооружений, российской фирмой «Renga Software» впервые представлена российская BIM-система «Renga MEP». Она позволяет выполнять автоматическую трассировку трубопроводов и вентиляционных каналов, получение аксонометрических схем, чертежей и спецификаций в соответствии с действующими стандартами. Кроме того, благодаря правильной маркетинговой стратегии этой фирмы строительные и архитектурные вузы могут устанавливать данную программу в учебных компьютерных классах и использовать академическую лицензию бесплатно.

Если проследить эволюцию BIM за последние 10 лет, возможно заметить следующую тенденцию: первоначальное представление об абсолютном всемогуществе таких технологий изменилось.

Во-первых, не существует единых, мощных, всеобъемлющих программ [4]. Используются специализированные программы (архитектура, инженерные сети, коммуникации, регламенты обслуживания и т. д.) и программы, синтезирующие их в единый комплексный организм

Во-вторых, самые продвинутые разработчики отказались от абсолютной детализации проектов. Оказалось целесообразным использование «в мелочах» простых ссылок, например, на отраслевые стандарты.

В-третьих, не следует полностью отказываться и от двухэтапной системы проектирования в растровом или векторном виде, так как это может ускорять решение определенных инженерных задач.

BIM-технологии в России только внедряются, и на этом этапе разработчикам следует глубоко изучать имеющийся опыт, чтобы избежать ошибок и тупиков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барова Е. 750 метров в час [Текст] // АиФ № 5. – 2018. - с. 11.
2. Патент 2628541 Российская федерация. RUC 1МПКВ61 К9/08Е 01В 35/00. Способ определения пространственных координат и геометрических параметров рельсового пути и устройство для его осуществления [Текст] / В. В. Щербаков, И. В. Щербаков, И. А. Бунцев. - 2016106560; заявл. 24.02.2016; опубл. 18.08.2017, Бюл. № 23.
3. Щербаков И. В. Геодезические методы определения геометрических параметров рельсовой колеи // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 17–23.
4. Талапов В. В. Технология BIM: единая модель и связанные с этим заблуждения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://stroimsk.ru/builder_science/tiekhnologhiia-bim-iedinaia-modiel-i-sviazannyie-s-etim-zabluzhdeniia.

© В. Д. Астраханцев, И. И. Золотарев, 2018

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОРТОФОТОСНИМКОВ ПРИ ОБНОВЛЕНИИ ЦИФРОВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ КАРТ

Любовь Семеновна Любивая

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)361-09-48, e-mail: lubls@mail.ru

Ксения Геннадьевна Квиткевич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, студент, тел. (391)201-83-23, e-mail:ksunj@mail.ru

В статье рассмотрены основные идеи создания и использования ортофотоснимков при обновлении цифровых навигационных карт.

Ключевые слова: картографические материалы, открытые цифровые навигационные карты, космические снимки, цифровая модель местности.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF CREATION AND USE OF ORTHOPHOTOS IN THE UPDATING OF DIGITAL NAVIGATION MAPS

Ljubov' S. Ljubivaja

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)361-09-48, e-mail: lubls@mail.ru

Ksenija G. Kvitkevich

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (391)201-83-23, e-mail:ksunj@mail.ru

The article considers basic concepts of creating and using orthophotos in updating digital navigation maps.

Key words: cartographic materials, public digital navigation maps, space photos, digital model of territory.

Введение

Соединение фотограмметрических методов с возможностями компьютерной обработки данных позволяет успешно решать задачи обновления топографических карт и планов. При этом особый интерес пользователей обращен к построению ортофотоснимков по одиночным аэрофотоснимкам и космическим снимкам, так как это, во-первых, позволяет сократить затраты за счет использования всей площади снимка, а не только зоны перекрытия. И, во-вторых, в большинстве случаев при обновлении топографических карт и планов рельеф остается без изменений, а заказчика интересует изменение ситуации.

Эксперименты

Высокое качество аэрофото- и космических снимков позволяет использовать их для обновления карт. Особое место среди исходных материалов для векторизации в силу сочетания высокой информативности фотоснимка имеет цифровой ортофотоплан (ЦОФП), который позволяет обновлять крупномасштабные планы в условной системе координат. Для обновления топографических карт всего масштабного ряда используется фотокарта, которая кроме перечисленных достоинств, имеет обработанное изображение снимка в проекции Гаусса-Крюгера с нанесенной километровой сеткой.

Обновление цифровых навигационных карт масштаба 1:25 000 в государственной системе координат на территории Дальневосточного федерального округа выполнено методом камерального исправления по созданным цифровым ортофотопланам масштаба 1:25 000, с последующим частичным полевым обследованием. Работы выполнены с использованием программного комплекса «Панорама» версия 11.11.1. в базовом обменном формате предоставления данных. На основе обновленных цифровых топографических карт (ЦТК) масштаба 1:25 000 созданы ЦТК открытого пользования (ЦТК ОП), в соответствии с действующими нормативными документами. На основе созданных ЦТК ОП созданы открытые цифровые навигационные карты того же масштаба с использованием навигационной информации, собранной при полевом обследовании местности.

В качестве исходных картографических материалов для обновления картографической ситуации использовались цифровые ортофотопланы, созданные по материалам дистанционного зондирования. Материалы космической съемки 2013-2015 года получены со спутников: GeoEye-1, World View-1, WorldView-2, Spot-05 в соответствии с требованиями инструкции [3]. ЦОФП является основным картографическим материалом для обновления номенклатурных листов ЦТК масштаба 1:25000. Так как рельеф в основном остался без изменений, то при обновлении топографических карт рельеф был взят с ранее созданных ЦТК (в формате *.sxf).

Обработка и ортотрансформирование материалов космической съемки выполнены в программном комплексе «ENVI 4.8» фирмы ITT Visual Information Solutions с использованием RPC-коэффициентов (Rational Polynomial Coefficients или Rapid Positioning Capability - коэффициенты рационального многочлена или координаты быстрого позиционирования (связь координат точек местности с координатами их изображений на растре). RPC-методика обеспечивает достижение точности уравнивания, адекватной разрешению снимков, при наличии высокоточной матрицы рельефа и минимального количества наземных контрольных точек или надежно опознанных контуров. Контроль качества ЦОФП проводился в соответствии с требованиями инструкции [2].

Обсуждение

Применение геоинформационных систем (ГИС), таких как полнофункциональная MapInfo Professional, позволяет всем участникам проекта быть объ-

единенными в единую информационную среду и, как следствие, иметь возможность обмениваться результатами и корректировками проекта без потери данных[1,4,5]. Это ускоряет сам процесс проектирования и способствует принятию обоснованных решений. Программа MapPhoto[6], разработанная по предложенному Л.С.Любивой методу и с учетом систематических искажений снимка и картографических материалов, позволяет создать фотокарту по одиночному аэрофото- или космическому снимку. Программа работает в среде MapInfo.

Аналитический блок программы ориентирован на растр снимка. Результатом обработки является растровое изображение фотокарты с нанесенной километровой сеткой в проекции Гаусса-Крюгера или условной системе координат. Кроме растра фотокарты на выходе выдается файл, позволяющий полученную фотокарту векторизовать в среде MapInfo или любой другой.

Заключение

Комплекс работ по созданию открытых цифровых навигационных карт масштабов 1:25 000 в формате программного комплекса «Панорама» выполнен в соответствии с требованиями «Технического задания» и удовлетворяет требованиям действующих нормативно-технических документов. Применение ГИС позволяет всем участникам проекта быть объединенными в единую информационную среду и ускоряет сам процесс проектирования.

Благодарности

Выражается признательность сотрудникам Акционерного общества "Красноярское аэрогеодезическое предприятие".

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М., Карпик А. П. Мониторинг объектов с применением GPS-технологий // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 1. – С. 53–66.
2. Инструкция о порядке контроля и приемки геодезических, топографических и картографических работ. ГКИНП (ГНТА)-17-004-99. М., Роскартография, 1999 год.
3. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. М., ЦНИИГАиК, 2002 год.
4. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2004.
5. Карпик А. П., Осипов А. Г., Мурзинцев П. П. Управление территорией в геоинформационном дискурсе. – Новосибирск : СГГА, 2010. – 279 с.
6. Любивая Л. С., Полещенков В. Н. Точность обработки снимков цифровых фотоаппаратов по программе MapPhoto при обновлении крупномасштабных планов для целей проектирования и строительства // ГЕО-Сибирь-2009. V Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 20–24 апреля 2009 г.). – Новосибирск : СГГА, 2009. Т. 1, ч. 1. – С. 100–102.

© Л. С. Любивая, К. Г. Квиткевич, 2018

ОЦЕНКА РИСКОВ ВОЗМОЖНЫХ ОБРУШЕНИЙ УСТУПОВ СТАЦИОНАРНОГО БОРТА РАЗРЕЗА «БОГАТЫРЬ» ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ УСРЕДНИТЕЛЬНОГО УГОЛЬНОГО СКЛАДА

Ольга Васильевна Старостина

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: o.starostina@kstu.kz

Виктор Николаевич Долгонос

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: vnd070765@mail.ru

Екатерина Васильевна Ситникова

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, ст. преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: katya_sitnikova@mail.ru

Андрей Васильевич Михнев

Карагандинский государственный технический университет, 100027, Республика Казахстан, г. Караганда, Бульвар Мира, 56, преподаватель кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (7212)56-26-27, e-mail: andmihnev@mail.ru

Статья посвящена оценке рисков возможных обрушений и деформаций верхних уступов стационарного борта разреза «Богатырь» при проектировании усреднительного угольного склада.

Ключевые слова: разрез, уступ, коэффициент запаса устойчивости, риск обрушения.

EVALUATION OF POSSIBLE COLLAPSE RISKS OF THE STATIONARY SIDE BENCH OF THE OPEN PIT "BOGATYR" IN DESIGNING COAL STORAGE

Olga V. Starostina

Karaganda State Technical University, 56, Mira avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Ph. D., Associate Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: o.starostina@kstu.kz

Viktor N. Dolgonosov

Karaganda State Technical University, 56, Mira avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, D. Sc., Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: vnd070765@mail.ru

Ekaterina V. Sitnikova

Karaganda State Technical University, 56, Mira avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Senior Lecturer, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: katya_sitnikova@mail.ru

Andrey V. Mikhnev

Karaganda State Technical University, 56, Mira avenue, Karaganda, 100027, Kazakhstan Republic, Lecturer, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (7212)56-26-27, e-mail: andmikhnev@mail.ru

The article is devoted to assessing the possible collapse and deformation risks of the benches of the stationary side of open pit «Bogatyr» mine when designing an averaging coal storage.

Key words: open pit, bench, safety factor, the risk of collapse.

При проектировании угольного усреднительного склада «Южный» на площадке гор. +165м стационарного борта разреза «Богатырь» (участок 6) возникла необходимость оценки рисков возможных обрушений уступов верхних горизонтов и разработки практических рекомендаций по обеспечению их устойчивости. Необходимость проведения исследований обусловлена активными оползневыми явлениями верхних уступов на данном участке. Деформации верхних уступов (гор. +165 - +200м), сложенных рыхлыми отложениями и глинистыми породами, ставят под угрозу реализацию указанного проекта. Задача состоит в исследовании причин произошедших оползневых явлений и минимизации рисков дальнейших деформаций.

Для определения физико-механических характеристик вскрышных пород верхних уступов (гор. +150 - +200м) в 2017 г. ТОО «Азимут Геология» были проведены инженерно-геологические изыскания [8].

Было пробурено 9 скважин (№№ 14/17-22/17) глубиной 20,0 и 30,0м указанных на выкопировке с плана горных работ (рисунок 1).

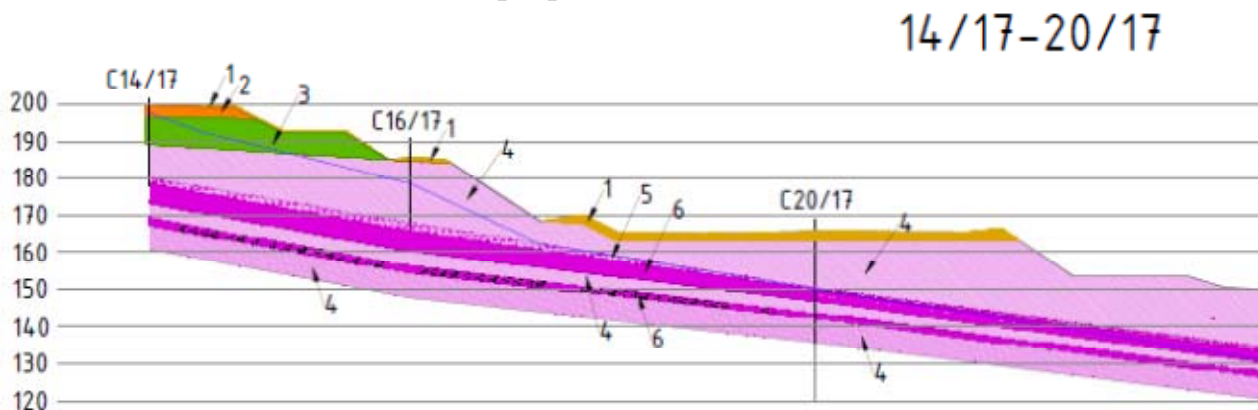
Общий метраж бурения составил 210,0 п.м. Бурение скважин глубиной 20,0м выполнено механическим ударно-канатным способом станком УГБ-50М d=132мм без обсадки скважин. При встрече коренных пород и залежей угля ударно-канатное бурение заменялось на колонковое. Бурение скважин глубиной 30,0м выполнено вращательным колонковым способом станком УГБ-001-02А d=123мм интервалами 1,0-2,0м с полным отбором керна. Все скважины технические. В скважинах, начиная с глубины 1,0м через каждый метр до проектной глубины, отбираются монолиты и пробы скального грунта для определения физико-механических характеристик (естественной влажности, пределов пластичности, плотности, плотности частиц, коэффициента пористости, степени водонасыщения, угла внутреннего трения, сцепление, модуль Юнга и коэффициент Пуассона и т. д.).

Отбор монолитов и проб грунта нарушенной структуры с сохранением и без сохранения естественной влажности выполнен в соответствии с программой инженерно-геологических работ. Всего отобрано 115 образцов из всех литологических разностей.

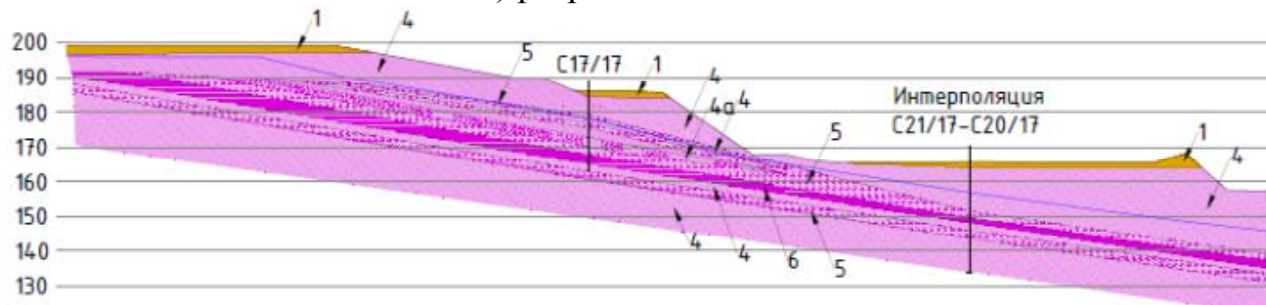
В процессе бурения велись наблюдения за глубиной появления подземных вод и их установившимся уровнем. На территории площадки подземные воды были вскрыты скважинами 14/17, 17/17, 18/17, 20/17, 21/17.

Геологические разрезы по разведочным линиям (по данным изысканий ТОО «Азимут геология») представлены на рис. 2.

а) разрез по РЛ 17–20



б) разрез по РЛ 44а



в) разрез по РЛ 44

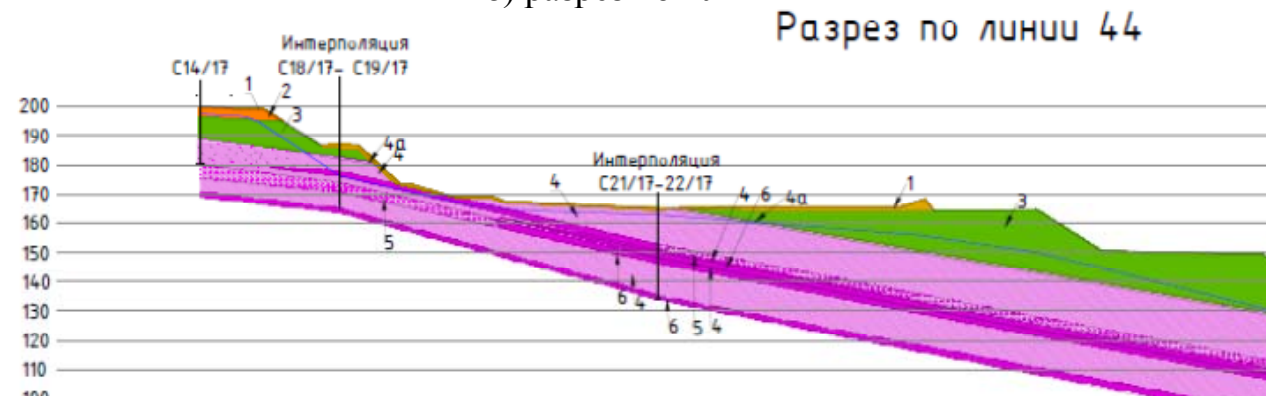


Рис. 2. Геологические разрезы по разведочным линиям:

1–6 – инженерно-геологические элементы

Лабораторные работы по определению физико-механических и химических характеристик грунтов выполнялись в химико-аналитической лаборатории ТОО «Азимут геология» и ТОО «Центргеоланалит» [8].

В соответствии с геологическим строением и согласно ГОСТ 25100-2011 [10] на исследуемом участке работ выделено 6 инженерно-геологических элементов (ИГЭ) с различными физико-механическими свойствами.

1 ИГЭ – насыпной грунт представлен смесью различных грунтов.

2 ИГЭ - дресвяные грунты dpQ характеризуются содержанием определяющей фракции $>2,0\text{мм}$ от 16,0 до 84,0%.

3 ИГЭ – глинистые грунты Р.

4 ИГЭ – глинистые грунты е (C1).

5 ИГЭ – глыбово-щебенистые грунты е (C1).

6 ИГЭ - скальные грунты осадочного происхождения (C1v3).

Одной из основных трудностей при численном моделировании геомеханических задач является отсутствие исходных данных – параметров механического поведения массива горных пород [6, 7]. Программа RocLab в значительной степени помогает в решении данной проблемы. Она обеспечивает простую и понятную реализацию критериев разрушения Хука–Брауна и Кулона–Мора, позволяя пользователям легко получать надежные оценки свойств массива горных пород, и прямо на экране (в интерактивном режиме) видеть изменения огибающих разрушения (кривых прочности) при изменении параметров [6, 7].

Результаты анализа для ИГЭ – 4 Глинистые грунты C1(естественной влажности) представлены на рис. 3.

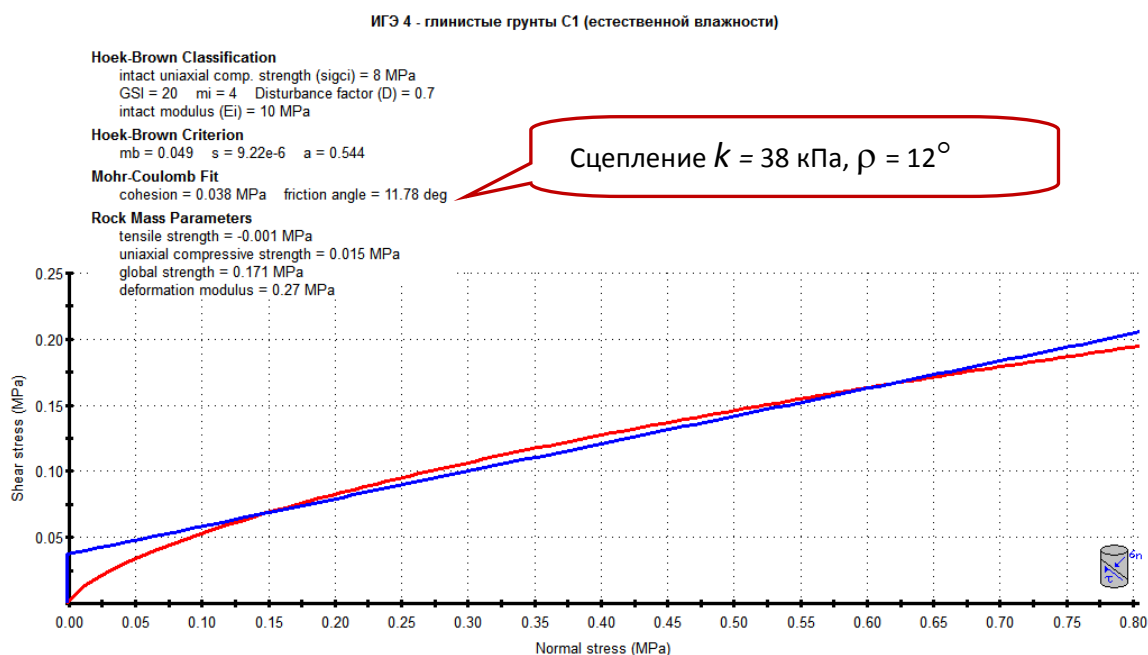


Рис. 3. Результат для ИГЭ – 4 Глинистые грунты C1

Результаты анализа в RocLab – расчетные значения физико-механических характеристик для ИГЭ представлены в табл. 1.

Таблица 1

Расчетные значения физико-механических характеристик пород
верхних горизонтов в массиве

Тип пород (ИГЭ)	Физико-механические свойства		
	γ , тн/м ³	$k_{обр}/k_M$, МПа	ρ , град.
1. ИГЭ 2	2,08	0,051 / 0,006	5
2. ИГЭ 3	2,00	0,068 / 0,010	7
3. ИГЭ 4	2,10	0,280 / 0,038	12
4. ИГЭ 4 влажные	2,10	0,190 / 0,024	9
5. ИГЭ 5	2,24	2,000 / 0,068	20
6. ИГЭ 6	2,28	- - - / 0,070	18

Физико-механические свойства горных пород изучались ВНИМИ достаточно детально, с начала эксплуатации месторождения (1957 – 1958гг, 1972 – 1977гг) по кернам из скважин доразведки, а также по образцам, отобранным из свежих уступов экскаваторных забоев [4, 5].

На Экибастузском месторождении мощность четвертичных отложений составляет от 2 – 3 до 12 – 15м. На размытой поверхности палеозойских пород залегают палеогеновые отложения мощностью до 15м, представленные преимущественно пестроцветными глинами. Таким образом, общая мощность слабых пород достигает 25 – 30м. Кроме этого, верхняя часть палеозойских отложений подверглась значительному выветриванию. Исследования ВНИМИ показали, что зона выветривания распространяется до глубины 50м от земной поверхности. Наиболее слабыми являются углистые аргиллиты и переслаивание песчано-глинистых пород. Среднее значение сцепления, полученное в результате лабораторных испытаний из образцов пород, отобранных из свежих экскаваторных забоев, составило $2,5 \cdot 10^5$ Па (25 т/м²). Коэффициент структурного ослабления равен 0,10 – 0,12. Следовательно, расчетная величина сцепления массива пород верхних горизонтов, принимаемая для анализа устойчивости уступов составляет 25 – 30 кПа (2,5 – 3,0 т/м²) [4].

С учетом полученных результатов выполнены расчеты устойчивости верхних уступов (гор. +165м - +200м), а также площадки гор. +165м, на которой планируется строительство склада. Расчет коэффициента запаса устойчивости выполнен в соответствии с методикой ВНИМИ и требованиями нормативно-технических документов [1, 2, 3, 6].

В современных условиях при проектировании откосов зачастую уже недостаточно детерминированных показателей (коэффициент запаса устойчивости), все чаще требуется указать уровни риска при принятии тех или иных решений.

Оценочная взаимосвязь между КЗУ и максимальной вероятностью разрушения представлена в табл. 2 [7].

Проектные значения рисков обрушения откоса

Характеристика откоса	КЗУ	Риск обрушения (max)
Отдельные уступы и группы уступов (Н до 50м), удаленные от коммуникаций. Степень ответственности – незначительная	1,3	20%
Отдельные уступы и группы уступов (Н до 50м), влияющие на коммуникации. Степень ответственности – относительно значительная	1,5	10%
Средние (50 – 100м) и высокие (Н до 150м) группы уступов, на которых размещены коммуникации. Степень ответственности – весьма значительная	2,0	5%

Объект исследований – верхние уступы стационарного борта участка 6 необходимо разделить на 2 участка:

1. Уступы верхних горизонтов (гор. +165 - +200м);
2. Площадка (гор. +165), на которой предполагается размещать проектируемый угольный склад «Южный» с откосом (гор. +150 - +165м).

Эти участки различаются по своему характеру и функциональному назначению в проектируемом объекте.

1. Уступы верхних горизонтов (гор. +165 - +200м).

По классификации проектных рисков обрушения откосов, приведенной в таблице 2, данная группа уступов может быть отнесена к 2 категории (отдельные уступы и группы уступов высотой до 50м, влияющие на коммуникации). Степень ответственности – относительно значительная.

Требования: проектное значение КЗУ – не ниже 1,5, уровень риска обрушения – не более 10%.

Основная задача – предупреждение деформаций и обрушений откосов.

2. Площадка гор. +165м и откос (гор. +150 - +165м).

По классификации проектных рисков обрушения откосов, приведенной в табл. 2, данный уступ может быть отнесен к 3 категории (группы уступов, на которых размещены коммуникации). Степень ответственности – весьма значительная.

Требования: проектное значение КЗУ – не ниже 2,0, уровень риска обрушения – не более 5%.

Основная задача – предупреждение деформаций площадки и обрушений откоса (гор. +150 - +165м).

Анализ существующего состояния и результатов выполненных расчетов устойчивости верхних уступов (гор. +150 - +200м) позволил сделать следующие выводы.

1) Устойчивость откоса гор. +150 - + 165м. Наличие слабых пластических контактов является определяющим фактором при оценке устойчивости уступа площадки + 165м ($KЗУ = 1,15$). Незначительное дополнительное увлажнение таких контактов приведет к сползанию породных призм. Подрезанные слои горных пород должны быть отработаны при их принудительном и управляемом обрушении.

2) Деформации подрезанных слоев могут проявляться в форме сползания породных призм по контактам и в целом не представляют большой опасности с точки зрения стабильности площадки + 165м. главная угроза такого рода деформаций заключается в постепенном «съедании» берм, которое может достигнуть конвейерного оборудования и остановить технологический процесс.

3) При анализе устойчивости откоса и площадки гор. +165м, нагруженного угольным штабелем, получены следующие результаты.

В соответствии с СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений» [9], несущая способность глинистых пород основания составляет $1,5 - 2,0 \text{ кг/см}^2$ ($150 - 200 \text{ кПа}$).

Наращивание высоты угольного штабеля свыше 10м связано с рисками деформирования (выдавливания) глинистых пород основания, что приведет к нарушению нормальной работы проектируемого сооружения.

Для исключения возможности выпора основания от давления угольного штабеля рекомендуется уменьшить его высоту с 15 до 10м, что позволит уменьшить расчетное давление на основание с 225 до 150 кПа и увеличить $KЗУ$ с 1,26 до 1,68.

4) Для исключения совместного деформирования угольного штабеля и откоса гор. +150 - + 165м необходимо обеспечить ширину бермы не менее 20м. На протяжении всего Южного участка склада минимальное значение ширины бермы, равное 20м, соответствует сечению (РЛ 14 – 20) и всему участку между РЛ №37 и РЛ № 44а. Здесь существует угроза постепенного «съедания» бермы, описанная выше. На остальном протяжении Южного участка склада ширина площадки достаточно большая.

5) Необходимо иметь ввиду возможность выпора основания вышележащими уступами (гор. +165 - + 200м), рассмотренная ранее. С одной стороны, угольный штабель служит контрфорсом, препятствующим выпору основания по площадке + 165м, а с другой – источником нагрузки на данную площадку. Это может привести к эффекту «суммирования» выдавливающих нагрузок и выпору в форме пучения участка между основанием вышележащего откоса и угольным штабелем, где уложена исходящая ветвь конвейера.

6) Для надежной защиты от влаги и эрозии рекомендуется применение синтетических защитных покрытий – геотекстиль, либо геомембраны.

Все перечисленные выше мероприятия будут эффективны лишь при четком выполнении первого пункта – надежной работы дренажной системы, не допускающей увлажнения прибортового массива.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила обеспечения устойчивости на угольных разрезах. ВНИМИ. - СПб, 1998. – 208 с.
2. Инструкция по наблюдениям за деформациями бортов, откосов уступов и отвалов на карьерах и разработке мероприятий по обеспечению их устойчивости. ВНИМИ. – Л., 1971.
3. Методические указания по определению углов наклона бортов, откосов уступов и отвалов строящихся и эксплуатируемых карьеров. ВНИМИ. – Л., 1972.
4. Отчет НИР «Разработка рекомендации по обеспечению устойчивости стационарного борта разреза «Богатырь». ВНИМИ, Казахский филиал. Караганда, 1991.
5. Отчет НИР «Разработка практических рекомендаций по параметрам устойчивых бортов и внешних отвалов разреза «Богатырь» ПО «Экибастузуголь». ВНИМИ, Казахский филиал. Караганда, 1977.
6. Долгонос В.Н., Шпаков П.С., Низаметдинов Ф.К., Ожигин С.Г., Ожигина С.Б., Старостина О.В. Аналитические способы расчета устойчивости карьерных откосов. - Караганда: издательство «Санат-Полиграфия», 2009. – 332 с.
7. John Read, Peter Stacey. Guidelines for Open pit slope design. Csiro publishing, Published exclusively in Australia, New Zealand and South Africa by 150 Oxford Street (PO Box 1139), Collingwood VIC 3066, 2010. Australia. – 511p.
8. Отчет по инженерно-геологическим изысканиям для разработки рекомендаций и предложений по обеспечению устойчивости верхних уступов борта участка 6 разреза «Богатырь» в районе оползневых явлений угольного склада «Южный». ТОО «Азимут геология». Караганда, 2017.
9. СНиП 2.02.01-83 «Основания зданий и сооружений». Утверждены Государственным комитетом по делам строительства № 311 от 05.12.1983г.
10. ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация» Межгосударственный стандарт. – Москва, 2013.

© О. В. Старостина, В. Н. Долгонос, Е. В. Ситникова, А. В. Михнев, 2018

СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ И ЦИФРОВОЙ НАЗЕМНОЙ ФОТОСЪЕМКИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЕДИНОГО МАССИВА ТОЧЕК

Максим Александрович Алтынцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Мария Анатольевна Иптышева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-01-59, e-mail: iptysheva94@mail.ru

В последнее время для построения цифровых моделей территорий начинает применяться метод наземной фотосъемки. Ориентирование построенных моделей во внешнюю систему координат выполняют по опорным точкам, координаты которых могут быть измерены по данным лазерного сканирования, находящимся в зоне перекрытия с данными фотосъемки. Совместное применение методов фотосъемки и лазерного сканирования позволяет построить точную и детализированную модель.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, наземная фотосъемка, массив точек, мертвые зоны, опорные точки, маскирование, точность.

COMBINED PROCESSING OF MOBILE LASER SCANNING AND DIGITAL TERRESTRIAL PHOTOGRAPHY DATA FOR GENERATING UNITED POINT CLOUD

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Maria A. Iptisheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-01-59, e-mail: iptysheva94@mail.ru

Currently terrestrial photography method is being started to use for generating digital area models. Georeferencing of obtained digital models is carried out with control points. Control point coordinates can be measured with laser scanning data located in overlapping areas with photography data. Combined application of both photography and laser scanning methods allows generating an exact and detailed model.

Key words: mobile laser scanning, terrestrial photography, point cloud, shadow area, control points, masking, accuracy.

Лазерное сканирование – это современный метод геодезической съемки, который позволяет выполнять сбор чрезвычайно большого объема пространст-

венных данных за короткий промежуток времени. Лазерное сканирование подразделяется на 3 основных вида: наземное, мобильное и воздушное. Наземное лазерное сканирование выполняется в статическом положении с помощью сканера, установленного на штативе. Сбор данных происходит за счет работы блока развертки сканера, состоящего из сервопривода и системы зеркал или призмы. Отклонение лазерного луча в горизонтальном положении происходит с помощью сервопривода, то есть поворота сканера вокруг вертикальной оси, а в вертикальном положении – с помощью вращения зеркала или призмы вокруг горизонтальной оси. Мобильное и воздушное лазерное сканирование выполняется в процессе движения транспортного средства, на крыше которого закрепляются 2D лазерные сканеры, фотокамеры и навигационное оборудование, состоящее из ГНСС-приемников и инерциальной навигационной системы. Вертикальная развертка осуществляется за счет вращения лазерных головок, а горизонтальная – за счет перемещения транспортного средства [1–2].

Мобильное лазерное сканирование обычно применяется при сканировании линейных протяженных объектов, таких как дороги. За счет осуществления процесса сканирования в движении оно существенно превосходит наземное в скорости сбора данных, позволяя за один съемочный день получить данные на территорию площадью в несколько тысяч гектар, со средней плотностью точек более ста на один квадратный метр, в зависимости от технических характеристик применяемой модели мобильной лазерной сканирующей системы [3–4].

Недостатком мобильного лазерного сканирования является то, что в процессе сбора данных возникает большое количество мертвых зон, то есть участков, на которые вследствие различных препятствий не попал лазерный луч. Частично исключить такие зоны можно повторным проездом съемочной системы в обратном направлении, либо по примыкающим территориям, что не всегда возможно. Возникает задача съемки таких зон другими методами. Какой метод выбрать зависит от получаемой конечной продукции и наличия дополнительного оборудования. Например, для создания топографического плана рационально выбрать съемку с помощью тахеометра, когда выполняется измерение недостающих характерных точек. Но тогда не получится единого набора исходных данных. Первая часть данных будет представлена в виде массива точек, а вторая – в виде пикетов. Для получения единого набора данных в виде массива точек часто выбирают метод наземного лазерного сканирования. Привязку между данными мобильного и наземного лазерного сканирования выполняют по зонам взаимного перекрытия или по опорным точкам [5–6].

Альтернативным методом съемки мертвых зон также может быть метод фотосъемки. В последнее десятилетие, вследствие возросшей мощности средств вычислительной техники, стало возможным получение плотного массива точек в результате стереофотограмметрической обработки цифровых фотографий. С помощью простой цифровой фотокамеры данный метод позволяет получить близкий по точности результат к данным лазерного сканирования. Преимуществом такого метода получения массива точек является простота и скорость сбора данных, а также то, что не требуется иметь дорогостоящего гео-

дезического оборудования. Недостатком метода является то, что требуется большое количество машинного времени для совместной обработки огромного числа фотографий. Проблема решается посредством применения мощных средств вычислительной техники. Метод используется как при обработке фотографий, полученных с аэрофотосъемочных пилотируемых или беспилотных носителей, так и при наземной съемке [7–8].

Для построения плотного массива точек по данным фотосъемки применяются различные программные комплексы. Наибольшей популярностью во всем мире, особенно в нашей стране, пользуется цифровая фотограмметрическая станция (ЦФС) Photomod компании Ракурс и программный комплекс (ПК) PhotoScan компании Agisoft LLC [9–10].

ЦФС Photomod выполняет полный комплекс задач от сбора данных для построения сетей фототриангуляции до создания цифровых моделей рельефа и поверхностей. Пространственную информацию с помощью данной ЦФС получают по материалам различных съемочных систем, таких как космические сканирующие системы, кадровые цифровые и пленочные камеры, радары с синтезированной апертурой [11–12].

ПК PhotoScan позволяет решать большинство задач, решаемых ЦФС, но с точки зрения пользовательского интерфейса сильно от нее отличается, а также обладает значительной степенью автоматизации. Программа применяет технологии компьютерного зрения и фотограмметрической обработки для поиска общих точек на фотоснимках с помощью информации, записываемой в их EXIF-файл (высота центра фотоснимка, координаты, углы поворота камеры). На основе этой информации для каждого пикселя одного фотоснимка выполняется поиск соответствующих пикселей на других фотоснимках. Если соответствующие точки будут найдены на трех и более снимках, то выполняется вычисление координат точки в пространстве [9,13].

Создание трехмерных моделей объектов в ПК PhotoScan выполняется в четыре этапа [13]:

- выравнивание снимков;
- построение плотного облака точек;
- построение полигональной модели объекта;
- построение текстуры модели или ортофотоплана.

Результаты построения плотного облака точек и моделей могут быть экспортированы в другие программные комплексы.

Для получения плотного облака точек и трехмерных моделей объектов местности с помощью фотокамеры во внешней системе координат необходимо применять опорные точки. Координаты опорных точек могут быть измерены различными методами геодезической съемки на местности, либо взяты из продукции, ранее созданной по результатам такой съемки.

Плотное облако точек, полученное в результате мобильного лазерного сканирования, может быть использовано как источник опорных точек для построения такого облака по данным фотосъемки. Опорные точки необходимо

выбирать в зонах взаимного перекрытия между облаками фотосъемки и лазерного сканирования. В этом случае данные фотосъемки смогут дополнить данные лазерного сканирования, то есть облако точек фотосъемки заполнит мертвые зоны лазерного сканирования. Также по данным мобильного лазерного сканирования можно будет выполнить оценку точности построения плотного облака точек, полученного по цифровым фотографиям [14–16].

Для исследования возможности применения фотосъемки в качестве метода съемки мертвых зон мобильного лазерного сканирования было выбрано здание по адресу Станиславского, 3/1 (рис. 1). Данное здание отличается тем, что обладает большой площадью остекления, особенно его фасад. Это способствует большому количеству зеркальных отражений близлежащих сооружений и объектов. В сентябре 2017 года было выполнено мобильное лазерное сканирование (МЛС) улицы Станиславского с помощью системы Riegl VMX-250. Съемка выполнялась в прямом и обратном направлениях.



Рис. 1. Здание по адресу Станиславского, 3/1

Система Riegl VMX-250 включает в свой состав 2 2D лазерных сканера, выполняющих сканирование назад, приблизительно под углом в 45 градусов влево и вправо относительно траектории движения. Данный угол сканирования позволяет уменьшить количество мертвых зон, например, выполнить съемку боковых стен зданий. На рис. 2 показан результат мобильного лазерного сканирования с двух ракурсов.

Из рис. 2 видно, что были просканированы боковые стены зданий участка съемки. Однако плотность ТЛО падает с увеличением расстояния от траектории движения системы МЛС. Для того, чтобы выполнить дополнительную съемку боковых стен зданий, а также некоторой территории за ними, было осуществлено фотографирование данного участка. Для фотосъемки применялась камера SONY DSC-H50. Всего было получено 214 фотографий со следующими параметрами фотосъемки: фокусное расстояние 5 мм, диафрагма f/8, выдержка 1/125 с, светочувствительность ISO 200, разрешение 3456x2592 пикселей.

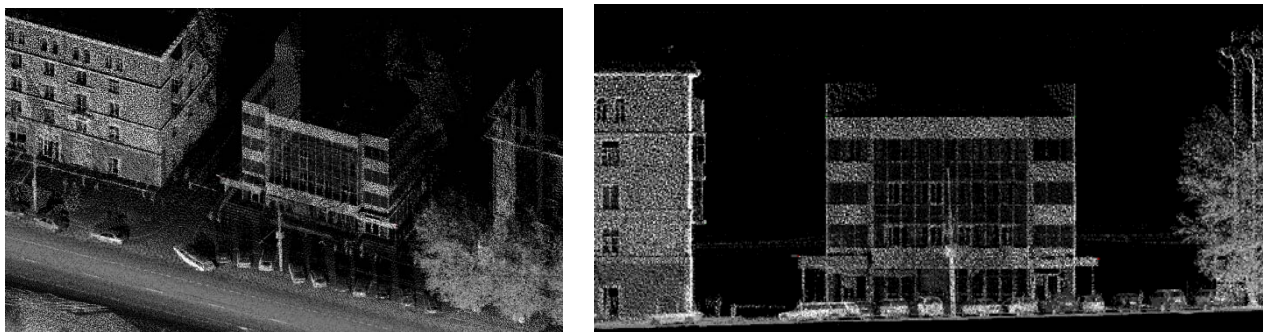


Рис. 2. Массив ТЛО от здания по ул. Станиславского

Построение плотного облака точек по данным фотосъемки было выполнено в ПК Photoscan. Предварительно по встроенному в данный ПК шаблону была выполнена калибровка применяемой камеры. В результате фотографирования шаблона под разными углами были определены элементы внутреннего ориентирования камеры и параметры дисторсии.

Чтобы избежать ошибок при автоматическом поиске соответственных точек на фотоснимках, на всех фотографиях выполнялось маскирование зеркальных участков, окон, а также области неба.

Для масштабирования и привязки облака точек, полученного из фотосъемки, к облаку точек лазерных отражений были применены координаты семи опорных точек, измеренных по данным лазерного сканирования (рис. 3). В таблице приведены координаты опорных точек.



Рис. 3. Опорные точки для внешнего ориентирования плотного облака точек, полученного из фотосъемки

Координаты опорных точек

№ точки	X, м	Y, м	Z, м
1	6095358,175	619699,331	87,782
2	6095335,617	619701,987	87,524
3	6095337,534	619703,154	98,363
4	6095356,267	619701,075	98,346
5	6095365,882	619704,624	90,204
6	6095357,252	619710,020	98,359
7	6095326,314	619711,660	91,705

Для взаимного ориентирования фотоснимков применялись связующие точки. На всей площади объекта были интерактивно добавлены 82 такие точки, равномерно распределенные по территории.

Для того, чтобы повысить точность автоматического определения центров фотографирования на этапе выравнивания всех фотографий в ПК Photoscan, в результаты визуальной оценки положения фотографий, по данным мобильного лазерного сканирования и с помощью программы Google Earth измерялись приблизительные координаты центров фотографирования.

В результате выравнивания фотографий было получено прореженное облако точек. Средняя ошибка внешнего ориентирования прореженной точечной модели составила 3,8 см по опорным точкам, по соответственным точкам – 2,25 пикселя. На рис. 4 представлен результат построения плотного облака точек, то есть следующего этапа после выравнивания, положение фотографий и соответственных точек. Фотографирование выполнялось таким образом, чтобы в итоге была построена модель области за зданием по улице Станиславского, 3/1, включающая одноэтажное строение, стены которого показаны в верхней левой части рисунка 4. На рис. 5 показаны данные результаты с разных точек и под различными углами.

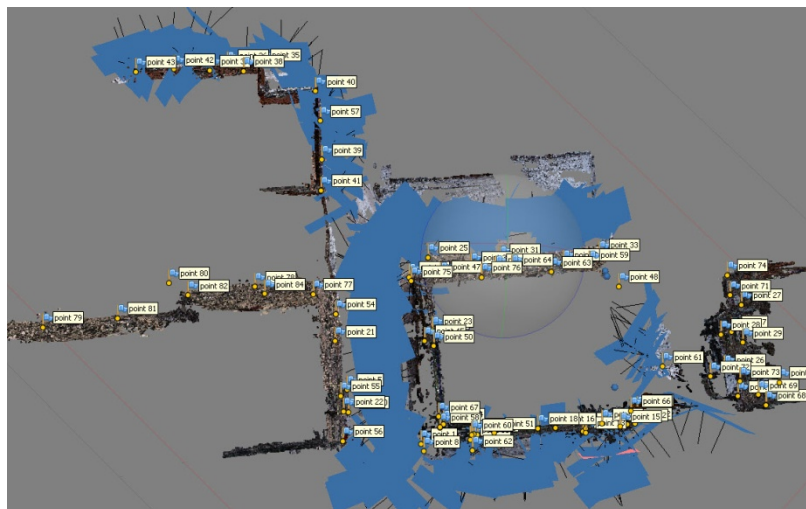


Рис. 4. Результат построения модели (вид сверху)

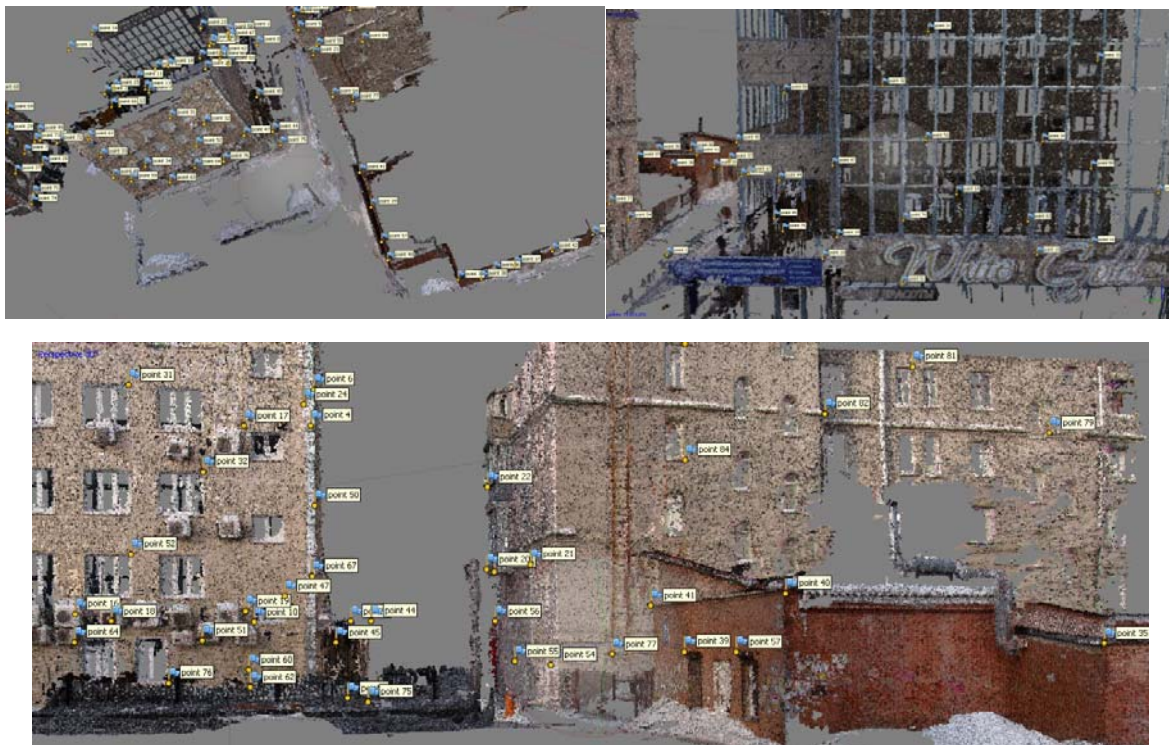


Рис. 5. Результаты построения модели

Из представленных рисунков видно, что на зданиях отобразились оконные рамы без стекол, что является результатом создания масок. Также там, где недостаточно фотографий, присутствуют разрывы в текстуре, либо отсутствуют некоторые детали. Но целью работы была именно съемка зоны за зданием, получение координат углов одноэтажного строения за ним. Поэтому дополнительное фотографирование и обработка для заполнения разрывов не выполнялась.

Чтобы проконтролировать точность создания облака точек по фотографиям, одновременно с ним было загружено с облаком точек лазерных отражений. На рис. 6 зеленым цветом показаны данные мобильного лазерного сканирования, а синим – облако точек, полученное по фотографиям.

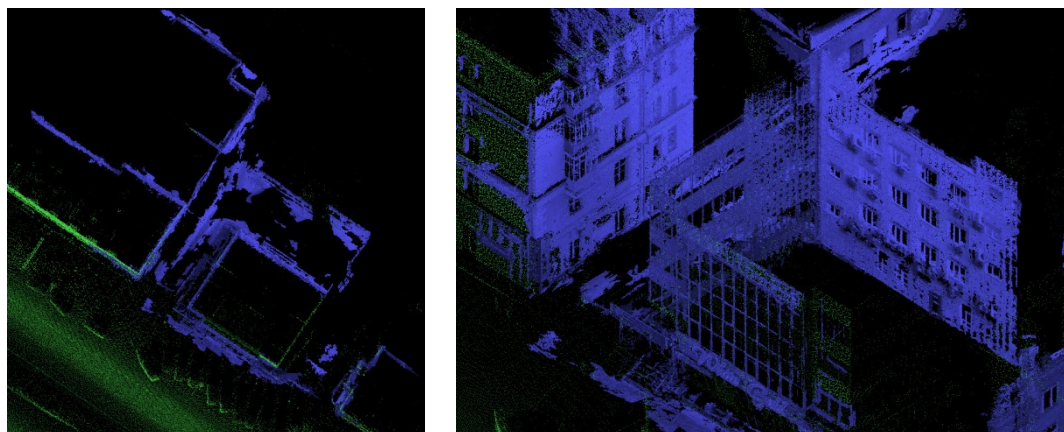


Рис. 6. Объединенное облако точек

Особенностью облака точек, созданного по фотографиям, является наличие некоторого шума, например, многие точки плоского участка стены отклоняются от нее. Оценка точности совмещения двух облаков точек была выполнена по зоне взаимного перекрытия между ними с учетом наличия шума. Это фасад зданий со стороны улицы Станиславского и некоторая часть боковых их стен. Измерялись расхождения соответственных точек между облаками, то есть выполнялась оценка точности построения облака точек по фотографиям с помощью контрольных точек. Средняя ошибка по 5-ти точкам составила 4,2 см.

Для того, чтобы можно было оценить точность построения облака точек одноэтажного красного кирпичного строения, находящегося за основным зданием, необходимо дополнительно определить координаты его углов другими методами геодезической съемки, например, съемкой с помощью тахеометра.

Таким образом была построена точечная модель по фотографиям зон, примыкающих к данным мобильного лазерного сканирования. Для достижения максимальной точности были измерены координаты большого количества соответственных точек, добавлены маски на фотографиях, введены приблизительные центры фотографирования. В дальнейших исследованиях дополнительно необходимо решить следующие задачи:

- определить минимальное количество необходимых соответственных точек для построения точечной модели с точностью не ниже полученной;
- определить минимально допустимое количество фотографий для определения положения объектов с заданной точностью;
- определить степень влияния дополнительного ввода приблизительных координат центров фотографирования на точность точечной модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142–149.
2. Середович В. А., Алтынцев М. А., Анцифоров Е. С. Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 90–95.
3. Середович В. А., Алтынцев М. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 96–100.
4. Середович В.А., Попов Р.А., Алтынцев М.А. Выявление изменений в инфраструктуре города по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 156–160.

5. Zai, D., Guo, Y., Li, J., Luo, H., Lin, Y., Sun, Y., et al. (2016). *3d road surface extraction from mobile laser scanning point clouds*, in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. IEEE*, 1595–1598.
6. Yu, X., Zhang, T. (2017). Application of terrestrial 3d laser scanning technology in spatial information acquisition of urban buildings. *Image, Vision and Computing (ICIVC), 2017 2nd International Conference on. IEEE, 2017*, 1107–1111.
7. Mayr, A. Rutzinger, M., Bremer, M., Geitner, C. (2016). Mapping eroded areas on mountain grassland with terrestrial photogrammetry and object-based image analysis. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 3, no. 5.
8. Themistocleous, K., Ioannides, M. Agapiou, A. Hadjimitsis, D. (2015). The methodology of documenting cultural heritage sites using photogrammetry, uav, and 3d printing techniques: the case study of asinou church in cyprus,” *RSCy2015*, 953510-1.
9. Хлебникова Т. А., Опритова А. О. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Вып. 1 (22). – С. 119–131.
10. Журкин И. Г., Хлебникова Т. А. Цифровое моделирование измерительных трехмерных видеосцен : монография. – Новосибирск : СГГА, 2012. – 246 с.
11. Гордиенко А. С. Исследование алгоритмов создания и редактирования цифровых моделей рельефа, реализованных в программе PHOTOMOD // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 38–42.
12. Хлебникова Т. А., Опритова А. О. Экспериментальные исследования технологии моделирования геопространства по материалам аэрофотосъемки // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 1. – С. 16–20.
13. Agisoft PhotoScan Professional Edition – Руководство пользователя. Версия 1.4 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_4_ru.pdf.
14. El-Ashmawy, K. L. (2015). A comparison between analytical aerial photogrammetry, laser scanning, total station and global positioning system surveys for generation of digital terrain model. *Geocarto International*, vol. 30, no. 2, 154–162.
15. Altman, S., Xiao, W., Grayson, B. (2017). Evaluation of low-cost terrestrial photogrammetry for 3d reconstruction of complex buildings. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, vol. 4.
16. Gruszczynski, W., Matwij, W., Cwiakala, P. (2017). Comparison of low-altitude uav photogrammetry with terrestrial laser scanning as datasource methods for terrain covered in low vegetation. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 126, 168–179.

© М. А. Алтынцев, М. А. Интышева, 2018

ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ЛИНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ ПО ДАННЫМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Максим Александрович Алтынцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Андрей Михайлович Макаров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)117-46-91, e-mail: pp1987@mail.ru

Одной из задач в автодорожной отрасли является определение геометрических параметров автомобильных дорог, для чего необходима векторизация характерных линий. Значительно ускорить и повысить точность процесс поиска таких линий способны данные мобильного лазерного сканирования. В статье проанализированы основные проблемы автоматизированного определения характерных линий по данным мобильного лазерного сканирования.

Ключевые слова: характерные линии, мобильное лазерное сканирование, автомобильная дорога.

CHALLENGES OF SEMI-AUTOMATIC ROAD BREAKLINE DETECTION USING LASER SCANNING DATA

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

Andrey M. Makarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (923)117-46-91, e-mail: pp1987@mail.ru

One of the tasks in the road industry is determination of geometry road parameters. Vectorization of breaklines is necessary for searching geometry road parameters. Mobile laser scanning data are dramatically capable to speed up and increase an accuracy of detecting such lines. Basic challenges of semi-automatic road breakline detection using mobile laser scanning data are analyzed.

Key words: breaklines, mobile laser scanning, road.

Для эффективного управления и планирования транспортной инфраструктурой требуется выполнять сбор пространственных данных. Процесс обработки пространственных данных, полученных традиционными способами, является весьма трудоемким и требует серьезных временных и финансовых затрат. Зна-

чительно ускорить процесс сбора таких данных позволяет мобильное лазерное сканирование (МЛС). Пространственные данные при этом представляются в виде массивов точек лазерных отражений (ТЛО). Данные МЛС в этой отрасли применяются для построения продольных и поперечных профилей, определения геометрических параметров дорог и объектов придорожной полосы, создания топографических планов и цифровых моделей поверхности дорожного полотна [1–6]. МЛС также является достоверным и надежным источником данных для контроля строительства новых дорог. МЛС способно выявить все дефекты дорожного полотна [7–9].

Структурные линии дороги задают базовую пространственную геометрию автомобильной дороги и являются первым и важнейшим элементом, который необходимо определять при создании 3D-модели дороги. Структурные линии дороги включают в себя осевые линии, кромки проезжей части, бровки, подшвы, границы откосов и насыпей. В настоящее время уже существует ряд алгоритмов и программных продуктов, позволяющих распознавать структурные линии и строить статистически сглаженные пространственные линии по облаку точек. Получаемые структурные линии являются важнейшим элементом модели дороги и используются напрямую современными САПР автомобильных дорог. Следует отметить, что автоматизированное распознавание структурных линий дороги относительно надежно работает только для новых дорог. В остальных случаях точно распознать ось дороги, полузасыпанную кромку, заросшую травой бровку и так далее довольно проблематично – в этом случае на помощь приходит ручная оцифровка структурных линий [10–17].

В работе исследуются вопросы векторизации характерных линий автомобильных дорог, построение цифровой модели поверхности дорожного полотна и модели рельефа придорожной полосы, возможности современных программных комплексов обработки данных МЛС по автоматическому определению характерных линий в массиве точек лазерных отражений, требования современных программных комплексов обработки данных МЛС, предъявляемые к качеству исходных данных.

В рамках исследования были выбраны и рассмотрены следующие программные комплексы (ПК) обработки данных МЛС:

- Riegl RiPROCESS;
- VirtualGrid VRMesh;
- TerraSolid.

ПК Riegl RiPROCESS не содержит функций автоматизированного определения характерных линий, но является базовым программным комплексом для системы МЛС Riegl VMX-250 [18]. С помощью данной системы были получены данные для исследований, в качестве которых был выбран участок автомобильной дороги между поселками 8 марта и Верх-Тула в пригороде г. Новосибирска. Настоящий программный комплекс используется для первичной обработки данных МЛС – уравнивания массивов ТЛО, полученных с разных проездов. Уравнивание массивов ТЛО может быть осуществлено как в полностью

автоматическом, так и в ручном режиме с помощью координат опорных и контрольных точек. В процессе уравнивания выполняется перевод массива ТЛО в требуемую систему координат. Так же данный программный комплекс обладает довольно мощными и гибкими функциями фильтрации массива ТЛО, такими как «Off-Terrain Classifier» – определение класса «земли» с достаточно высокой точностью; «Isolated Points Classifier» – фильтрация изолированных, ошибочных, точек или «шумов»; «Terrain filter tool» – фильтрация, по довольно гибким настраиваемым параметрам, различных нежелательных объектов, таких как «тени» движущихся объектов (транспортные средства, люди), деревья, перемещаемые конструкции. Использование функций фильтрации массива ТЛО данного программного комплекса позволяет в значительной степени улучшить результаты последующего автоматизированного извлечения характерных линий в других, рассматриваемых в данной статье, программных комплексах.

VirtualGrid VRMesh – это программный продукт, основным преимуществом которого изначально было построение высокодетализированных поверхностей по данным лазерного сканирования. По мере своего развития программный продукт включил в себя множество различных инструментов, позволяющих решать большинство задач по обработке данных лазерного сканирования. В настоящее время VirtualGrid VRMesh поддерживает работу с большинством распространенных форматов данных лазерного сканирования, позволяет проводить регистрацию и уравнивание массивов ТЛО как в ручном, так и в автоматическом режимах, включает в себя мощные инструменты по автоматизированной фильтрации и классификации ТЛО (рис. 1). Начиная с версии 9.2, в программе появилась функция автоматической трассировки и векторизации характерных линии в массиве ТЛО, таких как границы бордюров, дорожная разметка, границы откосов, головки рельсов и т. д. [19].

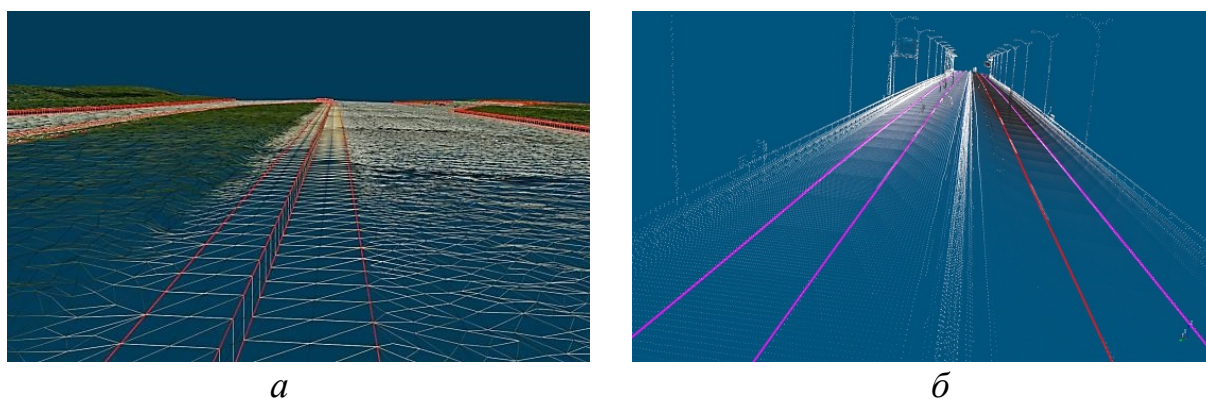


Рис. 1. Векторизация бордюров и дорожной разметки
в программном продукте VRMesh:

a – автоматизированная векторизация характерных линий бордюра; *б* – автоматическая векторизация дорожной разметки

При всех своих преимуществах, программный продукт VRMesh также обладает некоторыми существенными недостатками, такими как закрытый исходный код, ограниченный набор параметров для выполнения той или иной процедуры, отсутствие редактора отчетов и отчетных форм [19].

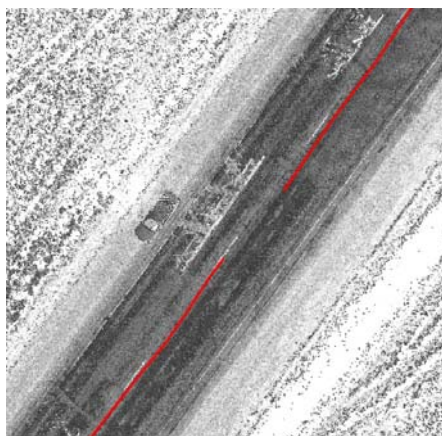
TerraSolid – это универсальный программный комплекс. Преимуществом данного ПК является богатый инструментарий, для большинства функций программы реализован обширный набор настроек. Инструментарий позволяет дорабатывать существующие и создавать свои собственные интегрированные макросы и программные модули, отчетные формы и отчеты.

Автоматизированная векторизация характерных линий была выполнена в среде ПК TerraSolid. Основные этапы автоматизированной векторизации характерных линий участка автомобильной дороги между поселками 8 марта и Верх-Тула в пригороде г. Новосибирска подробно рассматривались в [20]. Целью данной статьи является подробный разбор проблем и особенностей векторизации, с которыми пришлось столкнуться в процессе обработки.

Практически на всех этапах была выявлена такая особенность, как повышенные требования, которые программный комплекс предъявляет к качеству уравнивания массивов ТЛО, фильтрации «ошибочных» ТЛО и различных «шумов». Так же конечный результат в большой степени зависит от качества классификации массива ТЛО, в особенности от качества классификации точек земли.

На этапе автоматического определения и векторизации линии выпуклости поперечного профиля автомобильной дороги, соответствующей изменению направления поперечного уклона (определению и векторизации точек перегиба по оси дороги), был выявлен ряд проблем, таких как наличие разрывов линии выпуклости поперечного профиля в местах, где изменение поперечного уклона слишком мало или четко не дифференцируется в результате структурных изменений или повреждений дорожного полотна (рис. 2, *а, б*).

На этапе автоматизированного определения дорожной разметки на основе значений интенсивности ТЛО была выявлена проблема наличия одинаковых значений интенсивности у ТЛО дорожной разметки и ТЛО некоторых близлежащих объектов. При наличии таких соседних ТЛО алгоритм векторизации может сработать некорректно, что приводит к искажению линии разметки. Наиболее часто это встречается в районе кромок дорожного полотна, особенно в условиях повышенной загрязненности разметки. Также имеет место быть проблема разрывов или отсутствия линии разметки на непрямолинейных участках автомобильной дороги (рис. 3, *а, б*).



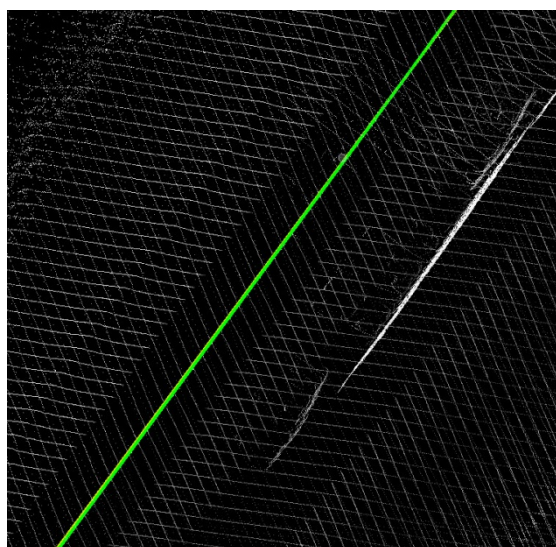
a



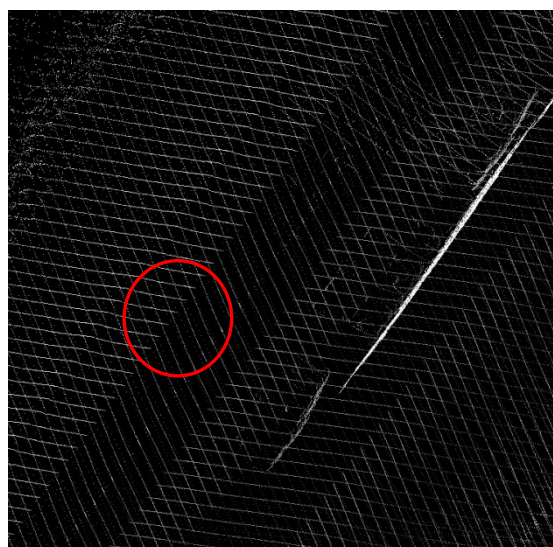
б

Рис. 2. Разрыв в векторизированной линии выпуклости поперечного профиля дороги:

a – вид сверху; *б* – поперечный профиль



a

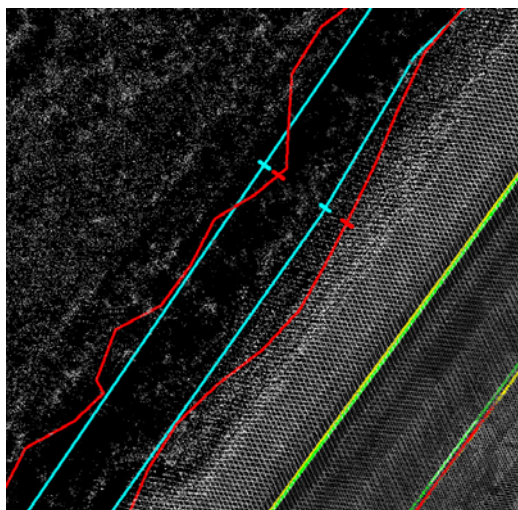


б

Рис. 3. Массив ТЛО запыленного участка дорожного полотна, представление по интенсивности:

a – с линией разметки; *б* – без линии разметки

Из-за недостаточного числа ТЛО, описывающих откосы (вследствие присутствия зон, не попавших в поле зрения лазерных сканеров системы МЛС), неверной приблизительной векторизации линий откосов и неточного задания значений допуска на смещение этих линий при автоматической коррекции положения характерных линий откосов могут возникать ошибки в идентификации бровки и подошвы. На рис. 4 красным цветом обозначены линии бровки и подошвы, полученные при автоматической коррекции положения, бирюзовым цветом – линии бровки и подошвы, полученные в результате приблизительной векторизации.



a



б

Рис. 4. Результат ошибки при автоматической коррекции положения характерных линий откоса:

a – вид сверху; *б* – поперечный профиль

При использовании метода построения ЦМР путем создания регулярной сетки ТЛО с заданным шагом и объединения таких ТЛО с ключевыми ТЛО рельефа удалось избежать грубых ошибок построения характерных линий откосов, но даже при данной методике посторенные характерных линий откосов может быть неточным и в значительной степени зависит от качества исходных данных и построенной на их основе ЦМР (рис. 5, *a*, *б*).

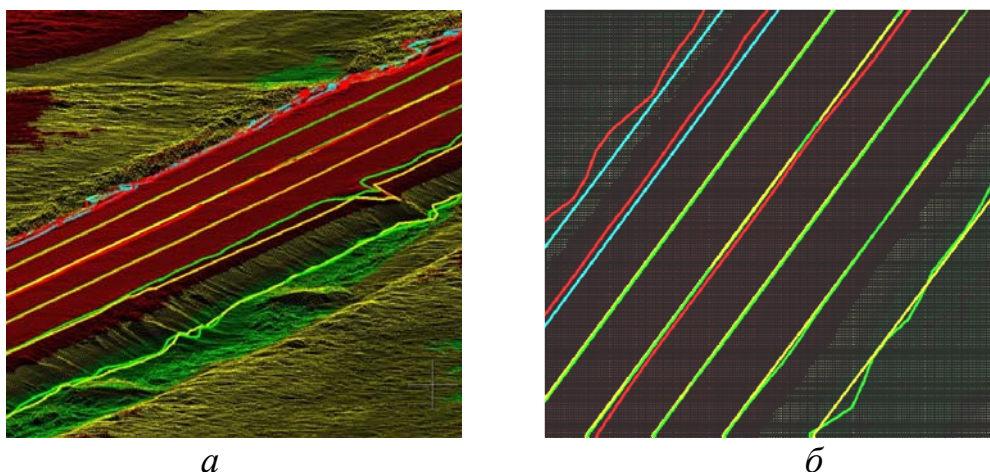


Рис. 5. Регулярная сетка ТЛО (шаг 20 см) со структурными линиями:

а – изометрическая проекция; б – вид сверху

Таким образом, после подробного анализа результатов автоматизированной векторизации характерных линий участка автомобильной дороги были сделаны следующие выводы и предложены пути решения выявленных проблем:

- ни один из рассмотренных программных комплексов на данный момент не способен обеспечить достаточную степень автоматизации извлечения характерных линий автомобильных дорог из массива ТЛО. Предпочтение было отдано программному комплексу TerraSolid, так как в отличие от остальных он поддерживает возможность создания пользовательских инструментов и процедур на С-подобном языке программирования MDL (MicroStation Development Language), разработка которых может существенно повысить степень автоматизации извлечения характерных линий, а также повысить качество конечных данных;

- точность автоматизированного извлечения характерных линий автомобильных дорог значительно зависит от качества исходных данных, а именно от точности уравнивания массивов ТЛО, результатов выполненной фильтрации «ошибочных» ТЛО, наличия различных «шумов», точности классификации массива ТЛО. Заметного улучшения качества конечных данных можно добиться путем подбора оптимальных параметров фильтрации и классификации массивов ТЛО, использования специализированных инструментов ПО, поставляемого с системой МЛС (в данном случае ПО RiPROCESS, системы Riegl VMX-250), применения инструментов интерактивного редактирования массива ТЛО и полученных на его основе цифровых моделей, то есть необходимо выполнить максимально корректную фильтрацию и классификацию массива ТЛО перед этапом автоматизированного извлечения характерных линий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шануров Г. А., Половнев О. В., Манилова А. Д. Способ обработки результатов топографической съемки, выполненной с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 3. – С. 42–47.

2. Манилова А. Д. Геодезическое обеспечение топографической съемки, выполняемой с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. Геодезия и аэрофото-съемка. – 2017. – №3. – С. 54–57.
3. Середович В. А., Алтынцев М. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междуна-р. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшей-дерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 96–100.
4. Деговцев А. А. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междуна. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 140–144.
5. Середович В. А., Востров И. В. Обзор современных программных продуктов для создания и использования трехмерных моделей для проектирования автомобильных дорог // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междуна. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 115–120.
6. Ковач Н. С., Клименок И. В. Возможности применения мобильного лазерного ска-нирования для мониторинга дорог и сопутствующей инфраструктуры на основе опыта про-изведенных работ на участках Октябрьской, Рязанской, Смоленской и Брянской железных дорог // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междуна. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новоси-бирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 92–97.
7. Середович В. А., Попов Р. А., Алтынцев М. А. Выявление изменений в инфраструк-туре города по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междуна. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, карто-графия, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Ново-сибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 156–160.
8. Середович В.А., Алтынцев М.А., Попов Р.А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и сни-маемой // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междуна. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новоси-бирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142–149.
9. Середович В.А., Алтынцев М.А., Анцифиров Е.С. Исследование точности уравнива-ния данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Меж-дуна. науч. конгр. : Междуна. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, марк-шейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 90–95.
10. Сарычев Д.С. Обработка данных лазерного сканирования // САПР и ГИС автомо-бильных дорог. – №1(2), 2014. – С. 16-19.
11. Yang, B, Liu, Y., Dong, Z., Liang, F., Li, B., Peng, X. (2017). *3d local feature bkd to ex-tract road information from mobile laser scanning point clouds,* " *ISPRS Journal of Photogramme-try and Remote Sensing*, vol. 130, 329–343.
12. Yang, B., Liu, Y., Liang, F., Dong, Z. (2016) Using mobile laser scanning data for fea-tures extraction of high accuracy driving maps, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, *XLI-B3*, 433-439, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B3-433-2016>.
13. Zai, D., Guo, Y., Li, J., Luo, H. , Lin, Y., Sun, Y., et al. (2016). 3d road surface extrac-tion from mobile laser scanning point clouds, in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016 IEEE International. IEEE*, 1595–1598.

14. Liu, J., Xiao, Z., Chen, Y., Huang, P., Wu, R., Li, J. (2017). Automated extraction of urban roadside trees from mobile laser scanning point clouds based on a voxel growing method. *IGARSS 2017, Fort Worth, Texas, USA, 23-28 July*, 1832-1835.
15. Wang, J., Lindenbergh, R., Menenti, M. (2017). 3d feature matching algorithm for automatic street object recognition in mobile laser scanning point clouds. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 128, 111–129.
16. Zai, D., Chen, Y., Li, J., Yu, Y., Wang, C., Nie, H. (2015). Inventory of 3d street lighting poles using mobile laser scanning point clouds. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International. IEEE*, 573–576.
17. Nurunnabi, A., West, G., Belton, D. (2015). Outlier detection and robust normal-curvature estimation in mobile laser scanning 3d point cloud data. *Pattern Recognition*, vol. 48, no. 4, 1404–1419.
18. Высокоточная съемка архитектурных памятников Венеции лазерной системой Riegl VMX-250 / Штудницка Н., Зах Г., Амон Ф., Пфеннигбауэр М. // Вестник СГГА. – 2015. – Вып. 2 (15). – С. 16-29.
19. Сайт компании «VRMesh». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vrmesh.com>.
20. Алтынцев М. А. Автоматизированное определение характерных линий автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования // 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. 109–117.

© М. А. Алтынцев, А. М. Макаров, 2018

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ЗДАНИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТА И ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ КАДАСТРОВОЙ СТОИМОСТИ

Алексей Викторович Дубровский

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, зав. научно-производственным центром «Дигитайзер», тел. (383)361-01-09, e-mail: avd5@ssga.ru

Ольга Олеговна Симонова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистр, тел. (383)361-01-09, e-mail: olyatverdovskya@gmail.com

Геодетический мониторинг зданий осуществляется на основе геодетических наблюдений, целью которых является своевременное выявление деформаций объекта, выявление нарушений в состоянии его конструктивных элементов. Основной причиной низкого процента обнаружения аварийно-опасных зданий является отсутствие регламента на проведение планового геодетического мониторинга не только по истечении нормативных сроков эксплуатации, но и в течение всего жизненного цикла объекта. В статье предлагается разработать методику выявления объектов, состояние которых является опасным. В качестве одного из параметров оценки состояния объекта, возможно, использовать значения года постройки здания и его проектного срока эксплуатации. Также в статье дано обоснование зависимости кадастровой стоимости здания от параметров его безопасности. Подчеркивается необходимость своевременного проведения геодетического мониторинга для контроля безопасности объекта и обеспечения стабильности кадастровой стоимости.

GEODETTIC MONITORING OF BUILDINGS AS THE CONTROL TOOL PROVIDING OBJECT SAFETY AND STABLE CADASTRAL COST

Alexey V. Dubrovsky

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Head of Scientific and Production Centre «Digitizer», phone: (383)361-01-09, e-mail: avd5@ssga.ru

Ol'ga O. Simonova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Master student, phone: (383)361-01-09, e-mail: olyatverdovskya@gmail.com

Geodetic monitoring of buildings is performed on the basis of geodetic surveying aimed at well-timed revealing object deformations, or its constructive elements deformations. The main reason of low-percent revealing of hazardous dangerous buildings is lack of regulations for planned geodetic monitoring not only after exploitation term expiration but after the entire life cycle of the object as well. The article suggests to develop the method for revealing dangerous objects. The year when the object was built and its project exploitation term can be taken as one of the object estimation parameter. Also the article gives proves of relation between the cadastral cost of the building and its security parameters. It is underlined that there is the necessity of well-timed monitoring for security control of the object and its stable cost.

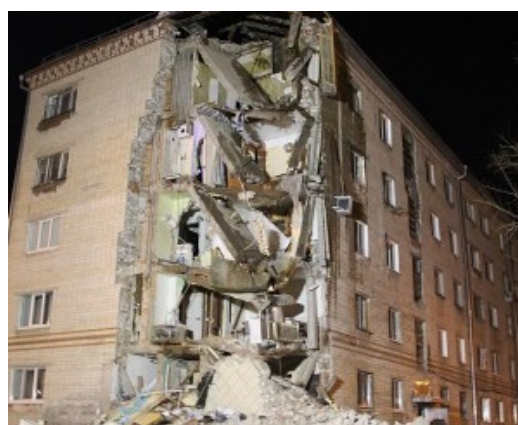
В настоящее время строится большое количество многоэтажных жилых домов. Основным требованием при возведении таких объектов недвижимости является безопасность при их строительстве, и эксплуатации. Деформации зданий могут быть вызваны как их конструктивными особенностями, так и природными условиями или деятельностью человека. Поэтому важной задачей при строительстве и эксплуатации различного рода объектов недвижимости является контроль стабильности потенциально опасных конструктивных элементов.

В градостроительстве, кибернетике и геоинформатике исследователи особое внимание уделяют вопросам создания городов «будущего», в основе которых будут лежать принципы экономии энергии, сокращения потребления и защиты окружающей среды, а также повышения уровня благосостояния граждан [1]. Поэтому в таких городах должны учитываться всевозможные чрезвычайные ситуации, связанные со стихийными бедствиями, или антропогенными авариями, при строительстве должны применяться технологии и материалы, удовлетворяющие экологической, сейсмической, пожарной безопасности [2, 3]. Кроме того, как отмечается в работе [4]: «Массовая урбанизация может привести к социальной нестабильности, подрывая способность городов быть экологически устойчивыми и экономически успешными». Геотехнологии в данном случае позволяют не только создать информационное обеспечение для процессов территориального управления, но решить более сложные задачи анализа и моделирования [5].

Отсутствие контроля за объектами жилой недвижимости может привести к обрушению основных конструктивных элементов. Так, на территории Российской Федерации за последние несколько лет неоднократно происходили случаи обрушения зданий, причинами которых послужили: строительный брак, допущенный при возведении жилого жема, незаконная перепланировка, подмыв фундамента грунтовыми водами и другие факторы, повлекшие за собой деформации основных конструктивных элементов зданий, рисунок 1 а и 1 б.



а)



б)

Рис. 1. Обрушения жилых зданий на территории России за 2015 год:

а) город Пермь, ул. Куйбышева, 103 – 11 июля 2015 год б) город Тюмень, ул. Харьковской, 59а – 24 марта 2015 год

По заключениям комиссий, происшествия произошли из-за незаконной перепланировки на первом этаже или в подвале в коммерческих помещениях, а также из-за строительного брака, допущенного еще при закладке фундамента дома [6].

Наиболее частыми причинами деформаций основных конструктивных элементов зданий являются [7]:

- некачественные инженерно-геологические изыскания;
- ошибки при проектировании оснований и фундаментов;
- некачественное выполнение работ при возведении нулевого цикла;
- нарушение технологии эксплуатации.

Подобных происшествий можно избежать при своевременном проведении технического обследования здания и устранении деформаций конструкции объекта, а также при мониторинге зданий во время строительства, эксплуатации и проведения ремонтных работ.

Помимо причин разрушений зданий, на которые непосредственно влияет сам человек происходят и разрушения, причинами которых служат природные катастрофы, такие как землетрясения или наводнения, которые человек не может полностью предотвратить, но может повлиять на их последствия.

В качестве превентивных мер предотвращения таких разрушений, можно рассматривать регулярное проведение технического обследования и мониторинга состояния зданий и сооружений [8].

Проведение технического обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений регламентируется следующими нормативно-правовыми документами:

- Федеральный закон «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» от 30.12.2009 № 384-ФЗ [9];
- ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния (далее ГОСТ 31937-2011) [10];
- СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [11].

Временной период проведения обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений установлен в ГОСТ 31937-2011, рис. 2.

Проведение мониторинга технического состояния зданий позволяет:

- осуществлять контроль технического состояния зданий и своевременно принимать меры по устранению негативных факторов, ведущих к ухудшению этого состояния;
- выявлять объекты, на которых произошли изменения напряженно-деформированного состояния несущих конструкций и для которых необходимо обследование их технического состояния;
- обеспечить безопасное функционирование зданий и сооружений за счет своевременного обнаружения на ранней стадии негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций и грунтов оснований, которые могут повлечь переход объектов в ограниченно-работоспособное или в аварийное состояние;

– отслеживать степени и скорости изменения технического состояния объекта и принимать, в случае необходимости, экстренные меры по предотвращению его обрушения.

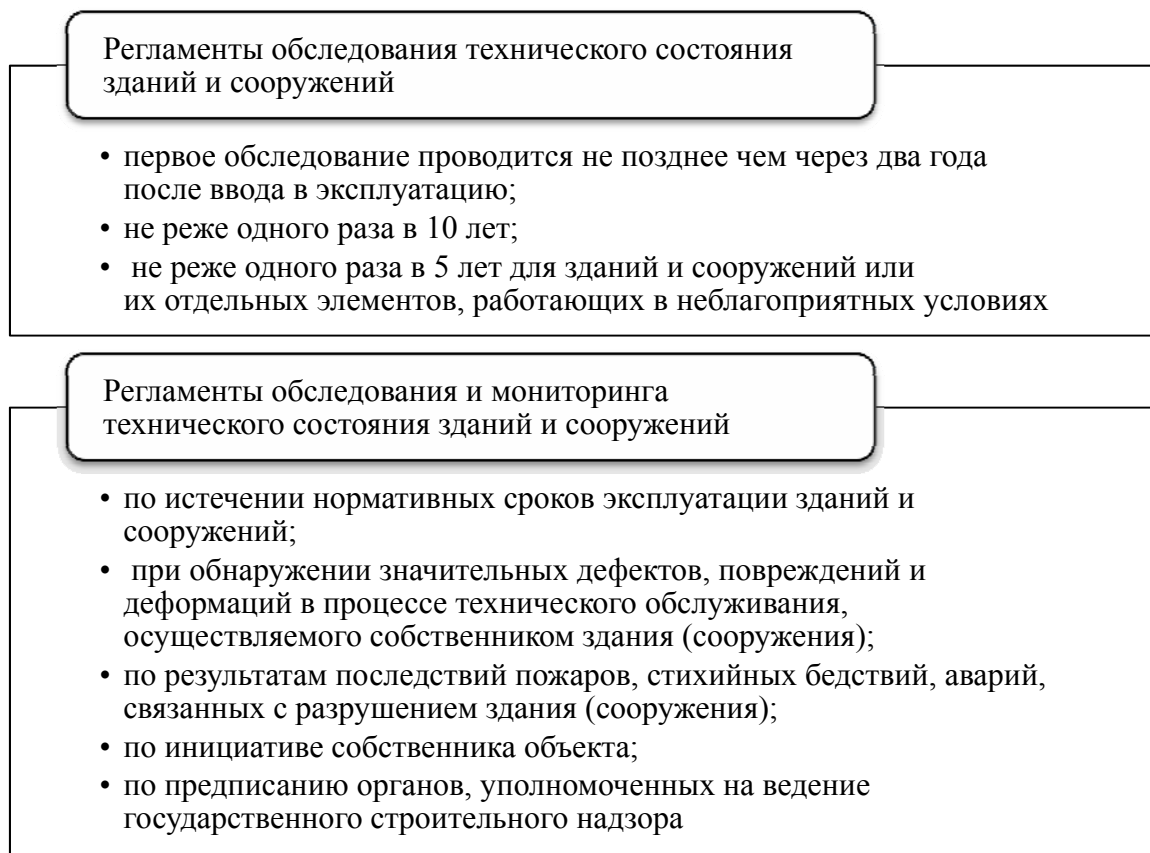


Рис. 2. Временной период проведения обследования и мониторинга технического состояния зданий и сооружений

Постоянный контроль не только обеспечит безопасность эксплуатации зданий, но и может способствовать увеличению срока его эксплуатации, а также влиять на кадастровую стоимость здания.

Специфические свойства аварийности зданий заключаются в том, что вероятность возникновения деформаций и аварий в первые 20 лет эксплуатации составляет 70% [12]. Это вызвано, прежде всего, возможными ошибками при проектировании и производстве работ. Для организации системы геодезического мониторинга зданий необходимо разработать методику выявления объектов, состояние которых является опасным. Предлагается в качестве одного из параметров оценки использовать значения года постройки здания и проектного срока эксплуатации. Подробно технологическая схема выполнения работ по созданию тематической карты прогнозного срока использования жилых зданий, на примере города Новосибирска, показана в работе [13, 14]. Результаты исследований могут быть применены для определения зданий на территории города

Новосибирска, состояние которых должно контролироваться с применением системы геодезического мониторинга.

Своевременное устранение выявленных при проведении мониторинга неблагоприятных изменений позволит не только избежать обрушения зданий, но и положительно повлияет на срок его службы, а, следовательно, и степень износа здания. Степень физического износа здания является одним из важнейших параметров в определении рыночной стоимости жилой недвижимости, а в результате – и в установлении ее кадастровой стоимости. Таким образом, проведение мониторинга технического состояния объектов недвижимости не только обеспечивает безопасность жизнедеятельности человека, но и обеспечит увеличение налогооблагаемой базы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисицкий Д. В., Кацко С. Ю. Пользовательский сегмент единого территориального геоинформационного пространства // Вестник СГУГиТ. – Вып. 4 (36). – 2016. – С. 89–99.
2. Кацко С. Ю. Разработка геоинформационного пространства для различных территориальных уровней // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : 6-я Междунар. конф. «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху "Больших данных"» : сб. материалов (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – С. 79–82.
3. Дубровский А. В., Малыгина О. И., Никитин В. Н. Разработка элементов системы оперативного реагирования при возникновении чрезвычайных ситуаций на территории города Новосибирска // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : 8-я Международная конференция «Раннее предупреждение и управление в кризисных ситуациях в эпоху "Больших данных"» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 19–24.
4. Riffat, S. Future cities and environmental sustainability [Электронный ресурс] / Saffa Riffat, Richard Powell, Devrim Aydin. – Springer Open. Future Cities and Environment20162:1 – Режим доступа: <https://futurecitiesenviro.springeropen.com/articles/10.1186/s40984-016-0014-2>.
5. Dubrovsky, A. Elements of Geoinformation Support of Natural Resource Management System [Text] / Alexey V. Dubrovsky, Ivan T. Antipov, Anatoly I. Kalenitsky and Alexander P. Guk // International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR), Vol-9, Issue-1, 2018, pp1185-1202.
6. Календарь обрушений жилых зданий на 2015 год [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://здание-инфо.рф>.
7. Состояние жилого фонда и причины деформаций зданий в городе Новосибирске [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sostoyanie-zhilogo-fonda-i-prichiny-deformatsiy-zdaniy-v-gorode-novosibirske>.
8. Уставич Г. А., Середович С. В., Сальников В. Г. Геодезический мониторинг строительства жилого высотного здания // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 93–99.
9. Технический регламент о безопасности зданий и сооружений. Федеральный закон от 30.12.2009 № 384-ФЗ [Текст] – Российская газета от 31.12.2009, № 5079 (255).
10. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200100941>.

11. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200034118>.
12. Казачек В. Г. Проблемы нормирования сроков службы зданий и сооружений [Текст] // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F, №6, 2010. – Минск : ПГУ, 2010. – С. 56–71.
13. Перспективное планирование развития городской территории с учетом проектного срока эксплуатации существующих зданий и сооружений / П. С. Батин, А. В. Дубровский, О. О. Твердовская, В. П. Шабалина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых «Молодежь. Наука. Технологии» : сб. материалов (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. – С. 120–125.
14. Дубровский, А. В. Перспективное районирование территории для цели рационального использования в хозяйственной деятельности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 34–39.

© А. В. Дубровский, О. О. Симонова, 2018

ПОСТРОЕНИЕ ЛОКАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ГЕОИДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Владимир Максимович Гридчин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (983)312-86-72, e-mail: wgridchin@mail.ru

Владимир Иванович Обиденко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)221-25-64, e-mail: ovi62@yandex.ru

Дмитрий Анатольевич Чалков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (963)517-73-45, e-mail: chalkovdina@gmail.com

Наталья Николаевна Кобелева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)938-15-06, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Приводятся результаты работы по разработке способов получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EIGEN6C-4 и коммерческого ПО для обработки ГНСС-измерений. Вычислен систематический сдвиг между аномалиями высот, определенными по глобальной модели геоида EIGEN6C-4 и аномалиями высот, вычисленными из комбинации результатов ГНСС-измерений и наземных измерений (геометрического нивелирования) на территорию региона.

Ключевые слова: глобальная модель геоида EIGEN6C-4, определение нормальных высот из ГНСС-измерений, аномалия высоты.

BUILDING OF THE LOCAL GEOID MODEL USING SATELLITE AND GROUND MEASUREMENTS

Vladimir M. Gridchin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)726-58-00, e-mail: elfriob@ya.ru

Vladimir I. Obidenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)002-7085, e-mail: ovi62@yandex.ru

Dmitriy A. Chalkov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (963)517-73-45, e-mail: chalkovdina@gmail.com

Natalia N. Kobeleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)938-15-06, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

The results of research on the development of methods for obtaining normal heights for the territory of the Novosibirsk Region using the global model of the geoid EIGEN6C-4 and software for processing GNSS measurements are presented. A systematic shift was determined between the normal altitudes calculated from the global geoid model EIGEN6C-4 and the heights determined from GNSS measurements and geometric leveling on the territory of the Novosibirsk Region.

Key words: Global Earth Gravitational Model EIGEN6C-4, definition of normal heights from GNSS-measurements, local model of geoids.

Результатом геодезических работ по определению положения объекта с использованием глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) являются его координаты в геоцентрической системе координат и высоты относительно общеземного эллипсоида. Однако для выполнения большинства геодезических работ необходимо знать высоты пунктов относительно принятой уровенной поверхности (нормальные высоты). Одним из наиболее быстрых и эффективных методов получения нормальных высот пунктов по итогам спутниковых измерений является использование глобальных моделей геоида.

Точность определения высот геоида над общеземным эллипсоидом WGS84 по этим моделям для данной территории определяется типом, подробностью и точностью данных, которые были использованы при расчете данной модели [1]. Среди множества существующих моделей геоида, наиболее подходящей для выполнения исследования является глобальная модель геоида EIGEN6C-4, сведения о которой приведены в Международном центре глобальных земных моделей (International Centre for Global Earth Models – ICGEM) Германия [2].

Новая глобальная модель геоида EIGEN6C-4, создана на основе наземных, воздушных гравиметрических данных, альтиметрических измерений и включает набор гармонических коэффициентов геопотенциала до 2190-й степени.

Целью настоящих исследований являлось разработка и исследование способа получения нормальных высот на территории Новосибирской области на основе относительных спутниковых геодезических измерений с использованием глобальной модели геоида EIGEN6C-4 и коммерческого программного обеспечения обработки ГНСС-измерений. Выбор модели EIGEN6C-4 обусловлен результатами исследований [3], согласно которому определено, что модель геопотенциала EIGEN6C-4 наилучшим образом согласуется с квазигеоидом, полученным из наземных данных.

В качестве исходных данных в работе были использованы каталоги координат и высот пунктов ГГС в СК ГСК-2011, на которых в 2016 году по программе СГС-1 выполнены ГНСС-измерения с целью определения региональных параметров связи государственной системы координат 2011 года (ГСК-2011) с государственной системой координат 1995 года (СК-95). Каталог состоит из 23 пунктов, равномерно расположенных по территории Новосибирской

области, для которых наряду с геодезическими координатами, полученными из ГНСС-измерений, известны и нормальные высоты (рис. 1).

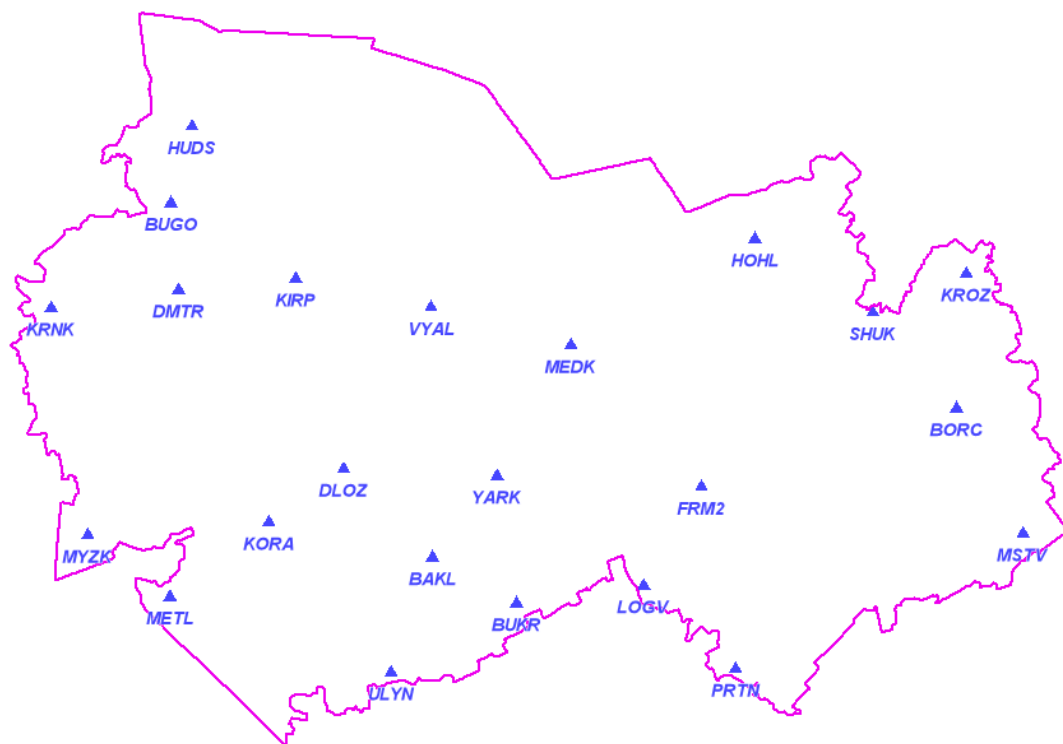


Рис. 1. Расположение пунктов ГГС на территории Новосибирской области

Для исследований модели геоида с сайта [2] (International Centre for Global Earth Models (ICGEM)) были получены исходные данные по модели EIGEN6C-4. Для формирования фрагмента из созданной для эллипсоида WGS-84 глобальной модели геоида EIGEN6C-4 с шагом 1' на регион, охватывающий территорию Новосибирской области ($52\text{--}58^\circ$ с. ш. / $74\text{--}86^\circ$ в. д.) была использована программа «SINTEGRV» созданная в лаборатории физической геодезии СГУГиТ. Эти данные были импортированы в коммерческое программное обеспечение для обработки ГНСС-измерений Leica Geo Office (ПО LGO). На рис. 2 показано положение геоида относительно эллипсоида WGS-84 на территории Новосибирской области по глобальной модели геоида EIGEN6C-4.

С использованием данной модели гравитационного поля EIGEN6C-4 в ПО LGO были вычислены нормальные высоты всех участвующих в проекте пунктов ГГС $H_{\text{EIGEN6C-4}}^y$. Измеренное значение высот $H_{\text{изм}}^y$ над квазигеоидом для этих же пунктов ГГС было определено из геометрического нивелирования. По разности между нормальными высотами, вычисленными по модели ($H_{\text{EIGEN6C-4}}^y$) и полученными из нивелирования ($H_{\text{изм}}^y$) на каждом пункте ГГС определен сдвиг глобальной модели геоида по высоте Δ . На основании сдвига на каждом пункте ГГС для Новосибирской области в целом вычислен систематический сдвиг по высоте $\Delta_{\text{ср}}$ (как среднее арифметическое значение из всех Δ) между

положением геоида, вычисленным по модели EIGEN6C-4, и квазигеоидом, задаваемым нормальными высотами. Результаты вычислений приведены в таблице.

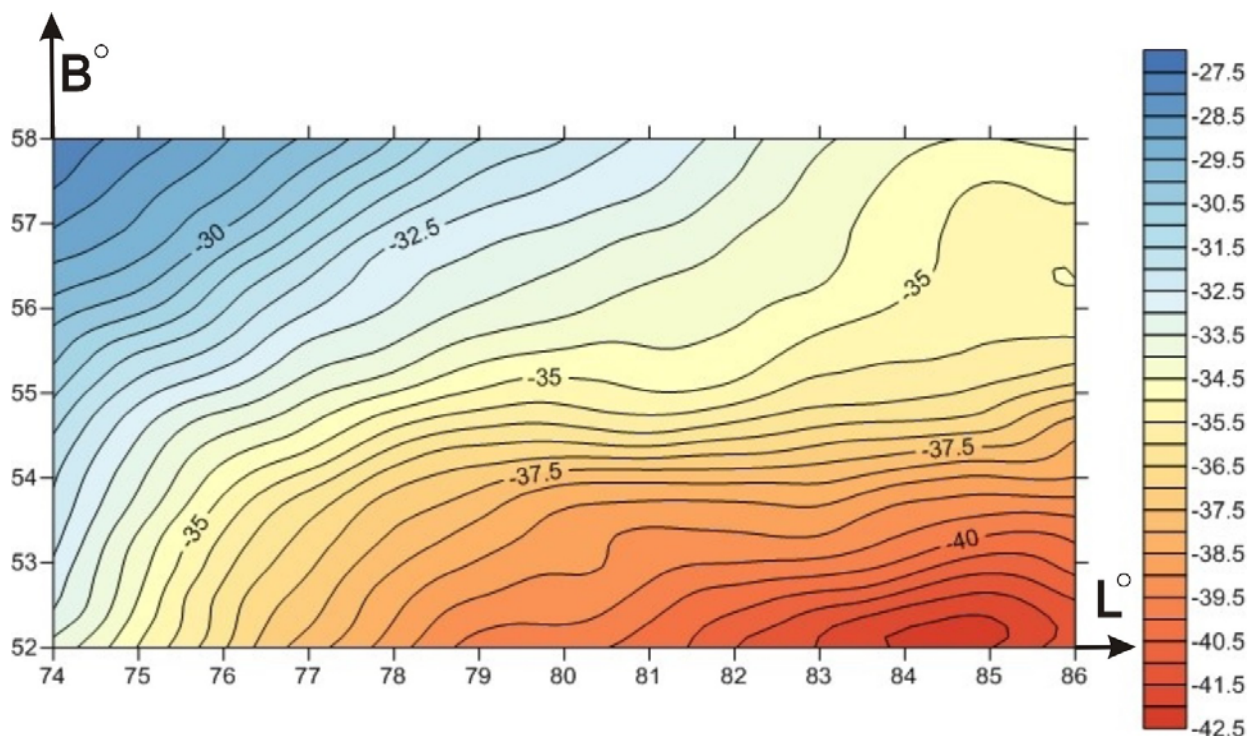


Рис. 2. Положение геоида на территории Новосибирской области по модели EIGEN6C-4

Разность нормальных высот, вычисленных по модели EIGEN6C-4.GEM, и определенных из геометрического нивелирования на контрольных пунктах СГС-1

Пункт ГГС	Сдвиг Δ (м)	Уклонение от среднего (м)
MSTV	0,293	-0,067
BORC	0,129	-0,230
LOGV	0,177	-0,182
FRM2	0,209	-0,150
KROZ	0,250	-0,109
BUKR	0,517	0,158
PRTN	0,453	0,094
MEDK	0,409	0,049
ULYN	0,414	0,055
HOHL	0,332	-0,027
VYAL	0,339	-0,020
BAKL	0,391	0,031
YARK	0,425	0,066
KIRP	0,182	-0,177
HUDS	0,337	-0,023

Пункт ГГС	Сдвиг Δ (м)	Уклонение от среднего (м)
METL	0,487	0,128
BUGO	0,424	0,065
DMTR	0,466	0,107
DLOZ	0,381	0,022
KORA	0,460	0,101
KRNK	0,383	0,024
SHUK	0,339	-0,021
MYZK	0,465	0,106

По итогам исследований, на основании данных на 23 пунктах ГГС, равномерно расположенных по территории Новосибирской области, систематический сдвиг по высоте аномалий высот, определяемых по глобальной модели гравитационного поля EIGEN6C-4, составил величину 0,329 м, что на 8 см меньше, чем результат, полученный в исследованиях [4], [5] по модели геоида EGM2008 (0,43 м). Среднеквадратическая погрешность вычисленной величины сдвига составила $\pm 0,106$ м, что грубее чем в вышеназванных исследованиях ($\pm 0,07$ м). Максимальная и минимальная величина сдвига Δ на отдельном пункте составила 0,465 м и 0,129 м соответственно.

Таким образом, при общем уменьшении величины систематического сдвига по высоте глобальной модели геоида EIGEN6C-4 по сравнению с аналогичной величиной систематического сдвига у глобальной модели геоида EGM2008, точность получения величины систематического сдвига по модели EIGEN6C-4 ниже.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сурнин Ю. В. Регулярный подход к оцениванию орбитальных, геодезических и гео-динамических параметров по результатам спутниковых измерений // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 6–14.
2. Global Gravity Field Models // International Centre for Global Earth Models (ICGEM) [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа: <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/> International Centre for Global Earth Models (ICGEM).
3. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли : монография / В. Ф. Канушин, А. П. Карпик, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, А. М. Косарева, Н. С. Косарев. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 270 с.
4. Гиенко Е. Г. Исследование точности получения нормальных высот и уклонений отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 // 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. 181–186.
5. Обиденко В. И., Оприлова О. А., Решетов А. П. Разработка методики получения нормальных высот на территории Новосибирской области с использованием глобальной модели геоида EGM2008 // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 1 (33). – С. 14–25.

© В. М. Гридчин, В. И. Обиденко, Д. А. Чалков, Н. Н. Кобелева, 2018

СРАВНЕНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ ДВИЖЕНИЯ АМУРСКОЙ ЛИТОСФЕРНОЙ ПЛИТЫ

Инна Евгеньевна Дорогова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Алина Игоревна Мелкова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: alpishka.melkova@yandex.ru

Выполнено сравнение нескольких моделей движения Амурской литосферной плиты по расхождениям между теоретическими (вычисленными по параметрам модели) и наблюдаемыми значениями скоростей смещений GPS-пунктов. Сравнение выполнено по трем наборам данных, включающим координаты и скорости смещения пунктов, полученные по GPS-измерениям в разные годы.

Ключевые слова: движения земной коры, Амурская плита, ГНСС-измерения, параметры движения литосферных плит, границы литосферных плит.

COMPARISON OF EXISTING MODELS OF AMUR LITHOSPHERIC PLATE MOVEMENT

Inna E. Dorogova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Alina I. Melkova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: alpishka.melkova@yandex.ru

The article provides quantitative comparison of several models of Amur lithospheric plate movement on the basis of difference between theoretical (calculated by the model parameters) and empirical values of GPS-point displacement velocities. The comparison is performed for three data sets including GPS-point displacements coordinates and velocities, the values of which were obtained from GPS-measurements in different years.

Key words: crust movements, Amur plate, GNSS-measurement, lithospheric plate displacement parameters, lithospheric border.

Представления о блоковой структуре земной коры являются динамичными и регулярно уточняются в процессе наблюдений за движениями земной коры, в том числе с помощью ГНСС-измерений [1-6]. Не существует единого мнения о количестве литосферных плит, слагающих земную кору, также постоянно ве-

дуются обсуждения границ литосферных плит. Амурская литосферная плита не входит в перечень плит некоторых глобальных моделей и насчитывает более десятка вариантов границ.

Основные из существующих вариантов границ и параметров вращения Амурской литосферной плиты собраны в статье [7]. В этой работе рассмотрены 10 вариантов границ плиты, различные варианты координат центра вращения и значений угловой скорости вращения Амурской плиты, собранные из русских и зарубежных источников.

Рассматриваемые модели движения Амурской литосферной плиты получены в разные годы, начиная с 1980-х, поэтому будем оценивать их согласованность с несколькими разновременными наборами геодезических данных.

Для сравнения существующих моделей движения плиты нами использовались три набора данных, содержащих координаты и смещения геодезических пунктов. Первый набор данных приведен в работе [8] и содержит значения смещений десяти пунктов, полученных в 1995-1996 гг. Второй набор данных приведен в работе [7] и содержит значения смещений восьми пунктов, полученных в 2000-2007 гг. Третий набор данных приведен в работе [9] и содержит значения смещений 14 пунктов, полученных авторами путем объединения, результатов измерений выполненных ими с опубликованными результатами измерений за последние годы (2012-2015 гг.).

В качестве основного критерия для сравнения нескольких моделей использовалось расхождение между теоретическими (вычисленными по параметрам модели) и наблюдаемыми значениями скоростей смещений пунктов. Общий алгоритм оценивания моделей приведен в работах [10, 11]. Оценивание и сравнение моделей в этих работах выполняется на основании суммы квадратов разностей, определенной для наблюдаемой и теоретической скоростей смещений пунктов

$$\Delta = \sum (V_i - V_i^0)^2, \quad (1)$$

где V_i^0 – ожидаемая скорость смещения пункта, определяемая по параметрам вращения плиты, на территории которой расположен i -ый пункт, мм/год;

V_i – наблюдаемая скорость смещения пункта, мм/год.

Значения наблюдаемых и теоретических (ожидаемых) скоростей могут быть определены по формулам

$$V_i = \sqrt{(X_i^{\text{II}} - X_i^{\text{I}})^2 + (Y_i^{\text{II}} - Y_i^{\text{I}})^2} / \Delta t; \quad (2)$$

$$V_i^0 = \omega_i S_{oi}, \quad (3)$$

где $X_i^{\text{I}}, Y_i^{\text{I}}$ – координаты пункта из первого цикла измерений, мм;

$X_i^{\text{II}}, Y_i^{\text{II}}$ – координаты пункта из второго цикла измерений, мм;

Δt – промежуток времени между циклами измерений, выраженный в годах;

S_{oi} – расстояние от пункта до центра вращения плиты, мм;

ω_i – угловая скорость вращения плиты, рад./год.

Поскольку принятые наборы данных включают разное число пунктов, в данной работе в качестве критерия для сравнения моделей вместо суммы квадратов отклонений наблюдаемых значений скоростей смещений пунктов от теоретических использовалось среднее из квадратов отклонений наблюдаемых скоростей смещений пунктов от их ожидаемых значений

$$\Delta' = \frac{\sum (V_i - V_i^0)^2}{n}, \quad (4)$$

где n – число пунктов.

В результате оценивания каждого из возможных наборов параметров (моделей) вращения Амурской плиты с помощью первого набора данных, содержащего 10 пунктов [8], были получены средние отклонения наблюдаемых смещений пунктов от теоретических, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение моделей по первому набору данных

Номер модели	Сумма квадратов отклонений наблюдаемых смещений пунктов от ожидаемых значений, $\cdot 10^3$, (мм/год) ²	Среднее из квадратов отклонений наблюдаемых смещений пунктов от ожидаемых значений, $\cdot 10^3$, (мм/год) ²
Модель 1 [7]	0,19924	0,01992
Модель 2 [8]	2,86778	0,28678
Модель 3 [12]	1,56452	0,15645
Модель 4 [13]	0,10172	0,01017
Модель 5 [14]	0,41916	0,04192
Модель 6 [15]	0,40891	0,04089
Модель 7 [16]	0,48294	0,04829
Модель 8 [17]	0,16644	0,01664
Модель 9 [18]	0,19679	0,01968
Модель 10 [19]	0,23825	0,02383
Модель 11 [20]	0,35887	0,03589
Модель 12 [21]	0,34505	0,03451
Модель 13 [22]	0,27842	0,02784
Модель 14 [23]	0,23361	0,02336

После выполнения вычислений для каждой возможной модели вращения Амурской плиты с помощью второго набора данных, содержащего координаты и смещения 8 пунктов [7], были получены средние отклонения наблюдаемых смещений пунктов от теоретических, приведенные в табл. 2.

Таблица 2

Сравнение моделей по второму набору данных

Номер модели	Сумма квадратов отклонений наблюдаемых смещений пунктов от ожидаемых значений, $\cdot 10^3$, (мм/год) ²	Среднее из квадратов отклонений наблюдаемых смещений пунктов от ожидаемых значений, $\cdot 10^3$, (мм/год) ²
Модель 1 [7]	0,03600	0,00450
Модель 2 [8]	1,40920	0,17615
Модель 3 [12]	0,75176	0,09397
Модель 4 [13]	0,12952	0,01619
Модель 5 [14]	0,01104	0,00138
Модель 6 [15]	0,00976	0,00122
Модель 7 [16]	0,00296	0,00037
Модель 8 [17]	0,05320	0,00665
Модель 9 [18]	0,04096	0,00512
Модель 10 [19]	0,06736	0,00842
Модель 11 [20]	0,01936	0,00242
Модель 12 [21]	0,01512	0,00189
Модель 13 [22]	0,01344	0,00168
Модель 14 [23]	0,03176	0,00397

В результате аналогичного оценивания каждой возможной модели вращения Амурской плиты с помощью третьего набора данных, содержащего результаты измерений последних лет [9], были получены средние отклонения наблюдаемых смещений пунктов от теоретических, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Сравнение моделей по третьему набору данных

Номер модели	Сумма квадратов отклонений наблюдаемых смещений пунктов от ожидаемых значений, $\cdot 10^3$, (мм/год) ²	Среднее из квадратов отклонений наблюдаемых смещений пунктов от ожидаемых значений, 10^3 , (мм/год) ²
Модель 1 [7]	8,46342	0,60453
Модель 2 [8]	18,20518	1,30037
Модель 3 [12]	5,41436	0,38674
Модель 4 [13]	6,05066	0,43219
Модель 5 [14]	8,61154	0,61511
Модель 6 [15]	8,66964	0,61926
Модель 7 [16]	9,29614	0,66401
Модель 8 [17]	8,20988	0,58642
Модель 9 [18]	8,59516	0,61394
Модель 10 [19]	6,77320	0,48380
Модель 11 [20]	8,04342	0,57453
Модель 12 [21]	8,10614	0,57901
Модель 13 [22]	8,51746	0,60839
Модель 14 [23]	8,70772	0,62198

Затем с учетом возможных вариантов границ Амурской литосферной плиты из исходных наборов поочередно и в различных комбинациях исключались пункты, расположенные между различными вариантами границ плиты. В большинстве случаев это практически не повлияло на показатели согласованности моделей с данными о смещениях пунктов, но в некоторых случаях исключение пунктов, расположенных у восточных границ плиты, привело к улучшению результатов.

Результаты, представленные в табл. 1, показывают, что наилучшим образом с первым набором данных согласуются модели, предложенные в статьях [13] и [17]. При исключении из вычислений нескольких пунктов хорошие результаты дают также модели из работ [7] и [18].

По результатам, приведенным в табл. 2, можно говорить о том, что наилучшим образом с наблюдаемыми смещениями пунктов второго набора согласуются модели, предложенные в статье [16], также хорошие результаты дают модели, полученные в работах [14] и [15]. Причем модель, предложенная в работе [16] лучше согласуется с исходными данными при исключении из них пунктов SUTA и KHAJ, как по отдельности (что согласуется с предположением, выдвинутым в работе [7], о том, что граница плиты проходит между этими пунктами), так и двух пунктов одновременно.

Результаты вычислений, представленные в табл. 3, показывают, что наиболее согласованной с наблюдаемыми смещениями пунктов третьего набора является модель, предложенная в статье [7], также хорошие результаты получены для моделей из работ [12] и [13].

Таким образом, при использовании для оценивания моделей различных наборов данных, содержащих координаты и смещения геодезических пунктов, хорошую согласованность показывали разные модели. Некоторые из моделей демонстрировали лучшую согласованность при исключении из исходных данных пунктов, расположенных на восточной границе Амурской плиты, в то время, как исключение пунктов, расположенных близи западной границы, практически не оказывало влияния на результаты.

Сравнение выполнялось по упрощенной схеме с целью выбора нескольких моделей, наилучшим образом согласующихся с результатами измерений или уменьшения количества моделей для дальнейших исследований. Выбор определенного набора параметров (модели) движения Амурской плиты на основе приведенных результатов выполнить затруднительно, но имеется возможность обозначить модели, которые не показали хорошей согласованности с рассматриваемыми наборами данных. К ним можно отнести модель 2 и модель 3, которые хорошо согласуются только с третьим набором данных, модели 11-14 показали средние показатели согласованности со всеми наборами данных. Модели, приведенные в работах [7] и [13] показали хорошую согласованность с несколькими наборами данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антонович К. М., Карпик А. П., Клепиков А. Н. Спутниковый мониторинг земной поверхности // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 1. – С. 4–10.
2. Басманов А. В. Геодезический мониторинг Байкальского геодинамического полигона Росреестра // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 48–54.
3. Дорогова И. Е. Выявление блоковой структуры области земной коры, испытывающей горизонтальные движения вращательного характера // Геодезия и картография. – 2013. – № 5. – С. 36–39.
4. Дорогова И. Е., Дербенев К. В. Глобальные вихревые движения блоков земной поверхности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 237–240.
5. Дорогова И. Е. Изучение горизонтальных движений земной коры вращательного характера по данным геодезических наблюдений // Геодезия и картография. – 2013. – № 4. – С. 37–40.
6. Мазуров Б. Т. Геодинамические системы (кинематические и деформационные модели блоковых движений) // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 5–12.
7. Ашурков С. В., Саньков В. А., Мирошниченко А. И. Кинематика Амурской плиты по данным GPS-геодезии // Геология и геофизика. – 2011. – № 2. – С. 299–311.
8. Heki K., Miyazaki S., Takahashi H., Kasahara M., Kimata F., Miura S., Vasilenko N.F., Ivashchenko A., An K.D. The Amurian Plate motion and current plate kinematics in eastern Asia // J. Geophys. Res. – 1999. – v. 104. – № B12. – P. 29147–29155.
9. Ашурков С. В., Саньков В. А., Серов М. А. Современные деформации Амурской плиты и окружающих структур по данным GPS измерений // Геология и геофизика. – 2016. – № 11. – С. 2059–2070.
10. Дорогова И. Е. Применение методов кластерного анализа для исследования блоковой структуры земной коры // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 180–185.
11. Дорогова И. Е. Исследование блоковой структуры земной поверхности по результатам повторных геодезических наблюдений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 147–151.
12. Парфенов Л.М., Козьмин Б.М., Имаев В.С., Савостин Л.А. Тектоническая природа Олекмо-Становой сейсмической зоны // Геотектоника. – 1987. – № 6. – С. 94–108.
13. Sella G.F., Dixon T.H., Mao A. REVEL: a model for recent plate velocities from space geodesy // J. Geophys. Res. – 2002. – V. 107. – № B4, 2081, doi:10.1029/2000JB000033
14. Kreemer C., Holt W.E., Haines A.J. An integrated global model of present-day plate motions and plate boundary deformation // Geophys. J. Int. – 2003. – V. 154. – № 1. – P. 8–34.
15. Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., Kolomiets A.G., Bormotov V.A., Gerasimov G.N., Tatakashi H., Kasahara M., Kato T. About current geodynamic activity of the Central Sikhote-Alinsky fault and southern part of the Russian Far East as a whole according to GPS observations // The 8th Workshop of Asia-Pacific space geodynamics program: Abstract book. Novosibirsk, Academic Publishing House «Geo». – 2009. – P. 16–17.
16. Wei D., Seno T. Determination of the Amurian plate motion // Mantle dynamics and plate interaction in East Asia / Eds. M. Flower, S. Chung, C. Lo, T. Lee. – 1998. – P. 337–346.

17. Hsu H., Park P.-H., Kato T., Xiong X. Study on crustal movement of the Eastern Asia by GPS technique // Proceedings of the APSG symposium: space geodesy and dynamic planet / Eds. Cheng Hyang, Ruixian Zhou. Korea, APSG. – 2006. – P. 182–188.
18. Zonenshain L.P., Savostin L.A. Geodynamics of the Baikal rift zone and plate tectonics of Asia // Tectonophysics. – 1981. – V. 76. – P. 1–45.
19. Prawirodirdjo L., Bock Y. Instantaneous global plate motion model from 12 years of continuous GPS observations // J. Geophys. Res. – 2004. – V. 109. – № B8, B08405, doi:10.1029/2003JB002944.
20. Jin Sh., Park P.-H., Zhu W. Micro-plate tectonics and kinematics in Northeast Asia inferred from a dense set of GPS observations // Earth Planet. Sci. Lett. – 2007. – V. 257. – P. 486–496.
21. Apel E.V., Burgmann R., Steblov G., Vasilenko N., King R., Prytkov A. Independent active microplate tectonics of northeast Asia from GPS velocities and block modeling // Geophys. Res. Lett. – 2006. – V. 33. – № 11, L11303, doi:10.1029/2006GL026077.
22. Calais E., Dong L., Wang M., Shen Z., Vergnolle M. Continental deformation in Asia from a combined GPS solution // Geophys. Res. Lett. – 2006. – V. 33. – № 24, L24319, doi:10.1029/2006GL028433.
23. Тимофеев В.Ю., Горнов П.Ю., Ардюков Д.Г., Малышев Ю.Ф., Бойко Е.В. Результаты анализа данных GPS измерений (2003-2006 гг.) на Дальнем Востоке по Сихотэ-Алинской сети // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27. – № 4. – С. 39–49.

© И. Е. Дорогова, А. И. Мелкова, 2018

ИЗУЧЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РАЙОНЕ ДЕЙСТВУЮЩЕГО ВУЛКАНА

Инна Евгеньевна Дорогова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Артем Суренович Саркисян

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, магистрант кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: michael.lee201071@gmail.com

По результатам многолетних геодезических измерений выполнено моделирование зависимости вертикальных смещений земной коры вдоль профиля нивелирования от их удаленности от вершины вулкана. Рассмотрены модели, основанные на двух видах функциональных зависимостей, выполнен выбор вида зависимости и введено ограничение на значения расстояний, для которых рекомендуется применять предложенные модели.

Ключевые слова: движения земной коры, действующий вулкан, нивелирование, повторные геодезические измерения, геодинамика.

STUDYING AND MODELLING OF VERTICAL CRUST MOVEMENTS IN THE AREA OF ACTIVE VOLCANO

Inna E. Dorogova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: inna_dorogova@mail.ru

Artem S. Sarkisjan

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: michael.lee201071@gmail.com

The article shows the modelling of relation between vertical crust movements along the levelling profile and their remoteness from volcanic vent. The modelling was based on long-term geodetic measurements. The examined models were based on 2 types of functional relations. The models provide the choice of relation types and distance limits for which these models are recommended.

Key words: crust movement, active volcano, levelling, repeated geodetic measurements, geodynamics.

Все геодинамические процессы, в том числе вулканического характера, сопровождаются движениями земной коры, которые могут быть зафиксированы и количественно определены с помощью геодезических измерений [1-7].

На территории России тема вулканизма наиболее актуальна для Камчатского региона. Потенциально действующие или «спящие» вулканы имеются и в

других районах страны, но на Камчатке вулканы наиболее активны, там расположено более 60 действующих вулканов [8-12].

Движения земной коры по нескольким профилям около вулкана Ключевской наблюдались с помощью нивелирования второго класса, их результаты представлены в работе [12].

Измерения выполнялись по трем профилям: двум радиальным, один из которых уходит на северо-восток, а второй – на юго-восток от вершины вулкана, и одному поперечному.

Самый продолжительный ряд наблюдений (с 1979 по 2014 гг.) был выполнен по первому радиальному профилю. Измерения вдоль второго радиального профиля впервые выполнили в 1985 г., когда вулкан Ключевской был неактивным, последние измерения по этому профилю были выполнены в 1990 г. Измерения по поперечному профилю выполнялись с 1982 по 1990 гг.

Из всех циклов измерений по первому радиальному профилю только несколько выполнялись на всех пунктах профиля, данные по большинству циклов содержат результаты измерений только для участка профиля от рп.6902 до рп.6244. В целом для первого радиального профиля характерно поднятие, для второго профиля – проседание земной поверхности с увеличением значений смещений по мере приближения к вулкану [12].

На рис. 1 представлены графики вертикальных смещений пунктов первого радиального профиля для нескольких лет измерений. По горизонтальной оси отложены расстояния от вершины вулкана до пункта, по вертикальной – величина смещения.

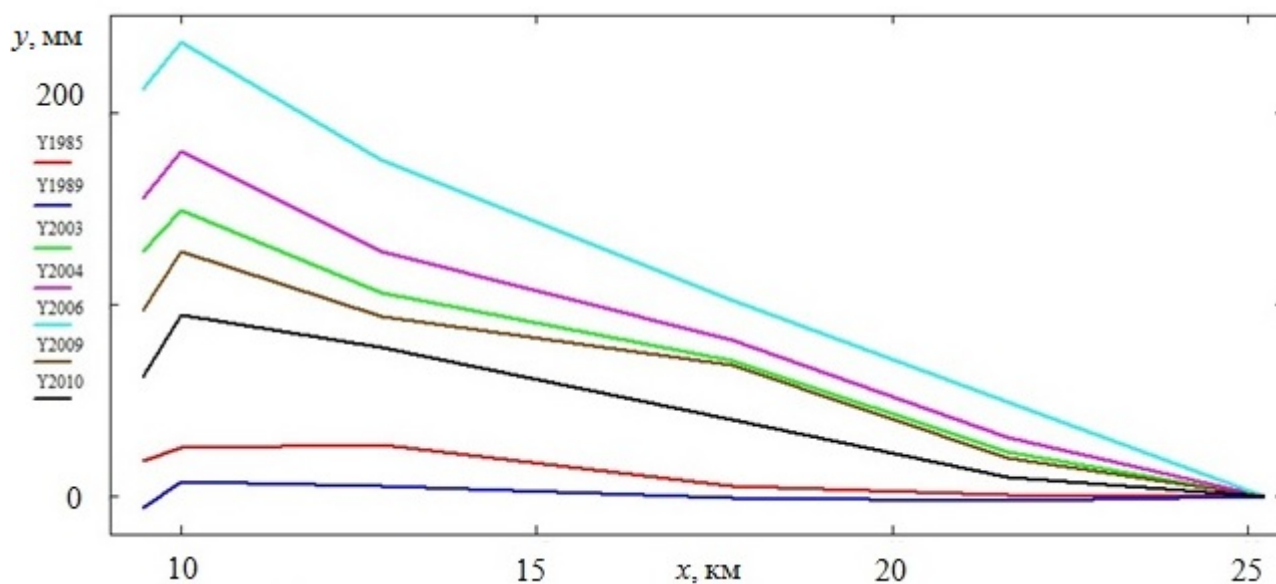


Рис. 1. Графики вертикальных смещений пунктов первого радиального профиля за разные годы

Эти графики показывают определенную закономерность в изменении смещений с расстоянием, которая может быть описана в виде функциональной зависимости.

На наш взгляд, наиболее подходящими функциональными зависимостями являются гиперболическая и логарифмическая:

$$y = \frac{a}{x} + b; \quad (1)$$

$$y = a \cdot \ln(x) + b, \quad (2)$$

где x – расстояние от вершины вулкана до пункта, км;

y – значение смещения пункта, мм.

В первом случае график визуально напоминает правую ветку гиперболы (рис. 2), во втором случае – график логарифмической зависимости приобретает нужный вид при отрицательных значениях коэффициента a . В дальнейшем выполнялось построение моделей, основанных на этих видах зависимостей.

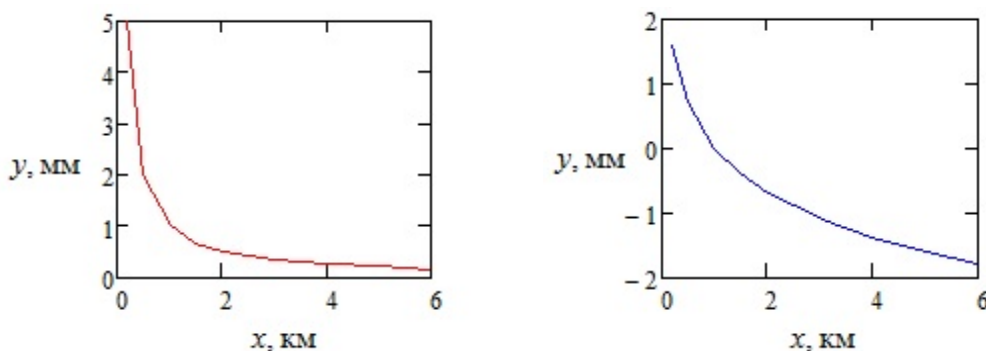


Рис. 2. Графики выбранных видов функциональных зависимостей

Во многих математических программных пакетах имеются встроенные операторы для определения коэффициентов линейной регрессии. В частности в MathCAD – это оператор `line`, который находит коэффициенты функции $y=ax+b$.

Коэффициенты функций, выбранных для построения моделей, также могут быть получены с помощью этого оператора, если в качестве аргумента использовать не x , а $1/x$ и рассматривать первую функцию как линейную, во втором случае аргументом является $\ln(x)$.

Тогда коэффициенты первой и второй функциональных зависимостей можно найти с помощью выражений:

$$R := \text{line}\left(\frac{1}{x}, y\right) \quad (3)$$

$$R := \text{line}(\ln(x), y) \quad (4)$$

Ниже представлены примеры графиков вертикальных смещений пунктов по первому радиальному профилю, построенные по результатам геодезических измерений и путем вычисления по первой и второй функциональным зависимостям (рис. 3). На графике сплошной линией обозначены геодезические измерения, линией с частым пунктиром обозначены вычисления по первой функциональной зависимости, линией с менее частым пунктиром – вычисления по второй функциональной зависимости.

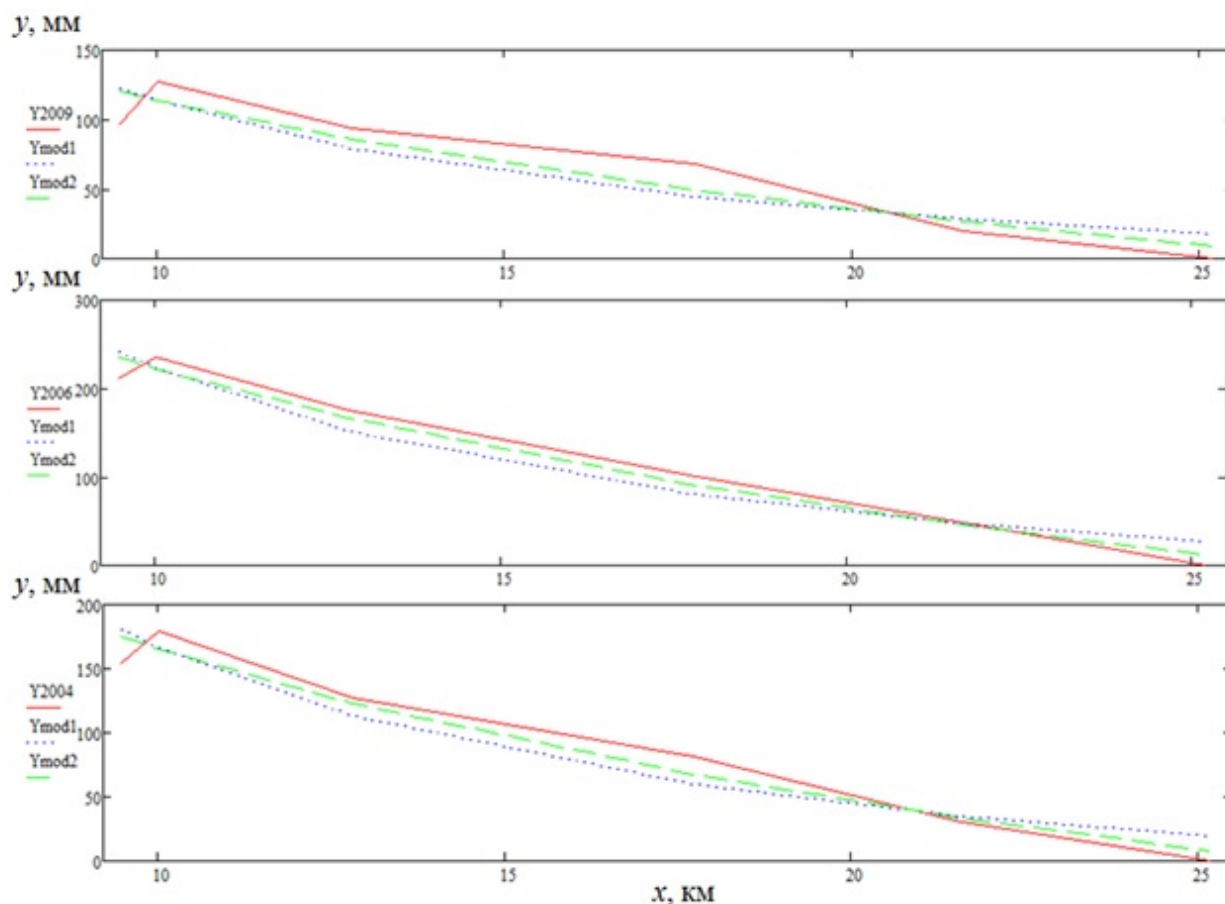


Рис. 3. Примеры графиков вертикальных смещений пунктов по первому радиальному профилю

Визуально можно заметить, что линия, изображенная менее частым пунктиром, подходит к сплошной линии значительно ближе, чем линия, изображенная более частым пунктиром, что говорит о том, что вторая модель лучше согласуется с результатами измерений.

Диапазон изменения коэффициентов моделей для разных лет получился значительным, в табл. 1 приведен пример для нескольких лет. Наибольшие коэффициенты соответствуют годам максимальных смещений, наименьшие – соответствуют годам, когда смещения имели минимальные значения.

Таблица 1

Коэффициенты моделей				
Год	Модель 1		Модель 2	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2010	1322,486	-36,477	-82,167	279,479
2009	1763,848	-40,641	-110,303	382,793
2006	3750,101	-103,792	-230,252	784,34
2004	2843,391	-81,008	-174,584	592,396
2003	2329,987	-65,793	-143,530	487,358
1989	31,500	-1,399	-2,494	7,653
1985	398,181	-13,896	-24,098	79,408

Затем было проведено количественное сравнение моделей. Для этого определены суммы квадратов отклонений вертикальных смещений пунктов, полученных из геодезических измерений и путем вычисления по первой и второй моделям (табл. 2). Модели второго типа в целом оказались примерно в 2 раза точнее моделей первого типа.

Таблица 2

Сравнение двух типов моделей		
Год измерения	Δ_1	Δ_2
2010	1176,731	817,967
2009	1985,624	1218,911
2006	2907,443	1063,160
2004	1840,644	779,699
2003	1669,306	846,660
1989	162,963	160,804
1985	64,042	57,165

В табл. 2 Δ_1 , Δ_2 – суммы квадратов отклонений вертикальных смещений пунктов, полученных из геодезических измерений и путем вычисления по модели 1 и модели 2, соответственно.

Кроме того была выполнена оценка точности моделей. В табл. 3 приведены примеры полученных значений расхождений между смоделированными и наблюдаемыми смещениями для нескольких лет и нескольких пунктов первого профиля.

Поскольку характер зависимости смещений от расстояний для пунктов, расположенных достаточно близко к вулкану, значительно отличается от основной группы пунктов, а пункты, расположенные на значительном удалении от вулкана (более 27 км) практически не испытывают смещений, для уменьшения погрешностей моделирования смещений введено ограничение на значения расстояний, для которых рекомендуется применять модели.

Таблица 3

Оценка двух типов моделей

Пункт	Отклонение модели 1 от данных измерений, мм			Отклонение модели 2 от данных измерений, мм		
	2009 г.	2006 г.	2004 г.	2009 г.	2006 г.	2004 г.
Рп.1804	-13,1	-10,9	-10,5	-12,8	-12,7	-11,4
Рп.5985	-15,8	-28,8	-18,7	-8,7	-14,2	-7,6
Рп.5374	-21,3	-18,5	-20,5	-16,5	-7,6	-12,4
Рп.6502	3,9	1,6	7,8	2,6	0,5	6,9
Рп.6244	20,4	25,9	17,4	11,7	9,8	5,1

Оптимальный диапазон расстояний для использования моделей принят от 11 до 27 км от вершины вулкана. Данные, относящиеся к пунктам, не попадающим в заданный диапазон, были исключены из исходных значений, после чего вновь определялись коэффициенты функциональных зависимостей двух типов. Были получены новые значения коэффициентов моделей. В табл. 4 приведены значения новых коэффициентов двух функциональных зависимостей.

Таблица 4

Обновленные коэффициенты моделей

Год	Модель 1		Модель 2	
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i>	<i>b</i>
2010	1784,241	-57,691	-103,426	346,203
2009	2281,569	-64,427	-134,043	457,303
2006	4360,372	-131,830	-254,004	858,886
2004	3330,889	-103,405	-193,843	652,843
2003	2793,347	-87,082	-162,754	547,690
1989	205,361	-9,387	-11,463	35,802
1985	501,698	-18,652	-28,408	92,936

Снова было произведено количественное сравнение моделей, построенных по первой и второй функциональным зависимостям, результаты которого приведены в табл. 5. Модели второго типа вновь оказались примерно в 2 раза точнее моделей первого типа.

Для оценки новых моделей и ответа на вопрос о том, улучшилась ли сходимость моделей с результатами измерений, вновь были определены значения отклонений смоделированных смещений от наблюдаемых значений. В табл. 6 приведен пример полученных расхождений для трех лет и нескольких пунктов первого профиля. Сравнив приведенные значения с теми, что находятся в табл. 3, можно сделать вывод об улучшении сходимости модельных значений с наблюдаемыми смещениями.

Таблица 5

Сравнение обновленных моделей двух типов

Год измерения	Δ_1	Δ_2
2010	138,371	27,048
2009	680,308	232,627
2006	1093,719	75,906
2004	683,278	130,577
2003	623,715	200,007
1989	15,756	20,036
1985	11,856	24,652

Таблица 6

Оценка обновленных моделей двух типов

Пункт	Отклонение модели 1 от данных измерений, мм			Отклонение модели 2 от данных измерений, мм		
	2009 г.	2006 г.	2004 г.	2009 г.	2006 г.	2004 г.
Рп.1804	8,5	14,6	9,9	3,9	4,6	2,2
Рп.5985	-5,1	-16,1	-8,6	1,5	-4,0	0,7
Рп.5374	-19,2	-16,0	-18,5	-13,1	-4,2	-9,5
Рп.6502	1,3	-1,5	5,3	1,3	-0,9	5,8
Рп.6244	14,5	19,1	11,9	6,4	4,5	0,8

Таким образом, в результате выполненных исследований осуществлен поиск вида функциональной зависимости значений вертикальных смещений пунктов от их удаленности от вулкана; по двум видам функциональных зависимостей построены модели для каждого профиля на каждый цикл измерений; выполнено сравнение и оценка полученных моделей, в результате которых было отдано предпочтение моделям, построенным по второму типу функциональной зависимости; введено ограничение на значения расстояний, для которых рекомендуется применять предложенные модели (11-27 км от вершины вулкана).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дорогова И. Е. Изучение деформаций земной коры по результатам геодезических данных с использованием метода конечных элементов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 190–193.
2. Дорогова И. Е. Интерпретация наблюдений за движениями земной коры на техногенном полигоне // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 191–195.
3. Мазуров Б. Т. Геодинамические системы (кинематические и деформационные модели блоковых движений) // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 3 (35). – С. 5–12.
4. Мазуров Б. Т., Панкрушин В. К., Середович В. А. Математическое моделирование и идентификация напряженно-деформированного состояния геодинамических систем в аспекте прогноза природных и техногенных катастроф // Вестник СГГА. – 2004. – Вып. 9. – С. 30–35.

5. Кобелева Н. Н., Дорогова И. Е. Изучение горизонтальных и вертикальных движений земной коры по результатам GPS-наблюдений и нивелирования I класса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 186–189.
6. Колмогоров В. Г., Дударев В. И. Состояние проблемы комплексного изучения современной геодинамики Сибири в конце двадцатого столетия // Вестник СГГА. – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 3–12.
7. Колмогоров В. Г. К вопросу о возможности изучения деформационного состояния земной поверхности по результатам повторного высокоточного нивелирования // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 9–14.
8. Магуськин М. А., Магуськин В. М. Вертикальные смещения земной поверхности в южной зоне Толбачинских шлаковых конусов после окончания большого трещинного Толбачинского извержения 1975 – 1976 гг. и их возможные причины (Камчатка) // Вулканология и сейсмология. – 2017. – № 5. – С. 62–74.
9. Мазуров Б. Т. Аппроксимация гравитационного влияния локального рельефа с использованием некоторых аналитических моделей и метода конечных элементов // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 5–15.
10. Мазуров Б. Т. Моделирование и идентификация геодинамического объекта в вулканической области по комплексным нивелирным и гравиметрическим наблюдениям // Вестник СГГА. – 2006. – № 11. – С. 84–94.
11. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка и интерпретация нивелирных и гравиметрических наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана. // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2007. – № 4. – С. 11–21.
12. Магуськин М. А., Демянчук Ю. В., Титков Н. Н., Магуськин К. М. Движения земной поверхности в зоне трещинных извержений на протяженном южном склоне вулкана Плоский Толбачик и в окрестностях вулкана Ключевской (Камчатка) // Вулканизм и связанные с ним процессы. Ежегод. науч. конф. 2015. – Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2015 – С. 176–198.

© И. Е. Дорогова, А. С. Саркисян, 2018

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ КОНТРОЛИРУЕМЫХ ТОЧЕК ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПОСЛЕ АВАРИИ 2009 ГОДА

Наталья Николаевна Кобелева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, ст. преподаватель кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)938-15-06, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Валерий Степанович Хорошилов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: Khoroshilovvs@mail.ru

В статье приводятся результаты построения математических моделей динамического типа, представленных рекуррентными уравнениями 1-го и 2-го порядков, для описания деформационного процесса перемещений тела плотины Саяно-Шушенской ГЭС. Конструирование математических моделей осуществлено путем декорреляции основных воздействующих факторов в результате их последовательного ввода в модель. Представлены результаты прогнозирования перемещений контролируемых точек сооружения при различных условиях работы плотины на 2009-2011 годы ее эксплуатации.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, прогнозная математическая модель, геодезические данные, прогнозирование, динамические модели, рекуррентные уравнения 1-го и 2-го порядков, деформационный процесс.

RESULTS OF EMPIRICAL RESEARCH OF REFERENCE POINTS MOVEMENT FORECAST OF THE SAYANO-SHUSHENSKAYA WATER POWER STATION DAM AFTER ACCIDENT IN 2009

Natalia N. Kobeleva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)938-15-06, e-mail: n.n.kobeleva@mail.ru

Valery S. Khoroshilov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: khoroshilovvs@mail.ru

The article provides the results of dynamic mathematical models, represented by recurrent equations of 1-st and 2-nd order, for describing deformation process of dam body movement of Sayano-Shushenskaya WPS. Mathematical models were created by means of decorrelation of main affecting factors as the result of their consequent input in model. The article presents the results of forecasting reference points movements at different working conditions of dam for the exploitation period from 2009 to 2011.

Key words: hydrolic structures, forecast mathematical model, geodetic data, forecast, dynamic models, recurrent equations of 1-st and 2-nd order, deformation process.

К настоящему времени в Российской Федерации эксплуатируются уже в течение длительного времени достаточно большое количество высоконапорных гидротехнических сооружений. В силу данного обстоятельства повышается вероятность возникновения и опасного развития различных, часто негативных, процессов, которые не принимались во внимание при проектировании данных сооружений; в связи с чем, к их эксплуатационной надежности на данном этапе предъявляются повышенные требования. В соответствии с [1] оценка эксплуатационного состояния сооружения и его техническая безопасность должны выполняться путем сопоставления полученных количественных и качественных диагностических показателей с их критериальными значениями, назначенными на стадии проектирования сооружения и откорректированными на стадии его эксплуатации. С этой целью должны быть разработаны прогнозные математические модели поведения сооружения, которые рекомендуется откалибровать по данным натурных наблюдений [1-6].

Вследствие данного обстоятельства разработка и усовершенствование методики построения прогнозных математических моделей, применяемых для всестороннего анализа изучаемых деформационных процессов, протекающих в сооружениях, путем обобщения закономерностей их развития является актуальной.

Ниже приведены построенные прогнозные математические модели динамического типа, представленные рекуррентными уравнениями 1-го и 2-го порядков для изучения процесса перемещения контролируемых точек гребня плотины, происходящего под воздействием различных основных воздействующих факторов по методике, представленной в работе [7]. Общее количество построенных прогнозных математических моделей различных типов составило более 20. Наибольший интерес, с точки зрения прогнозирования, представляют следующие прогнозные модели.

Модель 2-го типа (1-го порядка) вида $x(U_k; T_{k.низ}; x_0; D15; Z0)$:

$$\begin{aligned} x_k &= 0,184\ 3x_{k-1} + 1,785\ 8U_k - 1,377\ 5T_k - 839,408 + 0,827\ 9\omega_k, \\ \omega_k &= 1,496\ 9\omega_{k-1} - 0,745\ 2\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (1)$$

Модель 2-го типа (1-го порядка) вида $x(U_k; T_{k.низ}; x_0; D15; Z2, 0)$:

$$\begin{aligned} x_k &= 0,321\ 8x_{k-1} + 0,592\ 7U_k + 1,630\ 4T_k - 249,804 + 1,719\ 2\omega_k, \\ \omega_k &= 0,868\ 2\omega_{k-1} - 0,199\ 2\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (2)$$

Модель 2-го типа (2-го порядка) вида $x(U_k; T_{k.низ}; x_0; D15; Z0)$:

$$\begin{aligned} x_k &= 0,1117x_{k-1} + 0,0652x_{k-2} + 1,8371U_k - 1,3854T_{k.низ} - 852,041 + 0,7576\omega_k, \\ \omega_k &= 1,5204\omega_{k-1} - 0,7637\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (3)$$

Модель 3-го типа (1-го порядка) $\Delta x(\Delta U_k; T_{k.низ}; T_{k.верх}; x_0; U_0; D15; Z0)$:

$$\begin{aligned} U_{k/k-1} &= 0,8612U_{k-1} + 0,6062T_{k.низ} - 0,0748T_{k.верх} + 68,848, \\ x_{k/k-1} &= 0,6555x_{k-1} + 1,0275T_{k.низ} + 13,2756T_{k.верх} - 31,219, \\ \Delta x_k &= 0,3803\Delta x_{k-1} + 1,0213\Delta U_k + 4,205 + 1,8630\omega_k, \\ \omega_k &= 0,4404\omega_{k-1} - 0,1255\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (4)$$

Модель 3-го типа (1-го порядка) $\Delta x(\Delta U_k; T_{k.верх}; x_0; U_0; D15; Z0)$:

$$\begin{aligned} U_k &= 0,7764U_{k-1} + 3,0060T_{k.верх} + 100,260, \\ x_k &= 0,5322x_{k-1} + 20,7204T_{k.верх} - 45,273, \\ \Delta x_k &= 0,3808\Delta x_{k-1} + 1,0372\Delta U_k - 2,957 + 1,9418\omega_k, \\ \omega_k &= 0,5736\omega_{k-1} - 0,2255\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (5)$$

Исходным моментом для выполненных исследований явилось то обстоятельство, что в качестве решения прогнозной модели всегда использовались две первые моментные функции: условное математическое ожидание и условная автокорреляционная функция, теоретическое обоснование для применения которых предложил д.т.н., профессор Гуляев Юрий Павлович.

Выбор рекуррентных уравнений 1-го и 2-го порядков для математического прогнозирования был продиктован тем, что представленный тип уравнений позволяет последовательно и наглядно, шаг за шагом, начиная с последних значений перемещений и остаточных ошибок на периоде основания прогноза, вычислять прогнозные значения контролируемых точек. В тоже время данный тип уравнений достаточно корректно учитывает инерционный характер взаимодействия сооружения с внешней средой, реагируя на основные воздействующие факторы.

Период основания прогноза, на котором строились математические модели, составил: с 30 апреля 2007 по 15 мая 2008 гг. Выбор данного временного интервала обоснован тем, что он входит в период, когда плотина СШ ГЭС сохраняла монолитность после ремонтных работ (1995-2003 гг.) и при этом воспринимала расчетный напор [2, 8-11]; а также тем, что выбранный временной период является предшествующим аварии 19 сентября 2009 г.

Для выполнения всех численных расчетов: коэффициентов системы нормальных уравнений и автокорреляционной функции, вычисления остаточных ошибок и прогнозных значений радиальных перемещений контрольных баз-

вых точек тела плотины (секция 33) – использовались возможности многофункциональной программы Microsoft Excel.

На рис. 1 представлен фрагмент вычисления прогнозных значений радиальных перемещений, полученных с помощью модели 1-го порядка при различных значениях транспортного запаздывания (0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 месяцев).

ПРИМЕР Вычисление прогнозов для 2008-2009 годов [Режим совместимости] - Microsoft Excel

I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
	62,68	500,14	2,75		1,52		0,67		-0,45		-1,48				
3,0890	66,1	500,24	4,16	64,996	2,75	66,939	1,52	68,633	0,67	69,804	-0,45	71,347		5,5851	май15-08
0,4774	75,35	507,03	6,34	69,612	4,39	72,299	2,75	74,558	1,52	76,252	0,67	77,423		-1,9173	май30-08
-2,9449	91,83	516,61	9,48	82,256	6,34	86,581	4,39	89,267	2,75	91,526	1,52	93,221		-5,7542	июн15-08
-3,4087	101,83	520,48	10,69	91,199	9,48	92,866	6,34	97,191	4,39	99,877	2,75	102,136		-3,5124	июн30-08
-6,8576	102,68	522,58	12,45	87,864	10,69	90,289	9,48	91,956	6,34	96,281	4,39	98,967		-9,3309	июл15-08
-4,4277	107,32	525,78	13,8	98,782	12,45	100,642	10,69	103,066	9,48	104,733	6,34	109,058		-1,8329	июл30-08
-2,0321	114,27	527,27	14,41	103,659	13,8	104,499	12,45	106,359	10,69	108,783	9,48	110,450		0,3113	авг15-08
-1,2979	120	528,44	14,33	106,228	14,41	106,118	13,8	106,958	12,45	108,818	10,69	111,242		-0,5176	авг30-08
-1,3887	121,95	530,31	13,69	110,126	14,33	109,244	14,41	109,134	13,8	109,974	12,45	111,834		-1,3426	сен15-08
2,5729	127,8	534,37	12,61	125,939	13,69	124,452	14,33	123,570	14,41	123,460	13,8	124,300		5,9019	сен30-08
3,7377	131,95	535,67	11,37	129,525	12,61	127,817	13,69	126,330	14,33	125,448	14,41	125,338		4,4421	окт15-08
3,9436	134,39	536,56	10,2	132,616	11,01	131,500	12,61	129,296	13,69	127,809	14,33	126,927		3,7659	окт30-08
4,3524	135,48	536,17	9,23	133,915	10,2	132,579	11,01	131,463	12,61	129,259	13,69	127,772		4,3198	ноя15-08
3,4718	133,65	535,2	8	131,917	9,14	130,347	10,2	128,887	11,01	127,771	12,61	125,567		2,3596	ноя30-08
2,9261	131,7	533,28	6,49	130,049	7,61	128,506	9,14	126,398	10,2	124,938	11,01	123,822		2,1657	дек15-08
1,2854	126,22	530,58	4,76	124,551	6,49	122,168	7,61	120,625	9,14	118,517	10,2	117,057		-0,3097	дек30-08
0,2752	121,95	527,34	2,05	121,421	3,95	118,804	6,49	115,305	7,61	113,762	9,14	111,655		-0,6594	янв15-09
-1,8072	115,57	524,14	0,74	113,971	2,05	112,167	3,95	109,549	6,49	106,050	7,61	104,508		-3,5153	янв30-09
-2,6056	110,37	520,5	-1,1	109,404	0,74	106,869	2,05	105,065	3,95	102,447	6,49	98,949		-3,0843	фев15-09
-4,5855	101,86	518,83	-1,3	102,760	0,15	100,762	0,74	99,950	2,05	98,145	3,95	95,528		-5,9456	фев30-09
-2,6207	91,48	512,3	-0,5	92,500	-1,3	93,602	0,15	91,605	0,74	90,792	2,05	88,987		-0,6109	мар15-09
-0,5158	80,95	507,11	-0,63	83,157	-1,6	84,493	-1,3	84,080	0,15	82,082	0,74	81,270		1,4263	мар30-09
0,5510	73,28	502,81	0,8	72,123	-0,63	74,093	-1,6	75,429	-1,3	75,016	0,15	73,018		1,4606	апр15-09
3,1556	66,83	500	2,61	66,527	0,8	69,020	-0,63	70,990	-1,6	72,326	-1,3	71,913		5,2096	апр30-09
1,7163	62,45	500,8	3,35	62,033	2,61	63,052	0,8	65,546	-0,63	67,516	-1,6	68,852		0,2627	май15-09
	X	U	T												
ε_k	ПРОГНОЗЫ		0 мес.	$\hat{x}_{k/k-1}$	0,5 мес.	$\hat{x}_{k/k-1}$	1 мес.	$\hat{x}_{k/k-1}$	1,5 мес.	$\hat{x}_{k/k-1}$	2 мес.	$\hat{x}_{k/k-1}$		ω_k	
			Транспортное запаздывание												

Рис. 1. Фрагмент вычисления прогнозных значений радиальных перемещений с использованием модели 1-го порядка

С целью определения порядка модели авторегрессии были вычислены асимптотически несмещенные оценки корреляционной функции с использованием выражения (6).

$$\hat{K}_{\varepsilon}[m] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-m} \varepsilon_k \varepsilon_{k+m}, \quad (6)$$

где временной сдвиг $m=0, 1, 2 \dots M \ll N$.

На рисунке 2 представлены графики результатов прогнозирования по модели (3) методом инверсной верификации на известные даты геодезических наблюдений и отдельные результаты перемещений контролируемых точек гребня ключевой секции 33 плотины Саяно-Шушенской ГЭС на этапах эксплуатации 2008-2009, 2009-2010 и 2010-2011 гг. Прогнозирование выполнено на 1, 2 и 3 года вперед. Следует отметить, что при этом были выбраны различные условия работы плотины на указанные годы эксплуатации (аномально холодная зима;

произошедшая авария на плотине; более позднее наполнение плотины с целью дополнительного прогрева низовой грани плотины).

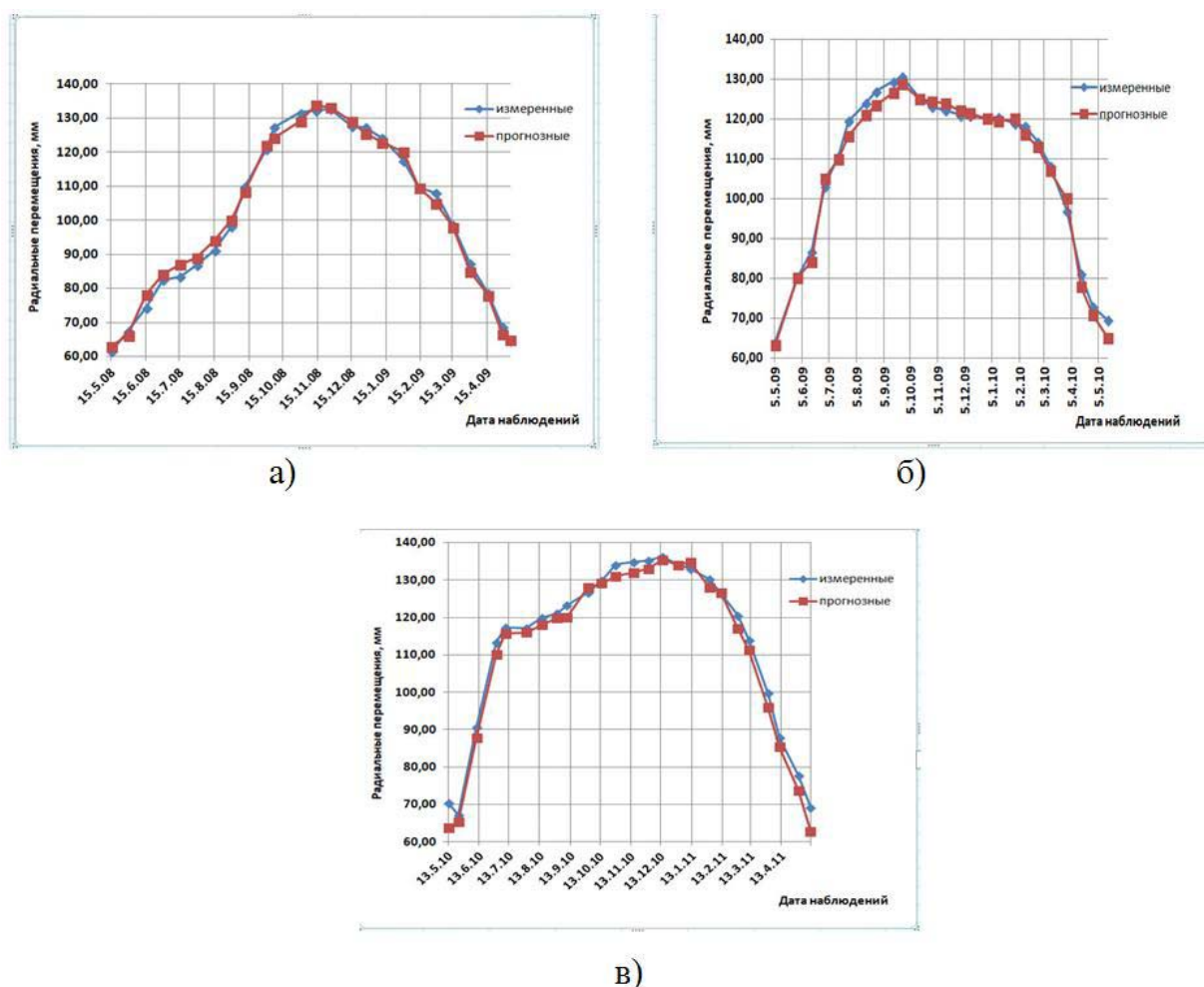


Рис. 2. Графики результатов прогнозирования по модели 2-го типа и транспортным запаздыванием

а) этап прогнозирования 2008–2009 гг.; б) этап прогнозирования 2009–2010 гг.; в) этап прогнозирования 2010–2011 гг.

В то же время, в результате тщательного анализа технической литературы [6, 12-14] было выявлено, что прогнозную математическую модель, представленную звеном 2-го порядка целесообразно применять в случаях, когда инерционное запаздывание сезонных факторов превышает три месяца; в этом случае следует корректно вводить транспортное запаздывание.

Анализ и сопоставление полученных результатов прогнозирования на основе принципа инверсной верификации [15-17] позволил сделать следующие выводы:

– в случаях ненадлежащего качества сконструированной прогнозной модели желательно либо повторить все предыдущие этапы ее разработки для

того, чтобы представить ее в другом виде с новой структурой, либо более внимательно подойти к выбору основных внешних воздействующих факторов и возможному транспортному запаздыванию, также подбору периода основания прогноза, которые наиболее адекватно описывают исследуемый деформационный процесс.

– опыт построения математических моделей для изучения поведения плотины Саяно-Шушенской ГЭС, работа которой проходит как в «нормальных», так и в «нештатных» условиях (таких как, высокая приточность, перенесение сроков наполнения водохранилища, аномально холодные зимы и т. п.), показал, что для корректного прогнозирования изучаемого процесса перемещений гребня плотины наиболее пригодными оказались динамические модели на основе рекуррентных уравнений 1-го и 2-го порядков;

– представленный теоретический и практический опыт конструирования математических моделей динамического типа на основе рекуррентных уравнений 1-го и 2-го порядков для прогнозирования деформационных процессов привносит существенный вклад в теорию и практику их построения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений // РД 153-34.2-21.342-00. – М.: РАО «ЕЭС России». – 2001. – 22 с.
2. Вульфович Н.А., Гордон Л.А., Стефаненко Н.И. Арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС (Оценка технического состояния по данным натурных наблюдений) // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2012. – 204 с.
3. Гордон Л.А., Скворцова А.Е. Актуализация критериев безопасности для основных диагностических показателей плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2013. – № 11. – С. 22-31.
4. Гордон Л.А., Затеев В.Б., Стефаненко Н.И. Оценка безопасности плотины Саяно-Шушенской ГЭС (по данным натурных перемещений) // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2005. – Т. 244. – С. 55-64.
5. Дурчева В.Н., Пучкова С.М., Загрядский И.И. Учет сезонных изменений схемы работы бетонных плотин при анализе данных натурных измерений // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2000. – Т. 237. – С. 45-53.
6. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с.
7. Кобелева Н. Н. Методические особенности построения прогнозных математических моделей для изучения деформаций высоких плотин // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 55–63.
8. Вульфович Н. А. Оценка несущей способности плотины Саяно-Шушенской ГЭС по данным натурных наблюдений в послеаварийный период эксплуатации (2009–2012 гг.) // Гидротехническое строительство. – 2013. – № 4. – С. 10-18.
9. Гордон Л. А. Актуализация критериев безопасности для основных диагностических показателей плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2013. – № 11. – С. 22-31.
10. Гордон Л. А. Анализ технического состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС по данным натурных измерений радиальных смещений и углов наклона горизонтальных сечений // Гидротехническое строительство. – 2011. – № 1. – С. 7-15.

11. Гордон Л. А. Оценка безопасности плотины Саяно-Шушенской ГЭС (по данным натурных перемещений) // Изв. Всерос. научно-исследовательского ин-та гидротехники им. Б.Е. Веденеева. – 2005. – Т. 244. – С. 55-64.
12. Geologic-engineering and geomechanical models of the rock mass in the bed of the dam at the Sayano-SHushenskaya HPP[Text]/ A. I. Savich, M. M. Il'in, V.P.Elkin, V. I. Rechitskii, A. B. Basova // Power Technology and Engineering. – 2013. – Т. 47.– №2. – Pp. 89-101.
13. Leger, P. Hydrostatic, temperature, time-displacement model for concrete dams [Text]/ P. Leger, M. Leclerc // J. Eng. Mec-ASCE. – 2007. – 133(3). – P. 267-277.
14. Ghiasian M., Ahmadi M. T. Effective model for dynamic vertical joint opening of concrete arch dam // Proc. of the int. symp. on dams for a changing word-80th annual meet. and 24th cong. of ICOLD. – Kyoto, Japan. 2012. – P. 41-46.
15. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С., Кобелева Н.Н. Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС (2004-2007 гг.) // М.: Изв. ВУЗов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2015. – № 4. – С.16-20.
16. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С., Лисицкий Д.В., Кобелева Н.Н. Прогнозирование процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС на этапе эксплуатации 2007-2009 годов// Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – №5С. – С.23-28.
17. Кобелева Н.Н., Хорошилов В.С. Построение прогнозной математической модели процесса перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 214–220.

© Н. Н. Кобелева, В. С. Хорошилов, 2018

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ДЕФОРМАЦИИ ОПОЛЗНЕВЫХ ЯВЛЕНИЙ

Евгения Александровна Селютина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант, тел. (953)794-08-56, e-mail: sene4ka020495@mail.ru

Валерий Степанович Хорошилов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: Khoroshilovvs@mail.ru

В статье рассматриваются возможности применения математических моделей кинематического и динамического вида для изучения процессов деформаций. Показана последовательность выполнения условия нормальности с использованием критерия χ^2 и условия однородности исходных данных для математических моделей при изучении процессов деформаций оползневых явлений.

Ключевые слова: геодезические данные, математическая модель, динамическая модель, оценка нормальности, условие линейности, деформация, условие однородности.

PECULIAR FEATURES OF MATHEMATICAL MODELS FOR STUDYING LANDSLIDE DEVELOPMENT DEFORMATION PROCESSES

Eugeniya A. Selyutina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, phone: (953)794-08-56, e-mail: sene4ka020495@mail.ru

Valery S. Khoroshilov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Physical Geodesy and remote sensing, phone: (383)343-29-11, e-mail: Khoroshilovvs@mail.ru

The article deals with mathematical models of kinematic and dynamic types and shows the run sequence of normality condition with the use of criteria χ^2 and homogeneity condition of mathematical models for studying landslide development deformation processes.

Key words: geodetic data, mathematical model, dynamic model, normality estimation, linearity condition, deformation, homogeneity condition.

Изучение процессов деформаций инженерных сооружений, деформаций земной коры, оползневых процессов и других подобных явлений возможно осуществлять на основе построенных математических моделей кинематического или динамического типа [1,9,10].

Математической моделью кинематического типа служит математическое описание процесса перемещений наблюдаемых геодезическими методами контролируемых точек, отражающее зависимость величины перемещения от вре-

мени. Представленное определение основывается на том, что в кинематике исследуется механическое движение тел без учета сил, обуславливающих это движение.

Математической моделью динамического типа является математическое описание процесса перемещений наблюдаемых точек, например, сооружения, в котором учитываются инерционные свойства системы «сооружение-среда» и действие во времени основных возмущающих сил, вызывающих процесс деформации.

В целях перспективного применения математических моделей для изучения и прогнозирования динамики развития наблюдаемых процессов деформаций наиболее целесообразно использование математических моделей динамического типа, учитывающих одновременно как фактор времени, так и основные воздействующие факторы на развитие изучаемого процесса. С этой целью необходимо иметь достаточно полные данные комплексных натурных наблюдений за изменением этих воздействующих факторов. При построении математических моделей для описания того или иного процесса деформации сооружения или оползневого процесса имеются определенные ограничения, к которым относятся следующие: обеспечение линейности и нормальности изучаемого процесса и однородности результатов наблюдений [2,7].

Для того, чтобы построить корректную математическую модель, необходимо убедиться в том, что отдельные циклы геодезических наблюдений (взятые за период основания прогноза при построении модели) являются однородными. Данное условие проверяется с использованием критерия Фишера и критерия Хотеллинга по результатам вычислений расстояния Махаланобиса.

Кроме того, математические модели, которые строятся и по которым выполняется последующее прогнозирование, также должны удовлетворять условиям линейности и нормальности изучаемого процесса. Для проверки выполнения условия нормальности процесса могут применяться как приближенные методы, так и строгие, например, критерий χ^2 Стьюдента [2,4].

Предлагаемые ниже математические модели могут быть построены для изучения любого из видов деформаций, представленных выше. Так, например, при изучении оползневых склонов все возможные виды деформаций в общем виде могут быть представлены по геодезическим данным как процесс $X(t)$ изменяющихся во времени трехмерных перемещений характерных точек оползневого процесса [7-9].

Кинематическая модель процесса деформации. Это наиболее простая прогнозная математическая модель, построение которой осуществляется на базе хорошо разработанной корреляционной теории случайных функций, и обязательным условием для применения которой является нормальность распределения процесса или его нормализация. В этом случае прогнозная модель определяется двумя первыми условными моментными функциями: условным математическим ожиданием и корреляционной функцией. В состав алгоритма кинематической модели в этом случае входят: проверка нормальности процесса;

исключение нелинейного тренда; нормализующие преобразования; оценивание параметров эмпирического закона распределения процесса с их последующей аппроксимацией на периоде основания с учетом экстраполяции нелинейного тренда на выбранный период упреждения; и преобразование результатов, обратные нормализующим.

Комплексная динамическая модель. В данном случае закономерности развития изучаемого процесса могут быть описаны дифференциальными или рекуррентными уравнениями, отражающими зависимость деформации от воздействующих на нее факторов (модели типа «вход-выход») или в пространстве состояний. Преимущество использования рекуррентных уравнений для описания процесса деформации заключается в том, что они позволяют вычислять последовательно, шаг за шагом каждое последующее приращение или изменение приращения в зависимости от тех значений, которые были вычислены на предыдущих этапах. Динамическая модель 2-го порядка типа «вход-выход», описывающая в рекуррентной форме скалярный процесс деформации (в нашем случае это оползневый процесс), возникающий под воздействием двух основных факторов, имеет вид:

$$x_k = \phi_1 x_{k-1} + \phi_2 x_{k-2} + \beta_1 U_k' + \beta_2 U_k'' + \gamma w_k, \quad (1)$$

где x_k – выходная переменная, т.е. величина перемещения оползневого знака на k -ом шаге дискретизации модели при величине шага равного Δt ;

$U_k'; U_k''$ – два входных основных воздействия; в нашем случае это могут быть данные о проведении взрывных работ и уровне грунтовых вод;

w_k – совместное воздействие всех неучтенных факторов (шумовая компонента);

ϕ_1 и ϕ_2 – коэффициенты динамики, отражающие соответственно степень влияния на x_k значений деформаций x_{k-1}, x_{k-2} ;

β_1, β_2, γ – коэффициенты, характеризующие соответственно степень влияния двух основных воздействий и шумовой компоненты на величину деформаций.

Нелинейная динамическая модель процесса деформаций. Нелинейная динамическая модель может служить для описания и прогнозирования процессов деформации, протекающих при изменяющихся динамических свойствах системы, т.е. в случаях, когда развитие процесса деформаций сопровождается быстрым изменением физико-механических свойств или структуры оползня. При этом применение комплексной динамической модели не обеспечивает достаточно точного описания и прогнозирования процесса, и в данном случае применение нелинейной динамической модели является более предпочтительным. В этом случае возможно применение алгоритма для скалярной нелинейной динамической модели при прогнозировании процессов перемещений наблюдае-

мых точек, протекающих в условиях изменяющихся свойств системы, с использованием выражения (2):

$$\begin{cases} x_k = \phi_k x_{k-1} + \beta'_0 U_0 + \gamma w_k; \\ \phi_k = \rho \phi_{k-1} + \beta''_0 U_0 + \beta U_k + \xi_k, \end{cases} \quad (2)$$

где ϕ_k – изменяющийся коэффициент динамики;

ρ – коэффициент, характеризующий динамику изменения инерционности системы, т.е. параметра ϕ_k ;

U_0 – постоянное неизменяющееся входное воздействие;

Такой характеристикой может быть, например, модуль деформации грунта, рассматриваемый как функция наблюдаемой осадки (смещения) оползневого знака.

Оценка нормальности распределения развития процесса. Как отмечалось выше, проверка нормальности распределения исследуемого процесса осадки и других видов деформаций может быть выполнена приближенным методом, например, с использованием критериев асимметрии и эксцесса [1,2]. Для этого необходимо оценивать важные числовые характеристики закона распределения случайной величины, называемые центральными моментами.

Несмещенная оценка центрального момента в сечении изучаемого процесса на время t_j вычисляется по формуле:

$$\mu_{xk}(t_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n [x_i(t_j) - m_x(t_j)]^k, \quad (3)$$

где i – номер (осадочной марки), $i = 1, 2, 3, \dots, n$;

$x_i(t_j)$ – значение осадки i -марки на время t ;

$x_i(t_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j(t_j)$ – статистическая оценка математического ожидания осадки на момент времени t_j , являющаяся начальным моментом.

Оценка асимметрии и оценка эксцесса распределения случайной величины в отдельном сечении вычисляются по формулам:

$$A_x(t_j) = \frac{\mu_{x3}(t_j)}{[\sigma_x(t_j)]^2}; \quad E_x(t_j) = \frac{E\mu_{x3}(t_j)}{[\sigma_x(t_j)]^4}. \quad (4)$$

Гипотеза о нормальности распределения реализаций процесса в каждом сечении принимается как не противоречащая эмпирическим данным, если соблюдаются по модулю неравенства:

$$\left| \frac{A_x(t_j)}{\sigma_A} \right| \leq 3; \left| \frac{E_x(t_j)}{\sigma_R} \right| \leq 3. \quad (5)$$

Выполнение условия однородности результатов наблюдений. Для корректного выбора необходимого статистически однородного исходного материала были выполнены исследования по формированию статистически однородных циклов геодезических наблюдений с использованием алгоритма индийского статистика Махаланобиса, который получил название – расстояние Махаланобиса $D_M(X)$. Расстояние Махаланобиса от многомерного вектора X_i до многомерного вектора X_j определялось по формуле (6):

$$D_M(X_i, X_j) = \sqrt{(X_i - X_j)^T K^{-1} (X_i - X_j)}, \quad (6)$$

где X_i – осадки марок, полученные в i -ом цикле;

X_j – осадки марок, полученные в j -ом цикле;

K – ковариационная матрица векторов X_i и X_j .

В результате вычислений были получены расстояния Махаланобиса D_M между различными комбинациями циклов измерений, которые представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты вычисления расстояния Махаланобиса и критерия Хотеллинга

Циклы	Расстояние Махаланобиса			Величина критерия Хотеллинга		
1-2	0,414122	0,163275	0,567947	0,158	0,025	0,298
	0,185115	0,254243	0,478303	0,032	0,060	0,211
	0,127317	0,020993	0,367722	0,015	0,000	0,125
	0,006816	0,060645	0,018701	0,000	0,003	0,000
	0,007906	0,060645	0,009757	0,000	0,003	0,000
	0,015540	0,020993	0,032117	0,000	0,000	0,001
	0,007906	0,074640	0,009960	0,000	0,005	0,000
	0,007634	0,240248	0,012196	0,000	0,053	0,000
	0,033261	0,142283	0,048176	0,001	0,019	0,002
	0,027263	0,331216	0,025003	0,001	0,101	0,001
	0,036532	0,118958	0,051632	0,001	0,013	0,002
	0,031080	0,137618	0,044720	0,001	0,017	0,002
2-3	0,031352	0,207593	0,166684	0,001	0,040	0,026
	0,175300	0,032655	0,423623	0,028	0,001	0,166
	0,113686	0,223920	0,477897	0,012	0,046	0,211
	0,006543	0,256575	0,200428	0,000	0,061	0,037
	0,003817	0,240248	0,100214	0,000	0,053	0,009
	0,035169	0,284566	0,067487	0,001	0,075	0,004
	0,000000	0,013995	0,083952	0,000	0,000	0,007

Циклы	Расстояние Махаланобиса			Величина критерия Хоттеллинга		
	0,012268	0,405856	0,035370	0,000	0,152	0,001
	0,015267	0,496823	0,041265	0,000	0,228	0,002
	0,038986	0,618114	0,137820	0,001	0,353	0,018
	0,002454	0,317221	0,051022	0,000	0,093	0,002
	0,000000	0,604119	0,150219	0,000	0,337	0,021
1-3	0,382770	0,370868	0,401262	0,135	0,127	0,149
	0,009815	0,286898	0,054681	0,000	0,076	0,003
	0,013631	0,202928	0,110174	0,000	0,038	0,011
	0,000273	0,195930	0,181727	0,000	0,035	0,030
	0,011723	0,300893	0,109971	0,000	0,084	0,011
	0,019629	0,263573	0,035370	0,000	0,064	0,001
	0,007906	0,060645	0,093912	0,000	0,003	0,008
	0,019902	0,165608	0,023173	0,000	0,025	0,000
	0,048528	0,354541	0,089440	0,002	0,116	0,007
	0,066249	0,949329	0,162822	0,004	0,832	0,024
	0,038986	0,436178	0,102653	0,001	0,176	0,010
	0,031080	0,466501	0,105499	0,001	0,201	0,010

Для проверки статистической однородности данных выбранных сечений был использован критерий Хотеллинга (7):

$$T^2 = \frac{n}{n+1} D_m(x)^2. \quad (7)$$

В результате были получены экспериментальные значения величины Хотеллинга. Далее величина критерия T^2 связывалась с распределением F (распределение Фишера) и уже с использованием формулы (8) вычислялось теоретическое значение критерия Хоттеллинга:

$$T_{\alpha}^2 = \frac{2(n-1)F_{\alpha}}{n-2}. \quad (8)$$

Для нашей выборки значение критерия Фишера было выбрано для уровня значимости $\alpha = 0,01$; оно получилось равным $F_{\alpha} = 4,98$.

Проверка условия нормальности процесса с использованием критерия χ^2 .
Проверка нормальности распределения выборки строгим методом выполняется по критерию Пирсона [3], который опирается на принцип наименьших квадратов (табл. 2):

$$\chi^2 = \sum_1^k \frac{v^2}{n_j} - n, \quad (9)$$

где ν^2 – эмпирические частоты;

n_j – теоретические частоты, $j = 1, 2, 3, \dots, n$;

n – число всех наблюдений;

k – число интервалов статистического ряда.

Для оценивания дисперсии случайной величины и среднеарифметического значения вычислялись середины интервалов по формуле (10):

$$\bar{\xi}_j = (\xi_i + \xi_{i+1}) / 2. \quad (10)$$

Далее осуществлялось центрирование средин интервалов. Для этого использовалось выражение (11):

$$\delta_i = \bar{\xi}_j - \bar{x}. \quad (11)$$

На следующем этапе определяли среднеарифметическое значение $\bar{x}$:

$$\bar{x} = (\sum_i \bar{\xi} \cdot \nu_i) / n. \quad (12)$$

Для определения нормированных границ использовалась формула:

$$t = (\bar{\xi}_i - \bar{x}) / \sigma. \quad (13)$$

По нормированным границам определялась гипотетическая функция распределения $F(t)$, а по таблице стандартного нормального распределения вычислялось $F(x)$ по формуле:

$$F(x_1) + \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_1} [F(x_2) - F(x_1)]. \quad (14)$$

Далее по вычисленным значениям функции распределения вычислялись гипотетические частоты с использованием формулы (15):

$$n_i = [F(t_{i+1}) - F(t_i)] \cdot n. \quad (15)$$

Вычисление значения критерия Пирсона осуществлялось с использованием формулы (16):

$$P = \frac{\nu_i^2}{n_i}. \quad (16)$$

Вычисление теоретических значений по критерию Пирсона трех циклов наблюдения представлены в табл. 2. Эмпирическое значение критерия Пирсона $\chi^2_{\text{Э}}$ сопоставлялось с теоретическим значением χ^2_T представляющим собой двухсторонний доверительный интервал, нижняя и верхняя границы которого – это квантили распределения χ^2 с r степенями свободы.

Эмпирические и теоретические значения χ^2 для трех циклов наблюдений

Частоты 1-го цикла наблюдения		Частоты 2-го цикла наблюдения		Частоты 3-го цикла наблюдения	
1	2	3	4	5	6
Эмпирические	Теоретические	Эмпирические	Теоретические	Эмпирические	Теоретические
6	2,4	5	3,9	6	2,4
5	6,0	12	9,1	5	6,2
4	9,9	9	12,1	4	10,2
9	10,5	7	9,3	11	10,6
17	7,2	8	4,1	15	7,0
$\chi^2_T =$	8,2	$\chi^2_T =$	2,2	$\chi^2_T =$	8,4

В табл. 2 представлены эмпирические значения квантилей χ^2 – распределения критерия трех циклов наблюдений χ^2_{Σ} и теоретические, которые оказались равными $\chi^2_T = [0,2;9,3]$. Нулевая гипотеза отвергается в случае, когда $\chi^2_{\Sigma} \notin \chi^2_T$. В нашем случае эмпирическое распределение подчиняется закону нормального распределения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Симонян В. В. Изучение оползневых процессов геодезическими методами. – Москва, 2011. – 130 с.
2. Румшиский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. – Физматлит, 1971. – 192 с.
3. Падве В. А. Элементы теории вероятностей и математической статистики. Новосибирск: СГГА, 2013. – С.152–156.
4. Большаков В. Д., Гайдаев П. А. Теория математической обработки геодезических измерений. – Москва, 1977. – С.82–90.
5. Ломтадзе В. Д. Инженерная геодинамика. – Л. : Недра, 1977. – 479 с.
6. Тер-Степоян Г. И. Геодезические методы изучения динамики оползней. – М. : Недра, 1979. – 157 с.
7. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Прогнозирование деформаций сооружений гидроузлов по геодезическим данным. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 78 с.
8. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С., Павловская О. Г. Математическое моделирование. Выявление по геодезическим данным скрытых закономерностей динамики оползневых склонов в условиях взрывных воздействий и вывоза больших масс грунта: учеб. пособие. – Новосибирск : СГГА, 2013. – С. 131.
9. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
10. Гуляев Ю. П., Хорошилов В. С. Математическое моделирование. Анализ и прогнозирование деформаций сооружений по геодезическим данным на основе кинематической модели. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 92 с.

© Е. А. Селютин, В. С. Хорошилов, 2018

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМОЙ ПОГРЕШНОСТИ ПЛАНОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

Денис Николаевич Голдобин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, инженер кафедры космической и физической геодезии, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Вадим Федорович Канушин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Ирина Геннадьевна Ганагина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, зав. кафедрой космической и физической геодезии, доцент, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Наталья Ньургустановна Федотова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант и инженер кафедры космической и физической геодезии, e-mail: natasleptsova94@gmail.com

В работе даны обоснования возможности использования возмущающего геопотенциала при формировании допусков к точности планового положения гравиметрических пунктов. Авторами получены алгоритмы для вычисления допустимых погрешностей планового обеспечения гравиметрических работ. Даны рекомендации для повышения точности вычисления допустимых погрешностей геодезического обеспечения гравиметрической съемки. Получены результаты оценки допустимых погрешностей планового обеспечения гравиметрических съемок на территории Новосибирской области. В работе представлены картосхемы погрешностей плановых координат для обеспечения гравиметрической съемки территории Новосибирской области с точностью 0,06 мГал и 0,003 мГал.

Ключевые слова: гравиметрическая съемка, гравиметрические пункты, допустимая погрешность, геодезическое обеспечение, горизонтальные градиенты аномалии силы тяжести.

DETERMINATION OF LIMITING ERROR OF THE HORIZONTAL POSITION POINTS OF GRAVIMETRIC SURVEY

Denis N. Goldobin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Engineer, Department of Space and Physical Geodesy, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Vadim F. Kanushin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Irina G. Ganagina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Head of Department of Space and Physical Geodesy, Associate Professor, e-mail: kaf.astronomy@ssga.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Space and Physical Geodesy, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Natalia N. Fedotova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Engineer, Department of Space and Physical Geodesy, e-mail: natasleptsova94@gmail.com

The possibility of using the disturbing geopotential for calculation accuracy tolerances of the horizontal position points of gravimetric survey was given in paper. Algorithms for calculation limiting errors of the horizontal position points of gravimetric survey were obtained. Recommendations to improve the accuracy of calculation of limiting errors in the geodetic support of gravimetric surveys are given. Estimation of the limiting errors of the horizontal position points of gravimetric survey in the territory of the Novosibirsk Region is obtained. The cartographic schemes of the horizontal coordinates errors with an accuracy of 0,06 mGal and 0,003 mGal to provide gravimetric survey of the territory of the Novosibirsk Region are given.

Key words: gravimetric survey, gravimetric points, limiting error, geodetic support, horizontal gradients of gravity anomaly.

Введение

Комплекс наземных инженерно-гравиметрических работ выполняется с целью детального изучения гравитационного поля Земли в исследуемом районе для изучения внутренней структуры потенциально опасных для строительства и строительных сооружений зон с пониженной прочностью грунтов основания [1], а также для изучения динамики земной поверхности в данной зоне [2-3].

Измеренные на гравиметрических пунктах значения силы тяжести и вычисленные по ним аномалии силы тяжести относятся к конкретным точкам физической поверхности Земли, координаты которых должны быть известны [4]. Плановые и высотные координаты необходимы для составления гравиметрических каталогов, построения гравиметрических карт, составления цифровых и параметрических моделей гравитационного поля Земли [5].

Таким образом, геодезические работы по определению плановых координат и высот гравиметрических пунктов являются необходимой частью гравиметрической съемки.

Использование высокоточного гравиметрического и топографо-геодезического оборудования в настоящее время требует пересмотра инструктивных требований, предъявляемых к производству гравиметрической съемки, и учету особенностей физико-геологического строения изучаемых объектов, корректировке стандартных процедур редуцирования наблюдаемых значений силы тяжести и вычисления аномалий силы тяжести [6].

Целью данного исследования является совершенствование методических рекомендаций, направленных на повышение точности расчета допустимых погрешностей геодезического обеспечения гравиметрической съемки с учетом неоднородностей гравитационного поля в районе съемки.

Для достижения поставленной цели необходимо было выполнить следующие задачи:

- обосновать необходимость учета возмущающего геопотенциала при формировании допусков к точности плановых и высотных координат гравиметрических пунктов;

- получить алгоритмы для вычисления допустимых погрешностей планового и высотного обеспечения гравиметрической съемки в зависимости от степени аномальности исследуемых территорий;

- составить картосхемы погрешностей плановых координат для обеспечения гравиметрической съемки при использовании гравиметров типа ГНУ и Scintrex.

1 Алгоритм определения плановых координат гравиметрических пунктов с учетом влияния неоднородности гравитационного поля

Аномальный потенциал гравитационного поля имеет следующий вид [7-11]

$$T = W - U \quad (1)$$

где W и U – действительный и нормальный потенциалы силы тяжести. Этот потенциал связан с аномалией силы тяжести следующим образом

$$\vec{g} - \vec{\gamma} = \text{grad } T = T_x + T_y + T_z \quad (2)$$

Дифференцирование выражения (2) дает тензор градиентов аномалии силы тяжести:

$$\text{grad } \Delta g = \text{grad}(\text{grad } T) = \begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} & T_{xz} \\ T_{yx} & T_{yy} & T_{yz} \\ T_{zx} & T_{yz} & T_{zz} \end{pmatrix} \quad (3)$$

Каждый из элементов матрицы (3) характеризует особенности геометрии уровенных поверхностей и силовых линий гравитационного поля и содержит необходимые детальные сведения о неоднородности аномального гравитационного поля [7, 9].

В настоящей работе единицей измерения первых производных T_x , T_y , T_z принята величина $1 \cdot 10^{-5} \text{ м} \cdot \text{с}^{-2} = 1 \text{ мГал}$, а для вторых производных в (3) принята величина $1 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-2} = 1 \text{ этвеш} = 1 \text{ Э}$.

В матрице (3) вторые производные T_{xz} и T_{yz} представляют собой горизонтальные градиенты аномалии силы тяжести и характеризуют изменение величины аномалий в горизонтальной плоскости: T_{xz} – в направлении меридиана, T_{yz} – в направлении первого вертикала, а T_{zz} – вертикальный градиент аномального гравитационного поля. Так как первая производная $T_z = \frac{\partial T}{\partial z} = g - \gamma = \Delta g$, то дифференцируя Δg по осям ОХ и ОУ, соответственно, получим горизонтальные градиенты аномалий силы тяжести [8]

$$T_{xz} = \frac{\partial \Delta g}{\partial x} \text{ и } T_{yz} = \frac{\partial \Delta g}{\partial y}. \quad (4)$$

С помощью горизонтальных градиентов и значений среднеквадратической погрешности измерения аномалии силы тяжести $m_{\Delta g}$, которая задается требуемой точностью гравиметрической съемки, можно вычислить допустимые погрешности определения плановых координат гравиметрических пунктов в районе съемки по следующим формулам:

$$m_x = \frac{m_{\Delta g}}{T_{xz}} \text{ и } m_y = \frac{m_{\Delta g}}{T_{yz}}. \quad (5)$$

Для определения вторых производных T_{xz} и T_{yz} необходимо использовать цифровую модель аномалий силы тяжести.

$$T_{xz} = \frac{(g - \gamma)_2 - (g - \gamma)_1}{x_2 - x_1}, \quad (6)$$

$$T_{yz} = \frac{(g - \gamma)_2 - (g - \gamma)_1}{y_2 - y_1}, \quad (7)$$

где $(g - \gamma)_2 - (g - \gamma)_1$ – значение аномалий силы тяжести в двух точках, лежащих вдоль меридиана на расстоянии $(x_2 - x_1)$ – формула (6) и вдоль параллели на расстоянии $(y_2 - y_1)$ – формула (7).

В данной работе определение аномалий силы тяжести выполнено с помощью разложения в ряд по сферическим функциям набора гармонических коэффициентов глобальной модели геопотенциала EIGEN-6C4 до степени $N=2190$ [12-15]

$$\Delta g = \gamma(\varphi) \cdot \left[\sum_{n=2}^N (n-1) \cdot \sum_{m=0}^n (\Delta \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda) \bar{P}_{nm}(\sin \varphi) \right], \quad (8)$$

где φ, λ, r – сферические координаты пункта;

$\bar{P}_{nm}(\sin \varphi)$ – нормированные присоединенные функции Лежандра;

$\Delta \bar{C}_{nm}$ – разность коэффициентов нормированных сферических функций реального и нормального полей, рассчитанная по формуле $\Delta \bar{C}_{nm} = \bar{C}_{nm} - \bar{C}_{nm}^0$;

$\gamma(\varphi)$ – значение нормальной силы тяжести.

Формулы (4-8) позволяют проводить вычисления допустимых погрешностей геодезических координат пунктов гравиметрической съемки.

2 Вычисления допустимых погрешностей плановых координат гравиметрических пунктов

Предварительный расчет допустимых погрешностей плановых координат гравиметрической съемки на территорию Новосибирской области выполнен с учетом точностных характеристик гравиметров типа ГНУ-КВ и Scintrex.

Технологическая схема вычислений допустимых погрешностей плановых координат гравиметрической съемки состоит из нескольких этапов.

1. Вычисление цифровой модели аномалий силы тяжести на ограниченную территорию в узлах регулярной сетки. Регулярная сетка на ограниченную территорию представляется в геодезических координатах (BLH) в координатной системе отсчета WGS-84.

2. Преобразование геодезических координат в прямоугольную систему координат Гаусса-Крюгера.

3. По формулам (6) и (7) определяются вторые производные возмущающего потенциала силы тяжести, которые представляют собой горизонтальные градиенты аномалий силы тяжести по осям координат ОХ – вдоль меридиана и ОУ – вдоль параллели. Пример картосхемы, характеризующей изменения величин аномалий силы тяжести вдоль меридиана, приведена на рис. 1, вдоль параллели – на рис. 2.

4. Используя полученные значения горизонтальных градиентов T_{xz} и T_{yz} и значение среднеквадратической погрешности измерения аномалии силы тяжести $m_{\Delta g}$, которая задается требуемой точностью гравиметрической съемки, по формуле (5) вычисляют допустимые погрешности определения плановых координат гравиметрических пунктов на территории Новосибирской области.

5. Результаты вычисления представлены в виде картосхем допустимых погрешностей плановых координат в соответствии с требуемой точностью гравиметрической съемки. Картосхемы погрешностей плановых координат m_x по оси ОХ – вдоль меридиана и m_y по оси ОУ – вдоль параллели для обеспечения гравиметрической съемки с погрешностью $m_{\Delta g} = 0,06$ мГал и $m_{\Delta g} = 0,003$ мГал на территории Новосибирской области представлены на рис. 3, 4, соответственно.

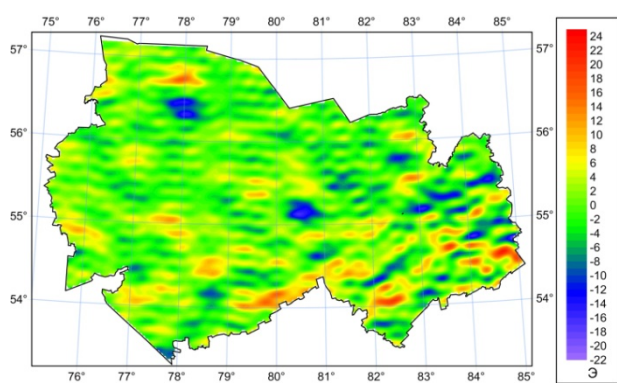


Рис. 1. Картохема горизонтального градиента T_{xz}

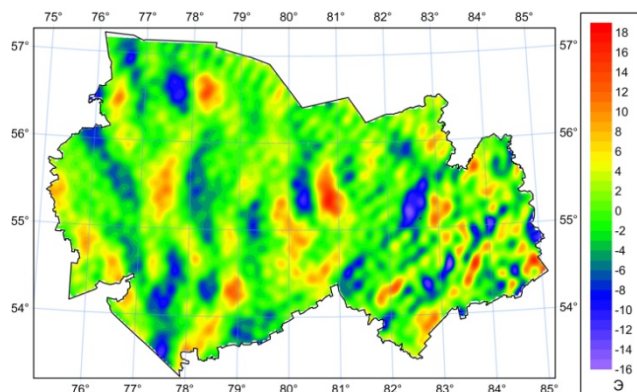


Рис. 2. Картохема горизонтального градиента T_{yz}

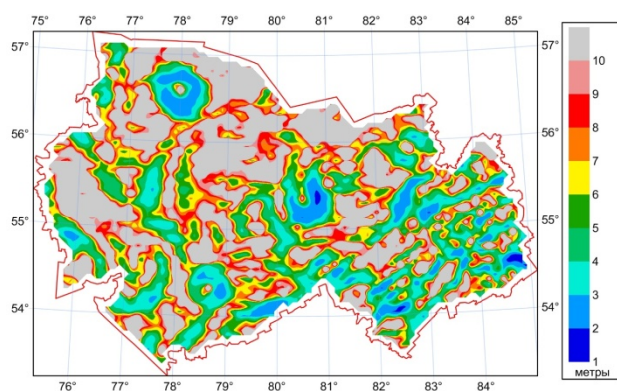


Рис. 3. Картохема допустимых погрешностей плановых координат гравиметрических пунктов (в метрах) для обеспечения гравиметрической съемки с точностью 0,003 мГал (разделена – 1-10 м и 10-50 м)

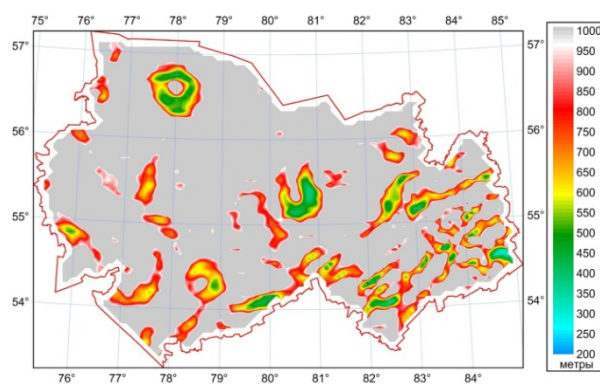


Рис. 4. Картохема допустимых погрешностей плановых координат гравиметрических пунктов (в метрах) для обеспечения гравиметрической съемки с точностью 0,06 мГал (разделена – 200-1000 м и 1000-6000 м)

Анализ результатов

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Приведенные на рис. 3, 4 картосхемы допустимых погрешностей плановых координат указывают на мозаичный характер распределения погрешностей на территории Новосибирской области. На рис. 3 картосхема погрешностей плановых координат построена для обеспечения гравиметрических съмок с точностью 0,003 мГал при использовании гравиметра Scintrex. Колебание допустимой погрешности плановых координат находится в интервале от 0 до 11 метров в зависимости от степени аномальности гравитационного поля.

На рис. 4 картосхема погрешностей плановых координат построена для обеспечения гравиметрической съемки с точностью 0,06 мГал с использованием гравиметрической аппаратуры типа ГНУ. Колебание допустимой погрешности плановых координат находится в интервале от 20 до 300 метров в зависимости от степени аномальности гравитационного поля. На равнинной поверхности допустимые погрешности плановых координат могут быть от 100 до 200 метров.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. К вопросу о необходимости учёта неприливных изменений силы тяжести при деформационном мониторинге гидротехнических сооружений / В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Н. С. Косарев, Д. Н. Голдобин // Изв. вузов. Строительство. – 2017. – № 11-12 (707-708). – С. 72–80.
2. Результаты первого цикла геодезическо-гравиметрических наблюдений на Западно-Суторминском геодинамическом полигоне / И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, А. И. Каленицкий, Э. Л. Ким, В. А. Середович // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 1, ч. 2. – С. 45–49.
3. Детализация участков повышенной промышленной опасности Спорышевского месторождения углеводородов по результатам 1-го цикла натурных геодезическо-гравиметрических измерений / И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, А. И. Каленицкий, Э. Л. Ким, В. А. Середович // ГЕО-Сибирь-2008. IV Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 5 т. (Новосибирск, 22–24 апреля 2008 г.). – Новосибирск : СГГА, 2008. Т. 1, ч. 2. – С. 50–54.
4. Определение разности потенциалов силы тяжести и высот в геодезии посредством гравиметрических и спутниковых измерений / В. Ф. Канушин, А. П. Карпик, Д. Н. Голдобин, И. Г. Ганагина, Е. Г. Гиенко, Н. С. Косарев // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 53–69.
5. Алексеев В. Ф. О методах определения допустимых погрешностей геодезического обеспечения гравиметрических съмок // Информация и космос. – 2009. – №1. – С. 33 – 38.
6. Прихода А. Г., Байкалова Р. А. Высотное обоснование детальных гравиметрических съёмок: метод. рекомен. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1978. – 96 с.
7. Кашеев Р. А. Современные методы спутниковой гравиметрии: конспект лекций – Казань: Казан. ун-т, 2015. – 45 с.
8. Огородова Л. В., Шимбирев Б. П., Юзефович А. П. Гравиметрия: учеб. для вузов. – Москва: Недра, 1978 – 325 с.
9. Канушин В. Ф., Карпик А. П., Ганагина И. Г., Голдобин Д. Н., Косарева А. М., Косарев Н. С. Исследование современных глобальных моделей гравитационного поля Земли: монография. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – 270 с.

10. Hofmann-Wellenhof B., Moritz H. Physical Geodesy. – Austria: Springer-Verlag Wien, 2005 – 397 с.
11. Moritz H. Advanced physical geodesy. – Wichmann, 1980 – 500 с.
12. International Centre for Global Earth Models (ICGEM). – Электронный ресурс. Режим доступа: <http://icgem.gfz-potsdam.de>
13. Karpik A.P., Kanushin V.F., Ganagina I.G., Goldobin D.N., Kosarev N.S., Kosareva A.M. Evaluation of recent Earth's global gravity field models with terrestrial gravity data // Contributions to Geophysics and Geodesy. – 2016. – Vol. 46, No. 1. – P. 1 – 11.
14. Сравнение спутниковых моделей проекта GOCE с различными наборами независимых наземных гравиметрических данных / В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, Е. М. Мазурова, А. М. Косарева, Н. С. Косарев // Вестник СГУГиТ. – 2014. – Вып. 3 (27). – С. 21–35.
15. Современные глобальные модели квазигеоида: точностные характеристики и разрешающая способность / В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Д. Н. Голдобин, Е. М. Мазурова, Н. С. Косарев, А. М. Косарева // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22., № 1. – С. 30–49.

*© Д. Н. Голдобин, В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина,
Н. С. Косарев, Н. Н. Федотова, 2018*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ЦЕНТРА ТЕРРИТОРИИ В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. БАЙКАЛ)

Виктор Анатольевич Калюзин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, зав. кафедрой геоматики и инфраструктуры недвижимости, тел. (952)907-19-83, e-mail: kaluzhin@mail.ru

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, доктор технических наук, профессор кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Владимир Иванович Обиденко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, проректор по СПО – директор техникума, тел. (383)221-25-64, e-mail: ovi62@yandex.ru

Владимир Васильевич Черников

Красноярское отделение Русского географического общества, 660074, Россия, Красноярский край, г. Красноярск, ул. С. Ковалевской, 2д-14, член Русского географического общества, тел. (902)990-65-24, e-mail: chernikov-rgo@mail.ru

В аспекте историко-культурного и природного ресурса территория каждого региона, рассматриваемая как объект для предложения туристических услуг, имеет свои уникальные метрические и морфометрические характеристики: граница, площадь, средняя высота над уровнем моря, географический центр. Закрепление на местности географического центра региона имеет общественный, политический, культурный, познавательный и практический смыслы. Географический центр является своеобразным символом целостности и стабильности границ территории. Наличие закрепленного на местности географического центра повышает привлекательность региона с позиции туристско-рекреационного использования.

В последние десятилетия разработаны новые электронные технологии, которые стали применяться во всех сферах деятельности человека, в том числе и в туризме. Программное обеспечение подобных технологий позволяет автоматически определять центроид объекта полигонального типа. Однако возможность его использования для определения географического центра территории изучена недостаточно.

В этой связи выполнено исследование. Дана оценка возможности нахождения географического центра территории. Это может быть центроид, который определяется в программном обеспечении геоинформационных систем.

Ключевые слова: историко-культурный потенциал, географический центр, способы, программное обеспечение, геоинформационные системы, территория, центроид, критерий.

LOCALIZATION OF GEOGRAPHIC CENTER OF THE TERRITORY IN GIS SOFTWARE (ON THE EXAMPLE OF BAIKAL)

Victor A. Kalyuzhin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Head of the Department of Geomatics and Real Estate Infrastructure, phone: (952)907-19-83, e-mail: kaluzhin@mail.ru

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Vladimir I. Obidenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Vice-rector for secondary professional education-director of the technical college, phone: (383)221-25-64, e-mail: ovi62@yandex.ru

Vladimir V. Chernikov

Krasnoyarsk Branch of the Russian Geographical Society, 2d-14, S. Kovalevskaya St., Krasnoyarsk, Krasnoyarsky Region, 660074, Russia, a Member of the Russian Geographical Society, phone: (902)990-65-24, e-mail: chernikov-rgo@mail.ru

In the aspect of a historical, cultural and natural resource, the territory of each region, considered as an object for offering tourist services, has its own unique metric and morphometric characteristics: boundary, area, average height above sea level, and geographical center. The fastening on the terrain of the geographical center of the region has social, political, cultural, cognitive and practical meanings. The geographical center is a kind of symbol of the integrity and stability of the borders of the territory. The presence of a geographic center fixed on the terrain raises the attractiveness of the region from the standpoint of its tourist-recreational use.

In recent decades, new electronic technologies well developed that have been applied in all spheres of human activity, including tourism. The software of similar technologies allows automaticall determining the centroid of a polygon object. However, the possibility of using its determine the geographical center of the territory has not been studied enough.

In this regard, a study was carried out. An assessment of the possibility of finding the geographical center of the territory is given. It can be a centroid, which determining in the software of geographic information systems.

Key words: historical and cultural potential, geographical center, methods, software, geoinformation systems, territory, centroid, criterion.

Введение

Туризм является одной из крупнейших в мире сфер деятельности по оказанию услуг. На сферу туризма приходится около 10 % мировых инвестиций и 3,8 % от мирового валового внутреннего продукта (ВВП). Предполагается, что суммарный вклад международного туризма в ВПП ежегодно будет расти, в среднем, на 4 %. Согласно разработанной Всемирной туристической организацией Концепции развития туризма до 2020 г. количество международных туристов превысило 1 млрд. человек в 2010 г. и составит 1,5 млрд. человек к 2020 г. [1].

В России развитие внутреннего и въездного туризма в регионах является приоритетным направлением в экономике и важной государственной задачей [2]. За последнее время разработаны федеральный закон [3] и ряд подзаконных актов [4 - 8], целью которых является создание условий для устойчивого экономического роста субъектов Российской Федерации и страны в целом.

Известно, что развитие регионального рынка туристических услуг в первую очередь зависит от туристско-рекреационных ресурсов субъекта федерации: природных, социально-экономических и историко-культурных [1, 2 и 9].

В аспекте историко-культурного и природного ресурса территория каждого региона, рассматриваемая как объект для предложения туристических услуг, имеет свои уникальные метрические и морфометрические характеристики: граница, площадь, средняя высота над уровнем моря, географический центр. Закрепление на местности географического центра региона имеет общественный, политический, культурный, познавательный и практический смыслы. Географический центр является своеобразным символом целостности и стабильности границ территории. Наличие закрепленного на местности географического центра повышает привлекательность региона с позиции туристско-рекреационного использования [10].

Для определения географического центра территории (центра тяжести) существует ряд способов [10 - 17].

За последние 10-15 лет геоинформационные технологии стали применяться во всех сферах деятельности человека, в том числе и в туризме. Наиболее широкое распространение в России получило программное обеспечение геоинформационных систем (ПО ГИС): ArcView, MapInfo, GeoMedia и ГИС-Карта [18].

Сейчас трудно представить, например, разработку нового туристического маршрута, геомаркетинговые исследования, выбор места для отдыха и т.д. без применения ПО ГИС. ПО ГИС также обладает функционалом автоматического определения (вычисления) центра тяжести (центроида) для полигональных типов объектов, который можно использовать при определении географических центров территорий. Однако, в настоящее время в научных публикациях в достаточной мере отсутствуют исследования возможности использования центроида полигонального объекта, определенного с использованием ПО ГИС, в качестве географического центра территории. Это обусловило проведение исследования, описание которого приведено в настоящей статье.

В качестве объекта исследования принята территория озера Байкал, являющегося уникальным природным объектом, самым глубоким озером на планете, крупнейшим естественным резервуаром пресной воды, обладающим огромным туристско-рекреационным потенциалом.

Критерий

Для оценки возможности принятия центроида полигонального (площадного) объекта, определенного в ПО ГИС: ArcView, MapInfo, GeoMedia и ГИС-Карта, в качестве географического центра территории, в исследовании предложено использовать критерий качества определения центра территории.

Критерий качества определения центра территории вычисляется как минимум суммы квадратов расстояний S от центроида (центра тяжести) полигонального объекта, метрически описывающего в ПО ГИС данную территорию,

до каждой поворотной точки ее границы [13 - 15 и 19], и определяется по формуле (1).

$$[S^2] = \min. \quad (1)$$

Исходные данные

При выполнении исследований по определению метрических характеристик территорий следует использовать наиболее качественный и актуальный картографический материал, с достаточной степенью подробности отображающий особенности формы этой территории. В общем случае для подобных проектов желательно использовать государственные цифровые топографические карты (ЦТК), созданные в настоящее время на всю территорию Российской Федерации в масштабах 1:100 000 и 1:50 000 [20, 21]. Достоинством этих карт является то, что они являются наиболее точным (создание ЦТК осуществлялось путем векторизации растрового изображения комплектов издательских оригиналов топографических карт, изготовленных на малодеформируемом пластике) и наиболее актуальным (обновление выполнено в течение 2008-2012 гг.) информационным ресурсом о территории страны. Кроме того, использование государственных ЦТК для проведения исследований позволяет сохранить чистоту эксперимента и исключить влияние фактора качества применяемого картографического материала на получаемые результаты. Такой эксперимент может быть полностью воспроизведен независимым исследователем, поскольку полученное на основании государственных ЦТК метрическое описание объекта исследований (территория озера Байкал) с абсолютной точностью (по количеству поворотных точек границ, их координат, площади и периметра объекта) будут идентично метрике объекта, использованном в исследованиях.

Для определения геометрического центра озера Байкал были использованы 56 номенклатурных листов (НЛ) ЦТК масштаба 1:100 000, обновленных в период 2008 – 2011 гг. (рис. 1). Для получения единого площадного объекта фрагменты границы озера Байкал, попадающие на отдельные НЛ ЦТК масштаба 1:100 000, были объединены. Затем из этого площадного объекта были исключены все острова и соры [22]. При этом за границу территории озера Байкал была принята береговая линия с отметкой 455,9 м.

В конечном виде метрическое описание единого площадного объекта, соответствующего территории озера Байкал, было подготовлено в системе геодезических координат СК-95 в форматах вышеуказанных ПО ГИС. Геометрические характеристики территории озера Байкал имеют следующие значения: площадь – 32535 кв.км; периметр – 2 206,8 км.

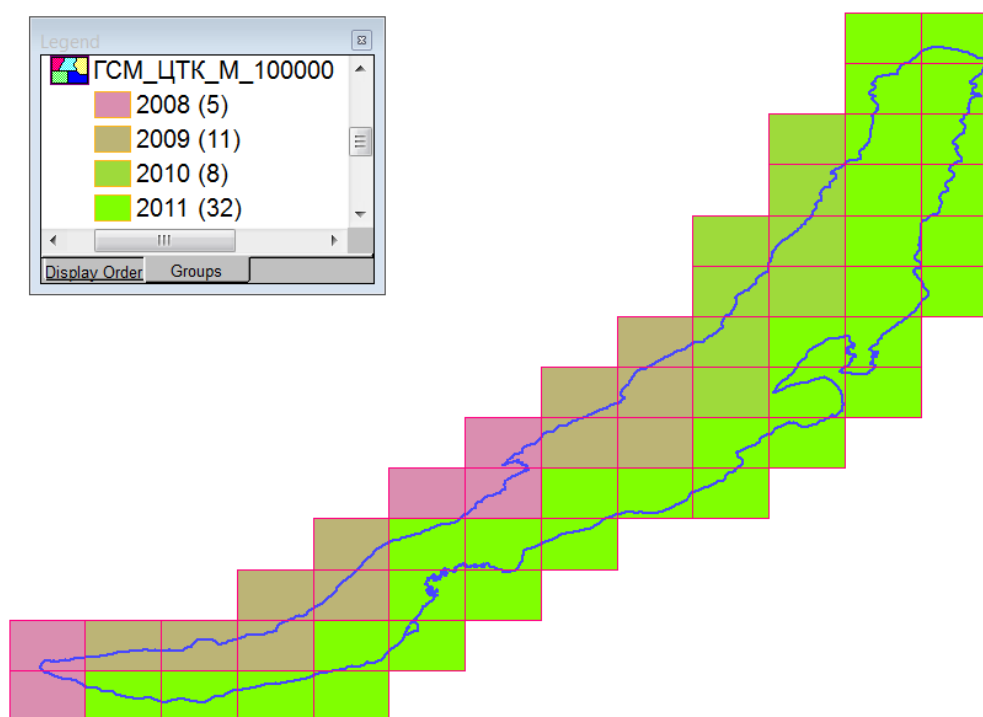


Рис. 1. Используемые в эксперименте ЦТК масштаба 1:100 000, покрывающие озеро Байкал

Контур береговой границы озера Байкал обладает следующими характеристиками детальности метрического описания: количество сегментов границ – 36590; минимальная длина сегмента границы – 4,96 м.; максимальная длина сегмента границы – 563,86 м.; средняя длина сегмента границы – 60,32 м.

Таким образом, координатное описание объекта исследования в ЦТК масштаба 1:100 000, использованных для определения геометрического центра озера Байкал, подготовлено с достаточной степенью детальности.

Результаты

Первым способом определения географического центра территории был выбран простой по реализации и теоретически обоснованный прием: среднее арифметическое из координат всех поворотных точек ее границы [11, 16 и 17]. Вычисление среднего арифметического из координат, выполнено по массиву координат вершин границы озера, извлеченных из метрики объекта в обменном файле *MapInfo (mif)*.

При вычислении координат центроида территории озера Байкал в ПО ГИС: MapInfo, ArcView, ГИС-Карта, GeoMedia использовался стандартный инструмент для определения центроида полигонального объекта.

Результаты определения координат центроида и вычисления суммы квадратов расстояний от него до всех вершин контура границ озера приведены в таблице.

Ведомость координат центроидов оз. Байкал и значений критерия оценки качества результатов

Название ГИС/способа	Широта			Долгота			[S ²], км ²
	о	'	"	о	'	"	
MapInfo	53	37	2,9	109	7	22,3	1 612 819 263,8
GeoMedia	53	37	3,1	108	7	51,8	1 236 957 419,6
ГИС-Карта	53	37	0,2	108	7	51,8	1 227 419 350,0
ArcView	53	22	14,8	107	34	51,2	1 090 651 617,6
Среднее арифметическое	53	13	5,5	107	27	27,7	1 077 590 047,3
GeoOper	53	13	5,3	107	27	27,5	1 077 589 557,0

Также в исследование было включено ПО GeoOper, специально разработанное для высокоточного определения геометрических характеристик больших по площади территорий, ранее использованное для определения метрических параметров как территории Российской Федерации, так и ее регионов [21, 23]. Здесь разработан программный модуль, позволяющий автоматически оценивать качество векторизации контура объекта, т.е. насколько равномерно (с одинаковой детальностью) произведено метрическое описание контура границ территории.

Результаты вычисления в ПО GeoOper координат центроида и суммы квадратов расстояний от него до всех вершин границы озера также приведены в таблице.

Обсуждение

По результатам исследования определено, что вычисленные вышеуказанными способами геометрические центры территории (табл. 1), покрываемой озером Байкал, располагаются в пределах 120 км (рис 2).

Центроид озера Байкал, полученный как среднее арифметическое из координат вершин его границ и в ПО GeoOper располагаются на острове Ольхон (рис.2): на удалении 2,0 км от западного берега острова; в 2,6 км на юго-восток от поселения Харанцы. Расстояние на эллипсоиде между центроидами, определенными этими способами, составляет 7,3 м. Значение критерия (1) для программы GeoOper принимает минимальное значение из всех полученных в исследовании вариантов (таблица).

Центроид озера, определенный в MapInfo, располагается у береговой линии Баргузинского залива [22]: в 118,9 км. к северо-востоку от среднего арифметического варианта. Значение критерия (1) для центрода, определенного в MapInfo, на 49,7 % больше чем в программе GeoOper (таблица).

Центроид озера, определенный в GeoMedia, располагается вне водной глади озера Байкал: в 69 км западнее острова Ольхон (рис. 2). Значение критерия (1) в этом случае на 14,8 % больше чем в программе GeoOper (таблица).

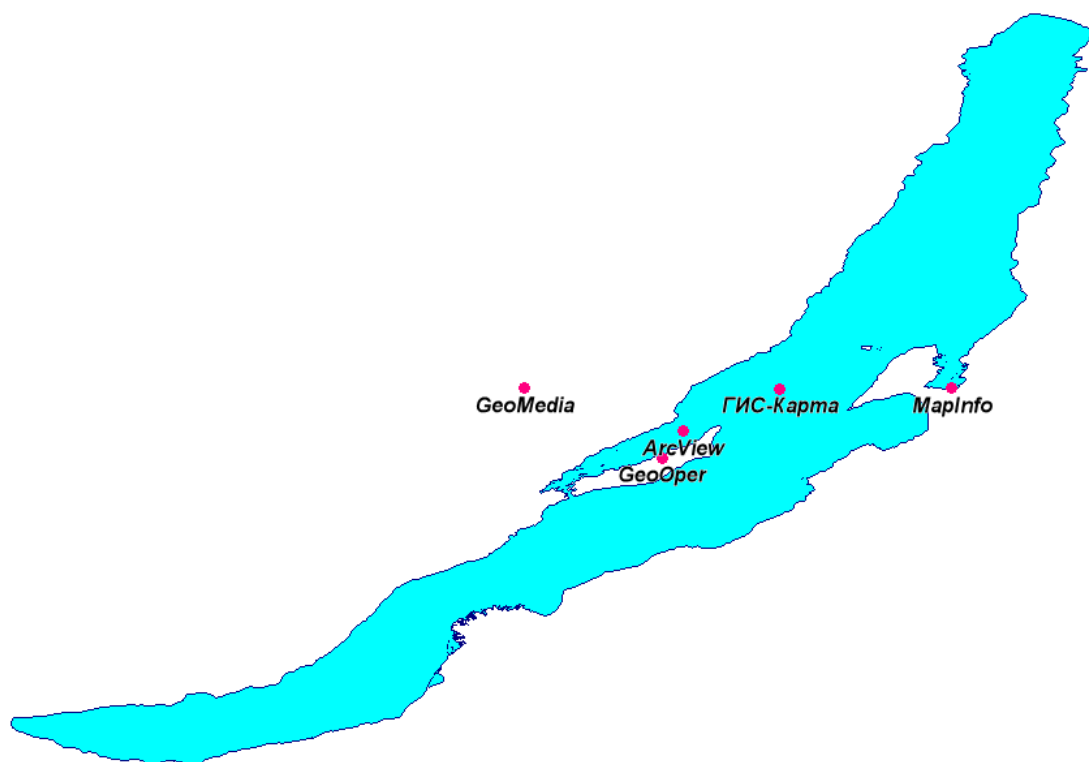


Рис. 2. Схема расположения географических центров оз. Байкал

Центроид озера, определенный в ПО ГИС-Карта, располагается внутри озера: напротив полуострова Святой Нос [22]; в 63,0 км на северо-восток от среднего арифметического (рис.2). Значение критерия (1) на 13,9 % больше чем в программе GeoOper (табл.1).

Центроид озера, определенный в ArcView, располагается примерно посередине пролива Малое Море (рис.2): в 7,2 км к западу от западного берега острова Ольхона; в 18,8 км на северо-восток от варианта, вычисленного как среднее арифметическое. Значение критерия (1) для положения центроида, определенного в ArcView, на 1,2 % больше чем в программе GeoOper (табл. 1).

Заключение

Исследования по определению положения геометрического центра озера Байкал, выполненные способом среднего арифметического и в пяти программных продуктах ГИС, и полученные шесть вариантов решения задачи показали, что наилучшим образом заданному критерию (1) соответствует решение, вычисленное в ПО GeoOper.

Варианты положения центроида озера Байкал, полученные в ПО ГИС: ArcView, MapInfo, GeoMedia и ГИС-Карта, по критерию (1) отличаются от лучшего решения на величины от 1,2% до 49,7%. И они располагаются в пределах 120 км от лучшего решения.

Таким образом, рассмотренное в работе ПО ГИС не всегда можно использовать для определения географического центра территории. Так как при определении центроида объекта применяются принципы и подходы, которые эффективны только для территорий, имеющих простую геометрическую форму. Поэтому, если территория имеет сложную геометрическую форму, как например территория оз. Байкал, то необходимо дополнительно выполнить оценку качества положения центроида по критерию (1).

Географический центр озера Байкал, определенный в ПО GeoOper как наиболее оптимальный вариант по выбранному в исследованиях критерию оценки качества, может быть рекомендован для закрепления его на местности с целью повышения туристско-рекреационного потенциала региона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Севастьянова С.А Региональное планирование развития туризма и гостиничного хозяйства: учеб. пособие. – М.: КНОРУС, 2007. – 256 с.
2. Ушакова, Е. О. Методологические основы оценки ресурсов развития туризма региона: монография / Е. О. Ушакова, И. И. Золотарев, С. А. Вдовин. – Новосибирск: СГГА, 2014. – 194 с.
3. Федеральный закон от 24.11.1996 г. № 132-ФЗ «Об основах туристской деятельности в Российской Федерации» (с измен. и доп., вступ. в силу с 01.01.2018) [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.08.2011 г. № 644 (ред. От 07.02.2018 г.) «О федеральной целевой программе «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011-2018 годы)» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
5. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27.12.2012 г. № 2567-р «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013-2018 годы» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
6. Постановление Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 г. № 317 «Об утверждении государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013-2018 годы» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
7. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.08.2014 г. № 788 «Об утверждении плана реализации в 2014 году и в плановый период 2015 и 2016 годов государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2013 – 2020 годы» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
8. Приказ Министерства культуры Российской Федерации от 01.09.2014 г. № 1497 «Об утверждении детального плана-графика реализации государственной программы Российской Федерации «Развитие культуры и туризма» на 2014 год и плановый период 2015-2016 годы» [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
9. Кусков А. С. Туристское ресурсоведение: учеб. пособие. – М.: Академия, 2008. – 208 с.
10. Патент G01C11/00, G09B29/00 Способ определения геометрического центра участка территории и/или населенного пункта. Авторы: Ващенко Б.О., Попело А.В., Попело В.Д., Русинов П.С., 2005, 11 с.
11. Калюжина Л. Н., Калюжин В. А., Сачкова А. Н. Сопоставление способов определения географического центра территории // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка – 2015. – № 5/С. – С. 34–38.

12. Менделеев Д.И. Познание России. Заветные мысли/Д.И.Менделеев. – М.: Эксмо, 2008. – 688 с.
13. Джаман В.О., Заячук М.Д., Заячук О.Г. Определение географического центра территории и оценка транспортно-географического положения административных центров Черновицкой области. URL: <http://collectedpapers.com.ua/ru/herald/527/viznachennya-geografichnogo-centru-teritoriyi-ta-ocinka-transportno-geografichnogo-polozhennya-administrativnix-centriv-cherniveckoyi-oblasti-dzhaman-v-o-zayachuk-m-d-zayachuk-o-g>(дата обращения: 12.03.2018).
14. Peter Rogerson. Where's your county seat? A modern mathematical method for calculating centers of geography. URL: <http://theconversation.com/wheres-your-county-seat-a-modern-mathematical-method-for-calculating-centers-of-geography-71060> (дата обращения: 12.03.2018).
15. Jason Daley New Calculations Reposition the Geographical Center of North America URL: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/new-calculations-reposition-geographical-center-north-america-1-180961932/> (дата обращения: 12.03.2018).
16. Яблонский А.А., Никифоров В.М. Курс теоретической механики. Учебник для техн. вузов. 8-е изд., стереотипное. – СПб.: Изд. «Лань», 2001. – 768 с.
17. Способы определения координат центра тяжести твердых тел. URL: <http://www.isopromat.ru/teormeh/kratkaja-teoria/opredelenie-koordinat-centra-tyazhesti> (дата обращения: 05.02.2018).
18. Обиденко В. И., Оприцова О. А. Об определении метрических параметров больших по площади территорий средствами программного обеспечения геоинформационных систем // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 44–52.
19. Мазуров Б. Т., Падве В. А. Метод наименьших квадратов (статика, динамика, модели с уточняемой структурой) // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 22–33.
20. Обиденко В. И. Определение пространства Российского государства – исторические, технологические и политические аспекты // Геодезия и картография. – 2015. – № 5. – С. 41–49.
21. Обиденко В. И. Методологические подходы и алгоритмы определения метрических параметров территории Российской Федерации на земном сфероиде с использованием геоинформационных технологий // Геодезия и картография. – 2012. – № 4. – С. 39–45.
22. Беркин Н.С. Байкаловедение: учебное пособие/Н.С.Беркин, А.А.Макаров, О.Т.Русинек. – Иркутск: Изд. Ирк. гос. ун-та, 2009. – 291 с.
23. Обиденко В. И. Разработка и исследование специализированной программы для определения метрических параметров территории Российской Федерации // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 3 (19). – С. 18–29.

REFERENCES

1. Sevastyanova S.A. Regional planning of tourism and hotel industry development: Textbook. allowance. - Moscow: KNORUS, 2007. - 256 p.
2. Ushakova, E.O. Methodological foundations of the evaluation of tourism development resources in the region: monograph / E.O. Ushakova, I.I. Zolotarev, S.A. Vdovin. - Novosibirsk: SSGA, 2014. - 194 with.
3. Federal Law No. 132-FZ of 24.11.1996 "On the basis of tourist activities in the Russian Federation" (with amendments and additions, in effect since 01.01.2018) [Electronic resource]. - Access from the legal system "Consultant Plus".
4. Decree of the Government of the Russian Federation No. 644 of 02.08.2011 (as amended on 07.02.2018) "On the federal target program" Development of domestic and incoming tourism in the Russian Federation (2011-2018 years "[Electronic resource]. - Access from the legal system "Consultant Plus".

5. Order of the Government of the Russian Federation of December 27, 2012 No. 2567-r "On approval of the state program of the Russian Federation" Development of Culture and Tourism "for 2013-2018" [Electronic resource]. - Access from the legal system "Consultant Plus".
6. Decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2014 No. 317 "On approval of the state program of the Russian Federation" Development of Culture and Tourism "for 2013-2018" [Electronic resource]. - Access from the legal system "Consultant Plus".
7. Decree of the Government of the Russian Federation of 09.08.2014 No. 788 "On approval of the plan for the implementation in 2014 and in the planning period of 2015 and 2016 of the state program of the Russian Federation" Development of Culture and Tourism "for 2013-2020" [Electronic resource]. - Access from the legal system "Consultant Plus".
8. Order of the Ministry of Culture of the Russian Federation of 01.09.2014 No. 1497 "On the approval of a detailed plan for the implementation of the state program of the Russian" Development of Culture and Tourism "for 2014 and the planning period 2015-2016" [Electronic resource]. - Access from the legal system "Consultant Plus".
9. Kuskov A.S. Tourist resource science: Textbook. allowance. - Moscow: Academia, 2008. - 208 p.
10. Patent G01C11 / 00, G09B29 / 00 Method for determining the geometric center of a section of a territory and / or a settlement. Authors: Vashchenko BO, Popelo AV, Popelo VD, Rusinov PS, 2005, 11 p.
11. Kalyuzhina L.N., Kalyuzhin V.A., Sachkova A.N. Comparison of the methods for determining the geographical center of the territory, Izv. universities Geodesy and aerial photography - 2015. - № 5 / C. - P. 34-38.
12. Mendelev D.I. Cognition of Russia. Treasured thoughts / DI Mendelev. - Moscow: Eksmo, 2008. - 688 p.
13. Jaman V.O., Zayachuk M.D., Zayachuk O.G. Determination of the geographical center of the territory and assessment of the transport and geographical situation of the administrative centers of the Chernivtsi region. URL: <http://collectedpapers.com.ua/ru/herald/527/viznachennya-geografichnogo-centru-teritoriyi-ta-ocinka-transportno-geografichnogo-polozhennya-administrativnix-centriv-cherniveckoyi-oblasti-dzhaman-v-o-zayachuk-m-d-zayachuk-o-g> (date of circulation: 12.03.2018).
14. Peter Rogerson. Where's your county seat? A modern mathematical method for calculating centers of geography. URL: <http://theconversation.com/wheres-your-county-seat-a-modern-mathematical-method-for-calculating-centers-of-geography-71060> (date of circulation: 12.03.2018).
15. Jason Daley New Calculations Reposition the Geographical Center of North America URL: <https://www.smithsonianmag.com/smart-news/new-calculations-reposition-geographical-center-north-america-1-180961932/> (date of circulation: 12.03.2018).
16. Yablonsky A.A., Nikiforov V.M. Course of theoretical mechanics. Textbook for techn. universities. 8 th ed., Stereotyped. - SPb .: Izd. "Lan", 2001. - 768 p.
17. Methods for determining the coordinates of the center of gravity of solids. URL: <http://www.isopromat.ru/teormeh/kratkaja-teoria/opredelenie-koordinat-centra-tyazhesti> (reference date: 05.02.2018).
18. Obidenko, V.I. Opritova, O.A., "Determination of metric parameters of large territories by means of software for geoinformation systems," Geodesy and Cartography. - 2016. - No. 3. - P. 44-52.
19. Mazurov B.T., Padve V.A. The method of least squares (statics, dynamics, models with a refined structure) // Bulletin - 2017. - Volume 22. - №2. - P. 22-33.
20. Obidenko V.I. The definition of the space of the Russian state - historical, technological and political aspects // Geodesy and cartography. - 2015. - No. 5. - P. 41-49.
21. Obidenko V.I. Methodological approaches and algorithms for determining the metric parameters of the territory of the Russian Federation on the earth spheroid using geoinformation technologies // Geodesy and cartography. - 2012. - № 4. - P. 39-45.

22. Berkin N.S. Baikal studies: textbook / NS Berkin, AA Makarov, OT Rusynek. - Irkutsk: Ed. Irk. state. University, 2009. - 291 p.
23. Obidenko V.I. Development and research of a specialized program for determining metric parameters of the territory of the Russian Federation [Text] / VI Obidenko // Bulletin of SSGA. - 2012. - No. 3 (19). - P. 18 - 29

© *В. А. Калюжин, Б. Т. Мазуров, В. И. Обиденко, В. В. Черников, 2018*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИВЕРГЕНЦИИ ВЕКТОРНЫХ ПОЛЕЙ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Вячеслав Георгиевич Колмогоров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры геоматики и инфраструктуры недвижимости, тел. (383)330-80-25, e-mail: Vyacheslavgeorgievich@mail.ru

Борис Тимофеевич Мазуров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры космической и физической геодезии, тел. (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Геодезические смещения точек можно описать изменением геопространственных элементов (координат, высот, направлений), которые дают повторные измерения. Полученный при этом вектор напряженно-деформированного состояния земной поверхности может быть использован как для 1) расчета тензора деформации земной поверхности в исследуемом районе, так и для 2) определения дифференциальной характеристики векторных полей, которая называется дивергенцией. В статье обсуждается идея определения дивергенции по геопространственным смещениям, полученным только по дискретным геодезическим данным.

Ключевые слова: геодезические данные, векторное поле, поток вектора, орт нормали на вектор, дивергенция, векторные трубки, полиномиальные модели.

DETERMINATION OF THE DIVERGENCE VECTOR FIELDS IN THE FRAME EARTH SURFACE

Vyacheslav G. Kolmogorov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Geomatics, Property and Infrastructure, phone: (383)330-80-25, e-mail: Vyacheslavgeorgievich@mail.ru

Boris T. Mazurov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Department of Space and Physical Geodesy, phone: (383)343-29-11, e-mail: btmazurov@mail.ru

Geodetic points displacements can be described by change in geospatial elements (Cartesian coordinates, elevations, bearings) that are obtained by repeated measurements. The resulting vector of the earth's surface stress-strain state can be deployed for both 1) calculation the strain tensor of the earth's surface in the survey area, and 2) determination of the differential characteristic of the vector fields, that are called divergences. In the manuscript is discussed the idea of divergences determination in discrete geospatial measurements of displacement based on geodetic data only.

Key words: geodetic data, vector field, flux of a vector, the ORT of the normal to the vector divergence, vector tube, polynomial models.

Введение

В работе [1] геодинамические системы отнесены к сложным системам с природными компонентами. Очень важную информацию о развитии таких систем и их потенциальной опасности для жизнедеятельности и экологического равновесия дают геодезические методы координатного мониторинга, включая как классические, так и основанные на ГНСС-технологиях. Примерами геодинамических систем являются территории активных геотектонических процессов [2–10], региональные геодинамические процессы [11–16], вулканические области [17], экологически опасные регионы [18], инженерные комплексы [19], места разработки полезных ископаемых [20–24]. Фундаментальная составляющая наук о Земле, ее изменчивости находится в состоянии развития теорий, методов и технологий мониторинга. В этом контексте востребованы математические результаты описания физических полей различной природы.

Математическая теория поля [25–28] может быть использована не только для описания течений в жидкостях и газах, но и для изучения потоков вещества в мантии и ядре Земли, при исследовании деформаций в сильно текущих горных породах осадочного покрова и в массах пород, испытывающих региональный метаморфизм в глубине земной коры. Сложнейшие деформации слоев в гнейсах развивались при значительном протекании масс, закономерности которого можно понять лишь опираясь на математическую теорию потоков в жидкостях. Эта же теория вполне применима и для познания роли магматических расплавов в развитии тектонических процессов [29], а также может быть использована для изучения современных смещений крупных деформированных массивов приповерхностных структур земной коры.

Поток векторного поля

В пределах векторного поля некоторую замкнутую или незамкнутую поверхность Σ можно разделить на малые элементы площади $d\sigma$, имеющие свой орт нормали $\vec{n}$. С центром каждого элемента связан определенный вектор $\vec{V}$ данного поля (средний для этого элемента), который бывает различно направлен относительно элементарной площадки. Скалярное произведение орта нормали $\vec{n}$ на ее вектор $\vec{V}$, умноженное на площадь элемента $d\sigma$, называется *поток векторного поля* через элементарную площадку. Это произведение является скаляром. Поток векторного поля через всю поверхность Σ называется интеграл по всей поверхности

$$Q = \iint_{\Sigma} (\vec{n} \vec{V}) d\sigma. \quad (1)$$

Если вектор $\vec{V}$ изображает скорость течения материала (например, пластичных горных пород), то Q является его объемом, протекающим в единицу времени через выбранную поверхность Σ ..

Дивергенция

Дивергенция – одна из часто используемых дифференциальных характеристик векторного поля, представляющая собой одно число (скаляр), относящееся к определенной точке. Векторное поле в целом описывается скалярным полем дивергенции, которая отражает изменение величины векторов в непосредственной близости от рассматриваемой точки во всех направлениях. Поэтому дивергенция относится к числу объемных производных векторного поля.

Алгоритм вычисления дивергенции следующий. Вокруг характеризующей точки векторного поля создается (математически описывается) замкнутая поверхность произвольной формы. Определяемый по формуле (1) поток Q вектора $\vec{V}$ делится на объем Θ , окруженный произвольной поверхностью Σ , и рассматривается отношение $\frac{Q}{\Theta}$. Предел, к которому стремится это отношение при стягивании поверхности Σ в точку M и приближении объема Θ к нулю, называется дивергенцией

$$\operatorname{div} \vec{V} = \lim_{\Theta \rightarrow 0} \frac{Q}{\Theta} = \lim_{\Theta \rightarrow 0} \frac{1}{\Theta} \iint_{\Sigma} (\vec{n} \cdot \vec{V}) d\sigma \quad (2)$$

Векторные трубки

Важным понятием теории исследования векторных полей является векторная трубка. Ее можно получить, если через произвольный замкнутый контур L в каждой его точке провести силовую линию поля (рис. 1).

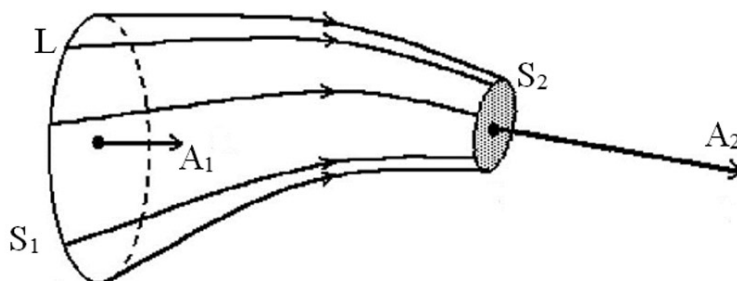


Рис. 1. Изображение векторной трубки, ограниченной силовыми линиями, входным сечением S_1 и выходным сечением S_2 .

Разность площади выходного сечения S_2 и входного сечения S_1 векторной трубки при малых ее размерах и при равенстве входного и выходного векторов позволяет количественно оценить значение дивергенции.

Заключение

Авторы предлагают для определения дивергенции точек векторных полей смещений земной поверхности использовать дискретные геодезические наблюдения. Необходимое для дальнейших вычислений векторное поле предлагается восстанавливать полиномиальными моделями. Например, пространственное векторное поле для каждой точки с известными координатами x , y , z и смещениями u_x , u_y , u_z представляется полиномами вида

$$u_x = a_0 + a_1x + a_2y + a_3z + a_4x^2 + a_5y^2 + a_6z^2 + a_7xy + a_8xz + a_9yz ,$$

$$u_y = b_0 + b_1x + b_2y + b_3z + b_4x^2 + b_5y^2 + b_6z^2 + b_7xy + b_8xz + b_9yz ,$$

$$u_z = c_0 + c_1x + c_2y + c_3z + c_4x^2 + c_5y^2 + c_6z^2 + c_7xy + c_8xz + c_9yz .$$

Далее коэффициенты полиномов a , b , c вычисляются путем решения общей системы таких полиномов, составленных для всех пунктов наблюдаемой геодезической сети. Полученные уравнения векторного поля позволяют вычислять вектора смещений в любой точке, формировать векторные трубки малого объема и по их входным и выходным сечениям вычислять дивергенцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Полищук Ю. М. Имитационно-лингвистическое моделирование систем с природными компонентами. – Новосибирск : Наука, 1992. – 229 с.
2. Современные движения континентальной окраины Дальнего Востока России по результатам GPS-наблюдений / В. Ю. Тимофеев, Д. Г. Ардюков, П. Ю. Горнов, А. В. Тимофеев, М. Г. Валитов, Е. В. Бойко // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 88–103.
3. Вертикальные движения юга Приморского края и их связь с геодинамическими процессами в зоне субдукции / М. Д. Герасименко, Н. В. Шестаков, А. Г. Коломиец, Г. Н. Герасимов, Х. Такахаси, Д. В. Сысоев, Г. В. Нечаев // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 30–34.
4. Inaba H., Itakura Y., Kasahara M. Surface Velocity Computation of Debris Flows by Vector Field Measurements // Phys. Chem. Earth (B). – 2000. – Vol. 25(9). – P. 741–744.
5. Arattano M., Marchi L. Measurements of Debris Flow Velocity through Cross-Correlation of Instrumentation Data // Natural Hazards and Earth System Sciences. – 2005. – Vol. 5. – P. 137–142.
6. Kaftan V. I., Ustinov A. V. Use of global navigation satellite systems for monitoring deformations of water-development works // Power Technology and Engineering. – 2013. – Vol. 47, Issue 1. – P. 30–37.
7. Segall P., Davis J. L. GPS applications for geodynamics and earthquake studies // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. – 1997. – Vol. 25. – P. 301–336.

8. Shestakov N., Takahashi H., Ohzono M. et al. Analysis of the far-field crustal displacements caused by the 2011 Great Tohoku earthquake inferred from continuous GPS observations // *Tectonophysics*. – 2012. – Vol. 524–525. – P. 76–86.
9. On the influence of RF absorbing material on the GNSS position / W. Aerts, C. Bruyninx, P. Defraigne, G. A. E. Vandenbosch // *GPS Solutions*. – 2014. – DOI: 10.1007/s10291-014-0428-y.
10. GPS-measurements of recent crustal deformation in the junction zone of the rift segments in the central Baikal rift system / A. V. Lukhnev, V. A. San'kov, A. I. Miroshnichenko, S. V. Ashurkov, L. M. Byzov, A. V. San'kov, Yu. B. Bashkuev, M. G. Dembelov, E. Calais // *Russian Geology and Geophysics*. – 2013. – Vol. 54. – P. 1417–1426.
11. Серов М. А., Жижерин В. С. Моделирование напряженно-деформированного состояния земной коры верхнего Приамурья // *Успехи современного естествознания*. – 2017. – № 10. – С. 107–112.
12. Басманов А. В. Геодезический мониторинг Байкальского геодинамического полигона Росреестра // *Вестник СГУГиТ*. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 48–54.
13. Мазуров Б. Т. Совместная математическая обработка разнородных комплексных геодезических и геофизических наблюдений // *Изв. вузов. Горный журнал*. – 2007. – № 6. – С. 30–39.
14. Колмогоров В. Г. Современная геодинамика Сибири по результатам геодезических и геолого-геофизических исследований. – Новосибирск, 2013. – 236 с.
15. Колмогоров В. Г., Калюжин В. А. Приповерхностные деформации в районе Таштагольского геодинамического полигона // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2015. – № С/5. – С. 15–19.
16. Колмогоров В. Г., Дударев В. И. Состояние проблемы комплексного изучения современной геодинамики Сибири в конце двадцатого столетия // *Вестник СГГА*. – 2014. – Вып. 4 (28). – С. 3–12.
17. Мазуров Б. Т. Модель системы наблюдений за вертикальными движениями земной поверхности и изменениями гравитационного поля в районе действующего вулкана // *Изв. вузов. Горный журнал*. – 2007. – № 3. – С. 93–99.
18. Хамедов В. А., Мазуров Б. Т. Разработка методических вопросов создания системы спутникового мониторинга состояния лесных экосистем в условиях воздействия нефтегазового комплекса территории западной Сибири // *Вестник СГУГиТ*. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 16–31.
19. Шоломицкий А. А., Лагутина Е. К., Соболева Е. Л. Высокоточные геодезические измерения при деформационном мониторинге аквапарка // *Вестник СГУГиТ*. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 45–60.
20. Дорогова И. Е. Исследование смещений и деформаций бортов карьера по результатам повторных геодезических измерений // *Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Международ. 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. 31–36.
21. Соловицкий А. Н. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений Кузбасса: геодезические построения // *Вестник СГУГиТ*. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 81–89.
22. Соловицкий А. Н. Геодезический мониторинг напряженно-деформированного состояния земной коры в районах освоения угольных месторождений Кузбасса: точность регистрации и определения координат // *Вестник СГУГиТ*. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 16–25.
23. Воздействие современных геодинамических движений на устойчивость бортов карьеров / А. Д. Сашурин, В. А. Бермухамбетов, А. А. Панжин, С. В. Усанов, В. Е. Боликов // *Проблемы недропользования*. – 2017. – № 3 (14). – С. 38–43.

24. Панжин А. А., Сашурин А. Д., Панжина Н. А. Геодинамический мониторинг на Узельгинском месторождении // Маркшейдерия и недропользование. – 2016. – Т. 1. № 3 (83). – С. 30–35.
25. Акивис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. – М. : «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 352 с.
26. Седов Л. И. Механика сплошной среды. Том 1. – М. : «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1973. – 536 с.
27. Седов Л. И. Размышления о науке и об ученых. – М. : «Наука», 1980. – 440 с.
28. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. – М. : «Мир», 1974. – 319 с.
29. Гзовский М.В. Математика в геотектонике. – М. : «Недра». – 1971. – 240 с.

© В. Г. Колмогоров, Б. Т. Мазуров, 2018

МОБИЛЬНАЯ КАРТОГРАФИЯ ДЛЯ ОХОТНИКОВ И РЫБОЛОВОВ

Елена Степановна Утробина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: kaf.kartography@ssga.ru

Ирина Петровна Кокорина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: kaf.kartography@ssga.ru

Статья касается вопроса развития современного направления картографии – мобильной картографии для охотников и рыбаков. В статье кратко рассмотрен анализ и развитие карт для охотников и рыбаков, элементы карты применительно к мобильным картографическим приложениям, интерфейс карты.

Ключевые слова: мобильная картография, мобильные приложения, элементы карты, интерфейс карты, карты для охотников и рыбаков.

MOBILE CARTOGRAPHY FOR HUNTERS AND FISHERMEN

Elena S. Utrobina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Assistant Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: kaf.kartography@ssga.ru

Irina P. Kokorina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Assistant Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: kaf.kartography@ssga.ru

The article deals with the development of the modern cartography - mobile cartography for hunters and fishermen. The article briefly analyzes the analysis and development of maps for hunters and fishermen, map elements for mobile mapping applications, map interface.

Key words: mobile cartography, mobile applications, map elements, map interface, maps for hunters and fishermen.

Введение

Широкое распространение Интернет, информатизация общества и популяризация веб-технологий в настоящее время повлекли за собой новые решения в области современной картографии, а также к появлению новых направлений практического использования картографических произведений. Наиболее популярными для рядового потребителя, перспективными и динамично развивающимися направлениями на сегодняшний день являются мобильная и веб-

картография. Обусловлено это современными возможностями мобильных устройств, геолокации и средств беспроводной передачи данных. В связи с этим широкое распространение получила публикация карт на мобильных устройствах, которые «всегда под рукой»; современные карты возвращают себе мобильность, которой обладали бумажные карты, даже при отсутствии доступа в сеть Интернет, благодаря чему пользователь может себе позволить иметь постоянный доступ к картографической информации и получению справочных сведений [13].

Значимость мобильных устройств в современном мире значительно возросла, и теперь они используются как один из инструментов для выполнения производственных работ, и существенную роль в этом направлении их использования положили именно картографические разработки. Возможности современных мобильных устройств привели к их огромной популярности и, как следствие, к появлению активно развивающегося рынка мобильных картографических приложений. Почти на каждом современном смартфоне имеются картографические приложения и приложения, использующие функции геопозиционирования [14].

Карты с каждым годом становятся более доступными рядовому потребителю благодаря сочетанию новых приемов получения информации по карте, интуитивно понятному интерфейсу, наглядным интерактивным условным знакам, навигационным средствам и мультимедийным эффектам. Появились дополнительные возможности использования карт, а также расширилась информационная составляющая содержания карт [3].

В связи с этим широкую популярность получили картографические сайты, картографические приложения и картографические порталы для охотников и рыболовов с множеством веб-карт и картографические приложения для мобильных устройств этой тематики, что связано также с развитием охотничье-рыболовного туризма [2,4,8,12].

Используя современные технологии, к карте можно привязать любое дополнительное тематическое содержание, и в этом контексте могут ставиться вопросы об источнике информации: откуда она может быть взята, об ее упорядочивании, визуализации, приемам передачи, а также достоверность и актуальность на данный момент. Другой вопрос – как пользователь может узнать о наличии имеющихся данных, с помощью каких инструментов работы с картой он их получит. Следует уделить внимание анализу отображения содержания, условным обозначениям, а также разработке интерфейса и его структуре для мобильных картографических приложений.

Основной задачей мобильной картографии является разработка карт для воспроизведения их мобильным устройством с учетом его особенностей (малыми габаритами, доступом в Интернет, геолокацией) с целью их наиболее эффективного использования в решении повседневных вопросов современных пользователей, в том числе охотниками и рыболовами. Пользователь может получить достоверную и актуальную на момент своего обращения к картографи-

ческому производству информацию, а также дополнительные сведения об объектах содержания карты [9].

По статистике государственных органов охотничьего надзора, более половины всех выявляемых нарушений правил охоты так или иначе связаны с незнанием границ закрепленных и общедоступных охотничьих угодий, что, как следствие, приводит к нарушениям установленного правового режима охоты [11].

Задачей исследования является анализ этапов развития содержания картографических произведений для охотников и рыболовов, интерфейса мобильных картографических приложений и веб-карт, инструментов их использования, а также сопоставление классической терминологии элементов карты с современными картами в мобильных приложениях. Для этого необходимо выявить закономерности в содержании, возможности работы с разного рода информацией, ее использованием и удобством работы для простого потребителя в соответствии с современным информационно-техническим развитием.

Методы и материалы

Для анализа ранее изданных картографических произведений использовались карты для охотников и рыболовов, а также различные карты зоогеографической тематики, представленные в масштабах от 1:600 000 до 1:10 000 000 [7]. Общегеографическая основа анализируемых карт преимущественно представлена стандартными общегеографическими элементами, при этом тематические элементы содержания показаны недостаточно в плане обеспечения охотничьего хозяйства, охраны природы, животного населения территории. Это прежде всего связано с мелкомасштабностью карт, с регламентированными требованиями к возможности чтения и восприятия содержания карты, а также информационной емкостью карты. Расширение тематического содержания карты возможно только с помощью дополнительных и вспомогательных элементов карты, таких как справочные данные, фото, карты-врезки и т. д. Основные способы картографического отображения на данных картах – художественные и символические значки, линии, ареалы, качественный и количественный фон. Способы отображения подобраны иногда не совсем удачно в плане цветового оформления и читаемости для простого потребителя, что затрудняет понимание карт и создает не всегда адекватное впечатление о картографируемом явлении.

Кроме того, на охотничьи карты также наносятся сведения об иных территориях и объектах охотничьей инфраструктуры, имеющих значение и представляющих интерес для охотника или рыболова [15]. Это, в первую очередь, границы федеральных заповедников, региональных заказников, зон охраны охотничьих ресурсов (воспроизводственные участки), а также рыбопромысловые участки и иные территории, связанные с охотхозяйственной деятельностью и охотой в России.

С развитием современных компьютерных технологий, широкого внедрения геоинформационных систем и мультимедийных технологий стали созда-

ваться картографические справочники на компакт-дисках, карты в сети Интернет, при этом значительно расширились возможности показа тематического содержания. Стало возможным построение виртуальных геоизображений, показывающих сезонные изменения в животном мире, миграции птиц. Появились возможности идентификации фотографии животных и птиц с их голосами, а также получение детальных сведений о видах птиц и зверей: характеристика внешних признаков, голосов, карты и данные об их распространении, подробное описание образа жизни, классе, отрядах, семействах (места в систематике), биологии, статусе пребывания животных на той или иной территории [16]. Компакт-диски содержат веб-страницы, архивы с документами и информационными материалами, карты, диаграммы и рисунки, электронные версии изданных монографий, книг и брошюр.

Это стало возможным благодаря созданию картографических баз данных, методам пространственного анализа в ГИС, технологиям дистанционного зондирования, а также мультимедийным технологиям. На этом этапе появляется понятие интерфейса, в структуру которого закладывается легенда – классификатор карты, различного рода справочные сведения, фото, видео, инструменты работы с картографическим и справочным содержанием карт.

Результаты

В связи с тем, что современные мобильные устройства обладают технологиями глобального позиционирования, навигации и доступа в Интернет, геоинформационные приложения, функционирующие на мобильных устройствах (или мобильные ГИС) позволяют не только обрабатывать, анализировать и визуализировать пространственные данные на местности в любое время и в любом месте, но и определять свое местоположение в пространстве и отображать его на цифровой карте, а также использовать дополнительную оперативную и справочную информацию [6]. В результате анализа современных мобильных картографических приложений было выявлено следующее.

Чаще всего мобильные картографические приложения создаются на веб-геоинформационной платформе GeoMixer от компании ИТЦ «СКАНЭКС», доступны для онлайн-просмотра на любых устройствах с доступом в Интернет. Применяется геодезическая система координат WGS-84 в проекции Меркатора. При нанесении административных границ субъектов России используются данные сообщества OpenStreetMap и сервиса публичной кадастровой карты Росреестра, департаментов краев и областей по охране животного мира. При этом содержание, как правило, представлено территориальным охотничьим устройством региона. Показаны границы охотничьих угодий, существующие охотничьи хозяйства, общедоступные охотугодья, особо охраняемые природные территории с ограничением и запретом охоты, зеленые зоны, заказники и заповедники, зоны охраны охотничьих ресурсов, границы закрепленных охотугодий — частных охотничьих хозяйств с адресами и контактами организаций — охотпользователей. Размещается также полезная и правовая информация, которую

обязан знать каждый охотник. Есть карты, на которых показаны охотничьи базы, как туда добраться, с расценками на проживание и дополнительные услуги, а также ближайшие охотничьи магазины с расписанием работы. Некоторые приложения снабжены функцией уведомления о начале продаж путевок на добычу и возможностью обновления карты, если информация становится неактуальной [2].

Кроме того, мобильные картографические приложения для охотников и рыболовов в своем большинстве позволяют определять свое местоположение на карте, использовать навигацию, записывать треки по пути следования и отображать их на карте, добавлять заметки, интересные места, измерять расстояния и площади, искать объекты, в том числе по координатам в онлайн и офлайн режимах благодаря функциям в мобильных телефонах акселерометра (G-сенсора) и гироскопа (гиродатчика).

Интерфейс проанализированных мобильных картографических приложений выглядит стандартным образом и представлен окном карты и меню, а также кнопками дополнительных инструментов. Мобильные карты состоят из слов, видимостью которых можно управлять.

Обсуждение

Проведенный анализ картографических произведений зоогеографической тематики показал, что мобильные карты обладают более широкими возможностями в отличие от других видов карт не только в плане их повсеместного использования. Меняется их информационная насыщенность, простота и доступность в получении качественных и количественных характеристик, а также поиск объектов и явлений и сопутствующей им информации, соответственно элементы карты приобретают новые вид. Так, в классической интерпретации к элементам карты (по А.М. Берлянту) относятся: картографическое изображение, легенда, математическая основа, компоновка, вспомогательное оснащение и дополнительные данные. Картографическое изображение – это содержание карты, т.е. совокупность сведений об объектах и явлениях, их свойствах, размещении, взаимосвязях [1]. На мобильных картах картографическое содержание может быть представлено в двух видах: цифровой общегеографической основой с тематическим содержанием либо в сочетании с аэрокосмическими снимками.

Роль легенды карты принимает на себя интерфейс, адаптированный под мобильное устройство, который включает в себя классификатор с условными обозначениями и текстовыми пояснениями, а также различные инструменты для работы с картой.

Математическая основа, к которой относятся масштаб, проекция, координатные сетки, а также координаты выбранной на карте точки на мобильных картах отображаются интерактивно. Масштаб карты можно менять в широких диапазонах благодаря мультиуровневой генерализации.

Компоновка карты или взаимное размещение различных данных, легенды, названия дополнительных карт и т.д., на мобильных картах сводится также к

эргономичности интерфейса, структурированию и расположению карты на экране мобильного устройства с целью удобства работы.

Вспомогательное оснащение, облегчающее чтение и пользование картой, на мобильных картах входит в структуру интерфейса. Это различные инструменты измерения, выборки, анализа, поиска и т.д.

Дополнительные данные, к которым относятся фотографии, текстовые описания, графики, профили, таблицы [3], на мобильных картах представлены посредством мультимедийной информации. Они могут вызываться как с помощью гиперссылок, так и формироваться с использованием интерфейса, причем в отличие от классического набора дополнительных данных, они могут также включать голосовые сообщения, звуковые сигналы, видео, 3D, оперативные онлайн карты, оповещения МЧС и т.д.

Заключение

Таким образом, основными элементами мобильной карты являются картографическое изображение и интерфейс. Поэтому для современных карт, использующихся в мобильных устройствах, большое внимание следует уделять разработке структуры интерфейса, простоте его использования, как одного из важнейших элементов карты, обеспечивающего работу с картой дополнительными данными сопутствующей тематики.

Задачи, решаемые мобильными картографическими приложениями для охотников и рыболовов, напрямую связаны с возможностями, заложенными в интерфейсе.

1. Картографическая основа с тематическим содержанием может быть отображена в сочетании с космическим снимком.

2. Функции геопозиционирования, благодаря чему можно определять свое местоположение для ориентирования по карте, а также автоматических фотокамер для слежения и фотографирования зверей.

3. Навигация, построение маршрута и запись треков.

4. Инструменты для работы с картой (изменение расстояний, поиск объектов на карте, пространственный анализ, получение дополнительной справочной информации об интересующих объектах, фото, видео, новостные ленты, построение 3D-объектов).

5. В режиме онлайн отображение текущей обстановки, предупреждение и оповещение МЧС, различных правовых структур и т.д. в виде оперативных карт, звуковых сигналов, текста и отображение погодных условий на ближайший период.

6. Возможность быстрого обновления и добавления необходимых данных. Основная работа ведётся на стационарном компьютере, результаты можно загрузить на мобильное устройство; с помощью него можно выполнять картографирование объектов (оперативное обновление), явлений и их состояние, непосредственно на местности.

7. Синхронизация изменений с централизованной базой данных (в онлайн или офлайн режимах) [14].

Таким образом, мобильные картографические приложения для охотников и рыболовов обладают следующими функциями:

- ориентирование на местности, определение своего местоположения;
- определение расположения, поиск и идентификация объекта;
- просмотр справочных сведений об объектах, расписания различных учреждений;
- отображения текущей обстановки в режиме онлайн [5].

Установка карты осуществляется мобильным устройством через Интернет совместно с мобильным картографическим приложением, которое осуществляет взаимосвязь пользователя с картой.

За способы хранения, передачи и визуализации цифровой карты отвечают информационные технологии мобильного устройства, с помощью которого осуществляется доступ к карте через мобильное картографическое приложение.

В силу малого размера экрана картографическая информация формируется и предоставляется пользователю по его запросу в интерактивном режиме.

Использование приемов мультиуровневой генерализации [10]. Разный набор элементов содержания отображается при увеличении / уменьшении масштаба карты на экране мобильного устройства, что позволяет приблизить нужный объект и обозреть более детально ситуацию вокруг него.

Мобильная карта для охотников и рыболовов должна соответствовать:

- скорости процесса создания и обновления картографических произведений (чтобы картографическая информация и сведения об отображаемых объектах были всегда достоверными и актуальными);
- новой функции карт при работе с ними на мобильном устройстве (например, быстрота взаимодействия с пользователем при выполнении решаемых задач);
- процессу создания карты с помощью мобильного устройства;
- разработке и созданию картографических произведений для мобильных устройств;
- малым габаритам устройства, повсеместно находящимся с пользователем и обеспечивающим доступ к карте, и ежеминутно обновляемым данным с помощью сети Интернет [13].

В ходе исследования был проведен анализ развития содержания, интерфейса карт и инструментов использования карт для охотников и рыболовов, а также соотнесены элементы карты применительно к мобильным картографическим приложениям. Исследования в области мобильной картографии для охотников и рыболовов требуют более глубоких разработок, поскольку актуальность развития этого направления очевидна. Таким образом, развитие мобильных карт для охотников и рыболовов предполагает не только удовлетворение потребностей в получении информации с помощью современных мобильных устройств, но и систематизацию в формировании расширенного содержания мобильных карт, инструментов и возможностей дополнительного их использования с учетом современных функций этих устройств.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлянт, А.М. Картография: учебник. – М.: Аспект Пресс, 2001. – 336 с.
2. Геопортал охотничьих угодий России. Карта охотника – навигатор и геотрекер. Карты охотничьих угодий регионов Российской Федерации. Общедоступные и закрепленные охотничьи угодья России. Режим доступа: <https://huntmap.ru/>.
3. Гук А. П., Матерук А. Ю., Утробина Е.С. Придание смысловых дружественных свойств интерфейсу в различных ГИС // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 194–198.
4. Департамент по охране животного мира Новосибирской области. Информация для охотников. Карты общедоступных охотничьих угодий. Режим доступа: <https://ohotnadzor.nso.ru/page/166>.
5. Заблоцкий В.Р. Мобильные ГИС – новое направление развития геоинформационных систем // Международный журнал экспериментального образования. – 2014. – № 11-1. – С. 22-23. Режим доступа: <http://www.expeducation.ru/ru/article/view?Id=6200>.
6. Интерактивная карта охотничьих угодий Новосибирской области. Выпуск мобильного «Атласа охотника Новосибирской области». Режим доступа: <https://carrymap.com/ru/carrymap-apps/resources/hunting-map-nso/>.
7. Карта для охотников и рыболовов. Центр Европейской части России. Режим доступа: http://www.etomesto.ru/map-atlas_dlya-hotnikov-i-rybolovov/.
8. Карты Охотника. Режим доступа: <https://mapsofhunter.com/>.
9. Касьянова Е. Л., Кикин П. М., Грищенко Д. В. Разработка картографических приложений для мобильных устройств // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 75–78.
10. Лисицкий Д. В., Дышлюк С. С. Обоснование и разработка новой цифровой картографической продукции: многоцелевой картографический ресурс // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 2. – С. 68–75.
11. Николаева О. Н. Природно-геоинформационная модель региона как средство для повышения эффективности планирования и ведения природопользования // Вестник СГУГиТ. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – Вып. 1 (33). – С. 107–113.
12. Сибирский охотник. Охотничьи карты. Границы охотхозяйств и охотугодий Новосибирской области. Режим доступа: <https://www.hunting.ru/maps/>.
13. Утробина Е. С. Особенности картографических произведений на мобильных устройствах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 88–93.
14. Утробина Е.С., Кикин П.М. Особенности разработки картографических произведений для мобильных устройств // Сборник докладов Междунар. научно-практической конф. «От карты прошлого – к карте будущего»: сб. науч. тр. : в 3 т. – Пермь, 2017. – Т. 2. – С. 198-205.
15. Conservation Biology. – 1998. – № 4, Vol. 12. – P. 809-821
16. Jakkard, P. Lois de distribution florale dans la zone alpine // Bull. Soc. Vaund. Sci. Nat. – 1902. – Vol. 38. – P. 69-130.

© Е. С. Утробина, И. П. Кокорина, 2018

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ЗЕМЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОБЪЕКТОВ ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Анна Павловна Белоусова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, ассистент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (982)476-76-26, e-mail: uran399@mail.ru

Андрей Владимирович Тарасов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, аспирант, ассистент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (904)846-70-47, e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com

Светлана Александровна Герасимова

ООО «Центр космических технологий и услуг», 614990, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, инженер, тел. (908)250-42-38, e-mail: svetageras87@mail.ru

Рассматриваются проблемы создания и наполнения земельной информационной системы (ЗИС), ориентированной на ведение реестра земельных участков нефтегазовой отрасли. Рассмотрено понятие земельной информационной системы и основное отличие от остальных информационных систем. В целях повышения эффективности работы, а также формирования электронной графической базы данных земельных участков разработан модуль на базе программы MapInfo. Показан алгоритм работы разрабатываемой ЗИС «Реестр границ» при помощи модульной структуры. Описаны сложности, возникшие при проведении работ по наполнению ЗИС «Реестр границ», а также проведение пространственного анализа, который включает в себя выявление несоответствия требований законодательства к земельным участкам и оптимизацию землепользований.

Ключевые слова: земельная информационная система, реестр, земельные участки, нефтяная промышленность, объекты нефтедобычи, правовое регулирование.

ESPECIALLY IN THE CREATION OF A LAND INFORMATION SYSTEM OBJECTS OF THE MINING INDUSTRY TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE

Anna P. Belousova

Perm State National Research University, 15, Bukireva St., Perm, 614990, Russia, Assistant, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (982)476-76-26, e-mail: uran399@mail.ru

Andrey V. Tarasov

Perm State National Research University, 15, Bukireva St., Perm, 614990, Russia, Ph. D. Student, Assistant, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (904)846-70-47, e-mail: andrew.tarasov1993@gmail.com

Svetlana A. Gerasimova

Center of space technologies and services, LLC, 15, Bukireva St., Perm, 614990, Russia, Engineer, phone: (908)250-42-38, e-mail: svetageras87@mail.ru

The problems of creating and filling the land information system (LIS), focused on keeping the register of land plots of the oil and gas industry are considered. The concept of the land information system and the main difference from other information systems are considered. In order to increase the efficiency of the work, as well as the formation of an electronic graphical database of land plots, a module based on the MapInfo program was developed. The algorithm for the work of the developed LIS "Registry of Borders" is shown with the help of a modular structure. The author describes the difficulties that have arisen during the work on the filling of the LIS "Registry of Borders", as well as the conduct of spatial analysis, which includes the identification of inconsistencies in the requirements of legislation with respect to land plots and optimization of land use.

Key words: land information system, register, land plots, oil industry, oil production facilities, legal regulation.

Топливо-энергетический комплекс играет особую роль в хозяйстве любого государства, без его продукции невозможно функционирование экономики. Нефтяная промышленность в России является основным сектором топливно-энергетического комплекса страны.

Одним из крупных нефтегазо-перспективных регионов с развитой нефтегазодобывающей отраслью на территории РФ является Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция. В географическом отношении территория провинции относится к северо-восточной части Русской равнины, а в административном – в пределах Республики Коми, а северный ее сектор – в восточной части Ненецкого автономного округа и Архангельской обл. [7].

Изучение и разработка недр этого региона, организация добычи нефти невозможна без проведения работ по отводу земельного участка под буровую площадку скважины и всю необходимую инфраструктуру. К объектам обустройства нефтяных месторождений согласно пункту 1.1 Свода правил по обустройству нефтяных и газовых месторождений № 231.1311500.2015 относятся:

- наземные объекты технологического комплекса добычи, сбора, транспорта и подготовки нефти (кустовая площадка, нефтегазосборный трубопровод, цех по подготовке и перекачке нефти, установка подготовки нефти, центральный пункт сбора, комплексный сборный пункт, дожимная насосная станция, дожимная насосная станция с установкой предварительного сброса воды и т.п.);
- участок закачки рабочего агента для поддержания пластового давления, в том числе кустовая насосная станция;
- промысловый трубопровод транспорта нефти, вспомогательные объекты, технологически связанные с перечисленными выше: замерные установки, растворные узлы, нефтешламонакопители, объекты систем пожаротушения, водоснабжения и водоотведения и другие технологические сооружения, необходимые для функционирования объектов обустройства.

Земельные участки, расположенные под объектами нефтедобывающей промышленности находятся, как правило, в собственности субъектов публичных прав. Объекты предоставляются предприятиям (коммерческим организациям) во временное пользование на праве аренды в соответствии с Земельным кодексом Российской Федерации.

Кроме того, нефтяные месторождения залегают также на участках недр, расположенных под землями лесного фонда, в связи с чем оформление таких участков на праве аренды проводится уже в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации.

Существуют случаи, когда объекты нефтедобычи расположены на землях сельскохозяйственного назначения, в таком случае компаниям-недропользователям необходимо осуществить перевод земель сельскохозяйственных угодий из земель сельскохозяйственного назначения в другую категорию. Такой перевод допускается в исключительных случаях, связанных в том числе с добычей полезных ископаемых при наличии утвержденного проекта рекультивации земель [2].

Правовое регулирование сферы пользования недрами осуществляется комплексно. В процессе публичного регулирования недропользования находят свое применение нормы земельного, градостроительного, природоохранного законодательства. Для регулирования отдельных аспектов деятельности по пользованию недрами применяется узкоспециализированное законодательство, например, нормы, регламентирующие вопросы пожарной безопасности, нормы о лицензировании отдельных видов деятельности, в ряде случаев нормы лесного законодательства и т.д.

К примеру, на одну из компаний-недропользователей в сфере топливно-энергетического комплекса, осуществляющей деятельность на территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, для размещения объектов нефтедобывающей промышленности заключено порядка 1 тыс. действующих договоров аренды на более чем 8,5 тыс. земельных участков под объекты капитального строительства и нефтедобычи площадью около 20,7 тыс.га. При этом наибольшая площадь земельных участков, находящихся во временном пользовании, расположены на землях лесного фонда – 83 %.

По причине большого массива информации у компании-недропользователя возникает проблема сбора, накопления и обработки данных. Это приводит к необходимости создания структурированной системы хранения сведений об арендованных земельных участках под объекты нефтедобывающего комплекса. Таким образом, большая часть данных, с которыми приходится сталкиваться компаниям, занимающимся добычей полезных ископаемых (в том числе углеводородов), имеет пространственный компонент [6].

Решением подобных проблем может стать создание земельной информационной системы (далее – ЗИС) целью которой является управление данными как на локальном, так и на корпоративном уровнях, комплексное упорядочивание сведений о земельных участках, используемых для эксплуатации объектов нефтедобывающей отрасли.

ЗИС классифицируют как подгруппу геоинформационных систем, которая обрабатывает данные, касающиеся земельно-ресурсной и земельно-кадастровой специализации [4]. Она представляет собой организационно упорядоченную совокупность массивов информации из различных источников, документов и

технологий (в том числе ГИС-технологии), реализующих информационные процессы управления земельными ресурсами [5].

Основное отличие ЗИС от других информационных систем обусловлено особенностями их объекта изучения – земельных участков.

Создание ЗИС позволит решить для компании-недропользователя следующие задачи:

- учёт, обработка и обновление данных Единого государственного реестра недвижимости;
- пространственный анализ распределения объектов нефтедобычи, получение сведений о координатах поворотных точек объектов;
- управление имуществом территории.

В целях повышения эффективности работы отдела землеустройства средствами MapBasic (ГИС MapInfo) разработан программный модуль (далее – ЗИС «Реестр границ»).

Исходными данными для создания ЗИС «Реестр границ» являлись:

- границы земельных участков под объектами нефтедобычи в формате *.dwg, *.tab;
- сведения Единого государственного реестра недвижимости о земельных участках, границах кварталов, территориальных зон, зон с особыми условиями использования территории;
- картографические материалы (аэрофотосъемка, лесоустройство);
- землеустроительная документация;
- копии правоустанавливающих и правоудостоверяющих документов на земельные участки;
- база данных «Земля», ведение которой ведется заказчиком в программе Microsoft Access (источник основной атрибутивной информации об арендуемых участках);
- иная документация.

При проектировании ЗИС «Реестр границ» была выбрана наиболее оптимальная для заказчика структура системы за счет:

- 1) исключения внесения последующих изменений в работу других подразделений предприятия;
- 2) сокращения трудозатрат и времени при наполнении ЗИС заказчиком новыми земельными участками под объектами нефтедобычи;
- 3) использование существующей материально-технической базы.

Основными частями проектируемой ЗИС «Реестр границ» являются:

- 1) атрибутивная информация об арендуемых участках;
- 2) векторные и растровые слои (таблицы);
- 3) система взаимодействия с пользователями;
- 4) файловые каталоги:
 - архив земельных дел;
 - архив договоров аренды.

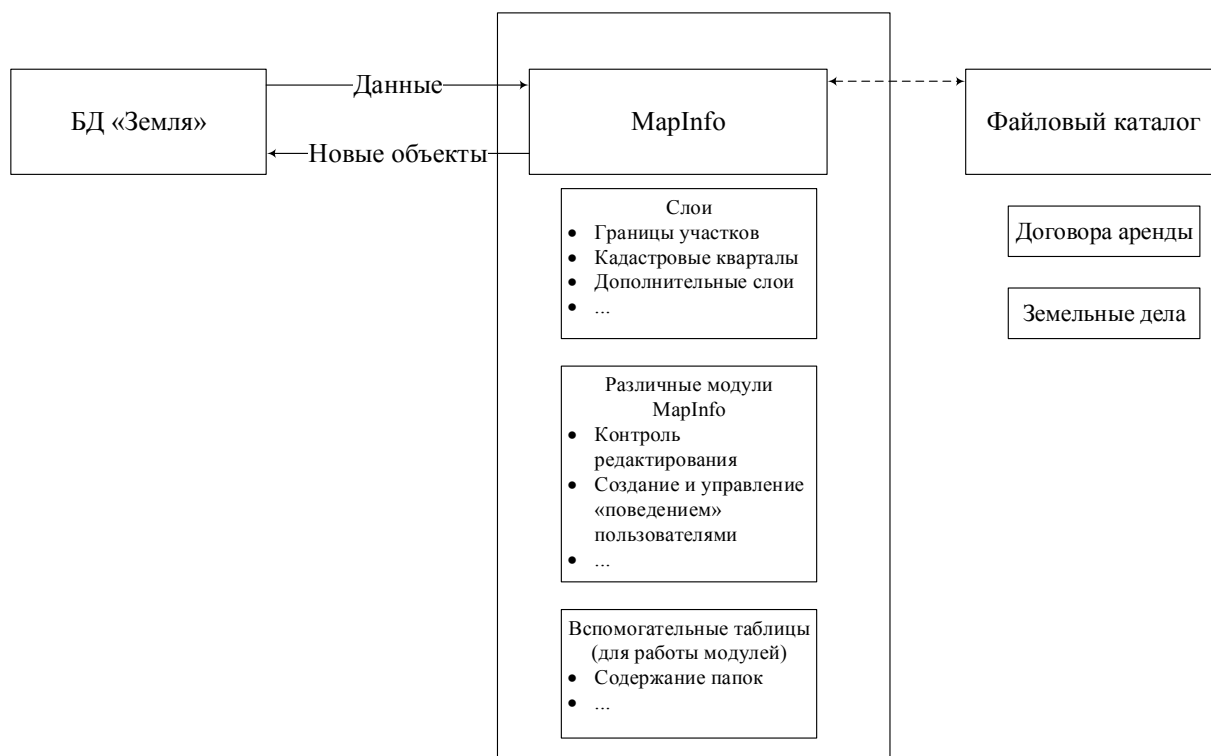


Рис. 1. Схема структуры ЗИС

В качестве платформы реализации выбрана ГИС MapInfo Professional 11.5. Для доступа пользователей, которых не интересует пространственная информация, в таком случае используются стандартные программы из пакета Microsoft Office (Access).

Разработка в среде MapInfo осуществляется с помощью диалекта языков программирования Visual Basic – MapBasic, который позволяет программировать пользовательские диалоги, изменять стандартный интерфейс программы, проводить пространственный анализ и т.д.

В разрабатываемой ЗИС «Реестр границ» алгоритм работы организован с помощью модульной структуры, список которых представлен ниже:

- 1) добавление источников данных (векторных и растровых);
- 2) поиск необходимой папки по маске;
- 3) извлечение данных из БД «Земля» для использования в MapInfo;
- 4) проверка и вывод списка договоров с истекающим сроком аренды;
- 5) расширенный поиск участков по атрибутам.

В модуле «Добавление источников данных» осуществляется поиск и добавление необходимых тематических слоев в проект. Сами данные находятся непосредственно в папке с программой. После вычисления относительных путей и считывания информации из файла настроек, программа проверяет существуют ли все данные физически на диске. При их отсутствии зависимые функции блокируются.

К основным источникам данных в модуле относятся:

- база данных «Земля»;
- тематические векторные слои (границы земельных участков, находящиеся во временном пользовании; поворотные точки земельных участков; сведения Единого государственного реестра недвижимости о местоположении границ земельных участков, территориальных зонах, зонах с особыми условиями использования территории; границы кадастровых кварталов; границы лесных кварталов и т.д.);
- растровые данные (сшитые мозаики различного пространственного разрешения на интересующую территорию).

Правоустанавливающая документация (договора аренды, постановления) хранится на дисковом хранилище в виде структурированных папок с определённым именем. Сведения о правоустанавливающей документации содержатся в БД «Земля» в виде атрибутивных данных для каждого земельного участка. Для работы модуля «поиск необходимой папки по маске» стандартный функционал MapBasic расширен за счет использования внешних библиотек, написанных на языках программирования C++ и C#.

Реализация поиска системой архива соответствующим договором аренды имеет некоторые трудности, поскольку название договора содержит различные кириллические символы, в написании которых можно допустить ошибку (опечатку). Данная проблема была решена заменой нечисловых символов на маску поиска – «любой символ» («*»). Таким образом обеспечение поиска папок происходит по полученной маске, в результате чего отображаются все папки, удовлетворяющие условиям поиска.

Доступ к функции может быть получен как из контекстного меню, так и из других диалоговых окон программы. Для функции поиска папки с земельным делом поиск осуществляется без замены кириллических символов, поскольку в названии документов используются только числа.

Стоит отметить, что изначально БД «Земля» имела только атрибутивную составляющую в формате *.mdb. Для создания пространственной части выполнен анализ существующих правоустанавливающих документов, из которых были извлечены координаты участков в СК63, а так же из уже имевшихся данных в цифровых векторных форматах *.dwg, *.tab.

Результатом обработки модулем «Извлечение данных из БД «Земля» для использования в MapInfo» стал цифровой векторный слой с границами земельных участков, где каждый элемент содержит уникальный идентификатор (поле ID) для связи с БД «Земля». MapInfo поддерживает связь с MS Access через DDE и COM интерфейсы, а атрибуты доступны напрямую. При использовании возможности построения пользовательских диалогов в программе отображаются все необходимые параметры участка. Для редактирования данных в БД «Земля» используется интерфейс DDE.

Договора аренды на земельные участки под размещение объектов нефтяной промышленности заключаются предприятием на определенный срок, т.е.

аренда может быть как краткосрочной – на срок реконструкции и строительства объектов, так и долгосрочной – на срок эксплуатации объектов нефтедобычи.

В задачи специалистов предприятия входит контроль за соблюдением окончания срока договора аренды земельного участка в целях заключения дополнительного соглашения о продлении срока временного пользования при необходимости. Для контроля истекающего по сроку договора аренды создан модуль «Проверка договоров аренды с истекающим сроком временного пользования» для обеспечения оптимизации рабочего процесса. Сотрудниками отдела компании-недропользователя в формате электронной таблицы Excel ведется реестр договоров аренды. Благодаря возможности прямой интеграции данных XLS и XLSX в программу MapInfo отсутствовала необходимость в расширении стандартного функционала. После слияния реестра договоров аренды с ЗИС «Реестр границ» выполняется считывание столбца, который содержит дату окончания срока. Сравнения значения с текущей датой выводится список договоров аренды в виде таблицы, действие которых оканчивается через заданное количество дней.

Для упрощения и ускорения работы с ЗИС был создан модуль «расширенного поиска по атрибутам», в котором автоматически формируется SQL-запрос к данным с помощью визуального интерфейса, написанного с помощью языка программирования MapBasic. Реализована возможность поиска по все атрибутам, доступным в БД «Земля». Один из атрибутов – адрес участка, по желанию заказчика, был изменен. При создании векторного слоя участков данный атрибут разбивался на несколько, для более точного поиска объектов по адресному описанию.

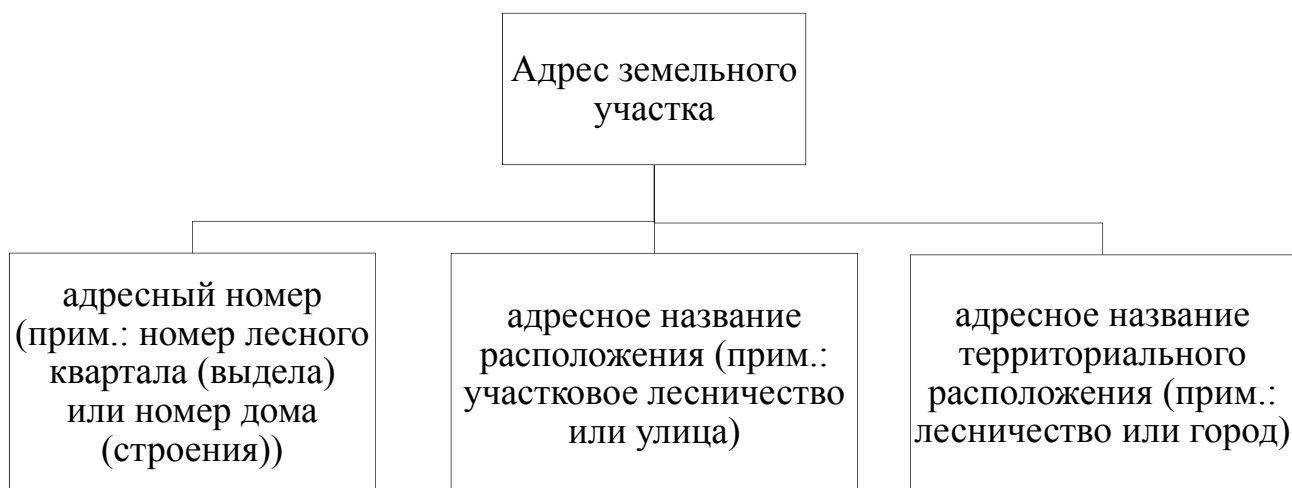


Рис. 2. Схема поиска объектов по адресному описанию

В данном модуле возможность поиска по адресу также реализована. В результате пользователь может выбирать участки как по атрибутам из БД «Земля», так и по адресному описанию местоположения, комбинируя различные условия для более точного поиска.

При проведении работ по наполнению ЗИС «Реестр границ» возникли следующие проблемы:

- несоответствие границ в исходных данных в договоре аренды,– отсутствие графической части к договору аренды, либо описание координат поворотных точек границ земельных участков. ЗИС «Реестр границ» приводит к невозможности определения корректности границ и их соответствие договору аренды;
- несоответствие координатного описания границ к графическому плану в договоре аренды, вызванные описками;
- округление координат до целых минут или секунд, что приводит к несовпадению форм контуров, площадей и местоположения земельных участков под объектами нефтедобычи;
- наличие двойной аренды на один земельный участок;
- несоответствие расчетной ширины отводов под линейные объекты.

Таким образом, стало возможным проведение анализа, который включает в себя выявление несоответствия требований законодательства к земельным участкам, а также оптимизацию землепользований:

- 1) минимизация контуров арендуемых участков для исключения наложений, пересечений земельных участков;
- 2) выявление земельных участков, не занятых объектами капитального строительства, в отношении которых заключены действующие договора аренды;
- 3) выявление использующихся земельных участков под объектами нефтедобычи, в отношении которых необходимо оформление договора аренды;
- 4) выявление несоответствий площади по документу и по плану;
- 5) соблюдение требований земельного законодательства.

Реализация п.2 и п.3 основана на использовании данных дистанционного зондирования Земли, а также границ объектов капитального строительства, предоставленных заказчиком.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О недрах [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21 февраля 1992 г. № 2395-1. Доступ из справ.правовой системы «КонсультантПлюс».
2. О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую [Электронный ресурс]: Федеральный закон от 21 декабря 2004 г. № 172-ФЗ. Доступ из справ.правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Обустройство нефтяных и газовых месторождений. Требования пожарной безопасности [Электронный ресурс]: Свод правил от 1 июля 2015 г. № СП 231.1311500.2015. Доступ из справ. правовой системы «КонсультантПлюс».
4. Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов. – М.: ГИС-Ассоциация, 1999. – 202 с.
5. Варламов А.А., Гальченко С.А. Земельный кадастр. Т.6. Географические и земельные информационные системы. - М.: КолосС, 2005. - 400 с.
6. ГИС в нефтяной и газовой промышленности // Электронный журнал ArcReview. 2003. №4 (27). URL. https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=19294&SECTION_ID=1068&print=Y.
7. География : электрон. версия газ. 2001. № 8. URL: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200100827>.

REFERENCES

1. On mineral resources [Electronic resource]: Federal law of February 21, 1992 № 2395-1. Access from the reference legal system «ConsultantPlus» [in Russian].
2. On transfer of lands or land plots from one category to another [Electronic resource]: Federal law from December 21, 2004 № 172-FZ. Access from the reference legal system «Consultant plus» [in Russian].
3. Development of oil and gas fields. Fire safety requirements [Electronic resource]: the Set of rules from 1 July 2015 n SP 231.1311500.2015. Access from the reference legal system «ConsultantPlus» [in Russian].
4. Baranov, Y. B., Berliant, A. M., Kapralov, E. G., etc. (1999) *Geoinformatics. Explanatory dictionary of basic terms*. – Moscow: GIS-Association [in Russian].
5. Varlamov, A. A., Galchenko, S. A. (2005). *Ehe Land cadastre. Vol.6. Geographic and land information systems*. - Moscow: Koloss, [in Russian].
6. GIS in the oil and gas industry. Electronic journal ArcReview (2003). No. 4 (27). URL. https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/detail.php?ID=19294&SECTION_ID=1068&print=Y [in Russian].
7. Geography: electron. version of the newspaper (2001). No. 8. URL: <http://geo.1september.ru/article.php?ID=200100827> [in Russian].

© А. П. Белоусова, А. В. Тарасов, С. А. Герасимова, 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ДЛЯ СОЗДАНИЯ АТЛАСОВ

Глеб Игоревич Загребин

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии, тел. (499)267-28-72, e-mail: gleb@cartlab.ru

Сергей Анатольевич Крылов

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии, тел. (499)267-28-72, e-mail: krylov@cartlab.ru

Изучены и проанализированы функциональные возможности распространённых геоинформационных систем, применяющиеся при создании атласов. Установлено, что существующий функционал ГИС позволяет создавать только один тип атласов: многостраничные карты. Определен круг процессов атласного картографирования, для которых требуется решения по их автоматизации и формализации.

Ключевые слова: атлас, атласное картографирование, геоинформационная система.

STUDY OF THE FUNCTIONAL POSSIBILITIES OF GEOINFORMATION SYSTEMS FOR THE CREATION OF ATLASES

Gleb I. Zagrebin

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovsky Per., Moscow, 105064, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography, phone: (499)267-28-72, e-mail: gleb@cartlab.ru

Sergey A. Krylov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovsky Per., Moscow, 105064, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography, phone: (499)267-28-72, e-mail: krylov@cartlab.ru

The functional possibilities of the widespread geoinformation systems used in creating atlases are considered and analyzed. It is established that the existing GIS functionality allows creating only one type of atlases: multi-page maps. The range of atlas mapping processes is determined, for which solutions are required for their automation and formalization.

Key words: atlas, atlases mapping, geoinformatio system.

Геоинформационные системы широко применяются для создания картографических произведений, несмотря на то, что они уступают в оформительском аспекте издательским системам. В основном при помощи ГИС создаются отдельные карты или серии однотипных карт.

При атласном картографировании применение ГИС не получило широкого распространения. В настоящее время на картографическом производстве для создания атласов предпочитают использовать издательские пакеты, а геоинформационные системы применяют только для получения отдельных тематиче-

ских слоев, построения статистических поверхностей. Недостаточность применения ГИС при атласном картографировании объясняется сложной структурой атласов, а также особенностями связей между разделами атласов [1].

Целью данной работы является определение функциональных возможностей распространенных геоинформационных систем для атласного картографирования, направленных на выбор наиболее эффективной платформы, способствующей совершенствованию технологии создания атласов.

Стоит отметить, что практически во всех распространенных геоинформационных системах существует отдельный функционал, назначение которого предусматривает его использование для создания атласов. Указанный инструментарий применяется исключительно для разработки картографических произведений, особенностью которых является нарезка карты на страницы атласа [2] по заданной разграфке, в результате чего формируется многостраничный документ, сброшюрованный под одной обложкой. К таким произведениям относятся атласы городов, атласы автодорог и т.п. Для создания классических географических, комплексных и тематических атласов программные модули в геоинформационных системах отсутствуют.

Для решения этой проблемы геоинформационные системы должны соответствовать перечисленным ниже требованиям:

- обладать возможностью создания карт в разных масштабах и проекциях, с различным территориальным охватом и разнообразным содержанием (тематикой);
- иметь в наличии инструменты для создания, редактирования и добавления дополнительной и справочной информации в виде таблиц, текстовых блоков, графиков, изображений (иллюстраций);
- предоставлять возможность разработки зарамочного оформления;
- решать задачи по созданию индексных сеток и указателя географических названий и тематических объектов;
- служить для разработки обзорных карт;
- позволять проводить описание, хранение и редактирование структуры атласов;
- осуществлять экспорт страниц атласа.

Отдельного внимания заслуживает достаточно важная проблема тематического и атласного картографирования, связанная с выбором и применением способов картографического изображения картографируемых объектов и явлений. В работах [3,4] рассматриваются пути решения задач по автоматизации данного процесса и возможности применения в геоинформационных системах.

В процессе исследования были изучены популярные геоинформационные системы как с открытым исходным кодом (QGIS), так и коммерческие (MapInfo, ArcGIS, «Карта 2011»). Рассмотрим их подробнее.

MapInfo представляет собой мощное средство для работы с пространственными данными и создания на их основе карт. Стройная и логичная структура программы позволяет генерировать большое количество карт разных масштабов, территориальных охватов и содержания. Достоинством этого про-

граммного продукта для применения в атласном картографировании является наличие возможности создания нескольких карт и отчетов в рамках одного рабочего набора (проекта). Таким образом, мы можем создавать многостраничный документ, используя карты с разными исходными данными, математической основой и содержанием (рис. 1).

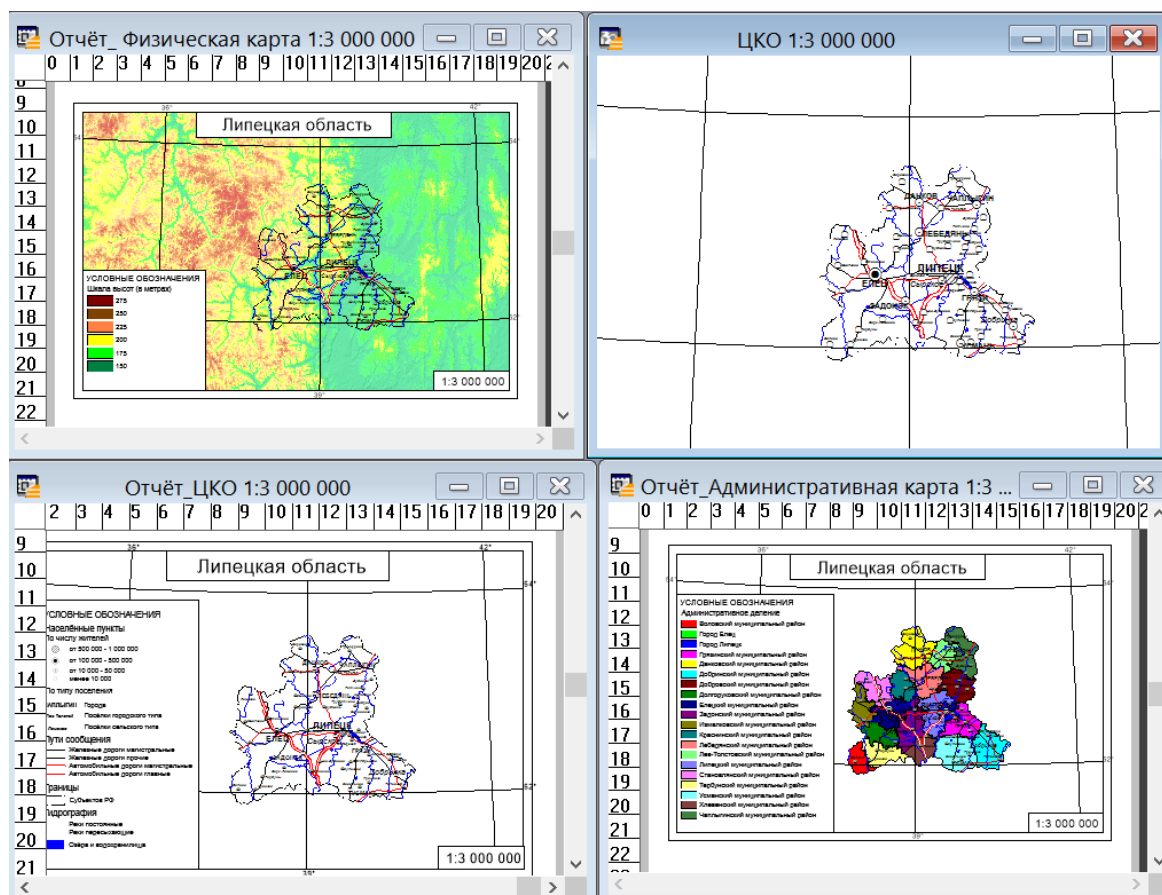


Рис. 1. Реализация создания многостраничных карт в ГИС MapInfo

В ArcGIS под атласом понимается альбом карт. Альбом (или атлас) — это совокупность страниц, которые вместе выводятся на экспорт или на печать. Большинство из этих страниц могут включать карты, при этом отдельные страницы могут содержать какой-либо текст, информацию в табличном виде, таблицу содержания или титульные листы и другие виды данных.

В программе выделено несколько типов атласов:

1) Простой справочный альбом карт, в котором компоновка страниц одинаковая, различие только в территории картографирования по заранее заданной разграфке.

2) Атлас с титульным листом и обзорной (индексной) картой. К предыдущему варианту добавляется титульный лист и индексная карта.

3) Атлас со вспомогательными документами, Атлас для двусторонней печати, Маршрутная карта, Тематический атлас, Справочный атлас с картами-врезками. Многообразие вариантов сводится к использованию одной карты

единого масштаба с использованием разграфки для разбиения на страницы. Вариант «Справочный атлас с картами-врезками» подразумевает использования карт двух масштабов (основная карта и обзорная), что также не удовлетворяет определению классического атласа.

QGIS повторяет идеологию ArcGIS в плане использования слоя с границами картографического изображения страниц атласа, шаблоном страницы атласа и автоматизированным созданием страниц по этим данным. В этом случае создается многостраничный документ с одинаково оформленными листами и картами единого формата. Изменения масштаба возможно с помощью задания рамок разного охвата на индексной карте, но изменение проекций невозможно, а содержание карты возможно менять только с помощью масштабных уровней. У двух карт одного масштаба невозможно автоматически изменить тематику.

ГИС «Карта 2011» является наиболее распространенной отечественной полнофункциональной ГИС. Для создания многостраничных атласов в модуле «Подготовка к изданию» реализован инструмент «Построение схемы страниц атласа», в котором задается формат, ориентировка страниц, положение страниц, ориентация, зоны. Страницу можно разбить на 2, 4 и 6 зон. При этом страницы разбиваются на зоны прямоугольной сеткой (рис. 2). При построении географической сетки координат можно установить интервал как по широте, так и по долготе. Возможность построения сетки в виде полигональных объектов отсутствует, что усложняет использование этой сетки при построении индексной сетки. Кроме этого в ГИС «Карта 2011» решена задача по автоматизированному построению алфавитного указателя. При этом, если объект попадает в несколько квадратов, то в указателе указываются все эти ячейки с неудобным для восприятия отображением. Так, в начале идут все буквенные индексы, а потом цифровые (пример: А,Б,В 16,17).

На основе проведенного анализа можно отметить следующее:

1) Практически все рассмотренные геоинформационные системы имеют единый подход и схожий функционал создания атласов, позволяющий выполнять разграфку (нарезку) карты на страницы атласа. При этом функционал достаточно развит и позволяет быстро для заданной территории получать многостраничный документ. Картографируемая территория, как правило, нарезается горизонтальными рядами, а внутри рядов – на страницы (развороты) таким образом, чтобы при переходе к нижеследующему ряду страницы располагались одна под другой.

2) Возможность создавать классический атлас присутствует только в MapInfo, но этот процесс довольно трудоемкий, так как нет увязки всех созданных карт в единую структуру атласа с последующим ее редактированием. Другими словами, каждая карта будет сама по себе и при смене, например, картографической проекции необходимо будет менять ее в каждой карте отдельно. Это же касается и создаваемых отчетов карт.

3) Автоматизация построения указателя реализована только в ГИС «Карта 2011», но с возможностью создания только многостраничных карт расширить данный функционал не представляется возможным.

4) Подход создания и использования в ГИС отдельного проекта для каждой карты является нецелесообразным, так как отсутствует встроенный функционал по автоматизации редактирования элементов атласа.

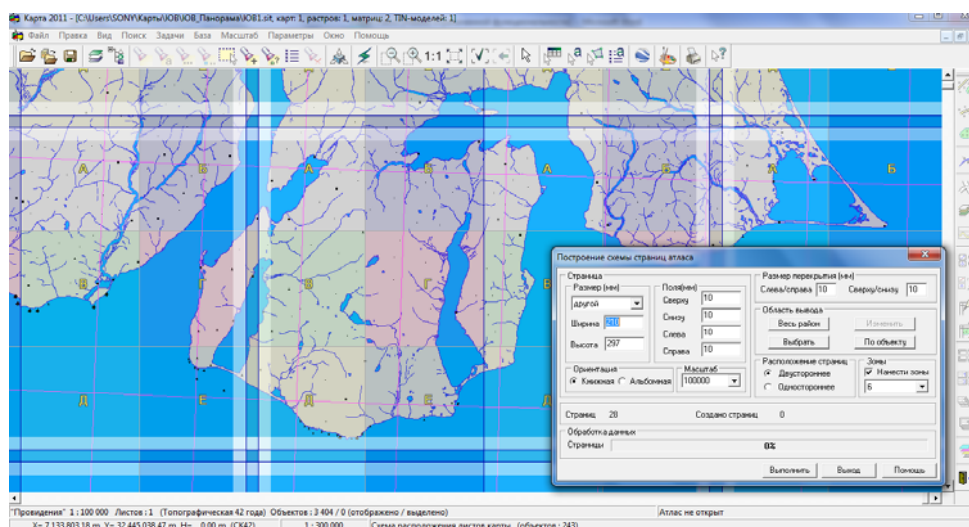


Рис. 2. Реализация создания многостраничных карт в ГИС «Карта 2011»

Автоматизировать создание атласов позволит разработка специализированной системы, в которой будут обеспечены выполнение всех требований по проектированию атласа и решены наиболее трудоемкие и достаточно сложные процессы атласного картографирования:

- разработка оптимальной структуры атласа;
- проектирование математической основы атласа (выбор масштабного ряда, картографических проекций, формата и компоновки);
- формализация создания типовых географических основ атласа;
- формирование и визуализация справочной информации атласа;
- организация, хранение и использование пространственно-временных данных в электронных атласах.

Работа выполнялась в рамках государственного задания Минобрнауки России 5.8029.2017/8.9.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаренко А. А., Загребин Г. И. Принципы организации структуры атласов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 2. – С. 63–66.
2. Руководство по созданию атласов автомобильных дорог субъектов Российской Федерации. Серия: «Автодорожные атласы России». – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 96 с.
3. Иванов А. Г., Булыгина О. А. Автоматизация процессов выбора способа изображения картографируемых объектов и явлений // Геодезия и Картография. – 2012. – №10. – С. 27–32.
4. Крылов С. А., Загребин Г. И., Фокин И. Е. Выбор и реализация способов картографического изображения картографируемых объектов и явлений в геоинформационных системах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 73–77.

© Г. И. Загребин, С. А. Крылов, 2018

СТАНОВЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Елена Леонидовна Касьянова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: helenkass@mail.ru

Максим Владимирович Черкас

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант, тел. (383)361-06-35, e-mail: cherkasmv@list.ru

Статья посвящена истории появления и развития геоморфологического картографирования в стране. Дается описание содержания геоморфологических карт и способов отображения на них тематических элементов. Рассматриваются основы геоморфологического картирования, объясняется, что по мнению геоморфологов на геоморфологической карте должны найти отражение три категории явлений: морфография, происхождение и геологический возраст рельефа. Описываются достижения советских ученых в области геоморфологического картографирования, таких как А.А. Борзов, И.С. Щукин, К.К. Марков, З.А. Сваричевская.

Ключевые слова: геоморфологическое картирование, тематические карты, морфометрия, происхождение рельефа, геологический возраст рельефа, геоморфологические карты, научные труды, советские ученые.

FORMATION OF DOMESTIC CARTOGRAPHY IN THE FIELD OF GEOLOGICAL GEOMORPHOLOGY

Elena L. Kasyanova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383) 361-06-35, e-mail: helenkass@mail.ru

Maksim V. Cherkas

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, phone: (383)361-06-35, e-mail: cherkasmv@list.ru

The article reviews the emergence and development of geomorphological mapping in the country. The description of the content of geomorphological maps and ways to display them on the thematic elements. The basics of geomorphological mapping are considered, it is explained that according to geomorphologists, three categories of phenomena should be reflected on the geomorphological map: morphography, origin and geological age of the relief. Describes the achievements of Soviet scientists in the field of geomorphological mapping, such as A. A. Borzov, I. S. Shchukin, K. K. Markov, Z. A. Svarichevsky.

Key words: geomorphological mapping, thematic maps, morphometry, origin of the relief, geological age of the relief, geomorphological maps, scientific works, Soviet scientists.

Введение

Общегеографические карты распространены, широко и всесторонне обслуживают нужды хозяйства, культурного строительства и обороны страны. Кроме этого существует особая большая группа карт, которая не подходит под определение общегеографических, их называют тематическими картами. К таким относятся карты геоморфологические.

Географическую основу тематической карты составляют такие элементы содержания как: картографическая сетка, гидрография, рельеф, населенные пункты, пути сообщения, административные границы, почвенно – растительный покров, т.е. элементы общегеографической карты. В зависимости от специализации карты, географическая основа может и не содержать всех перечисленных выше элементов. Полнота и подробность изображения отдельных элементов географической основы для разных тематических карт не одинаковы. Элементы географической основы служат либо ориентирами при пользовании картой, либо для размещения специальных показателей; они не должны затемнять основного, специального содержания карты, наоборот, они должны подчеркивать и выявлять особенности данного тематического явления и связь его с общими природными условиями местности [1].

На геоморфологических картах указываются элементы рельефа различного происхождения и возраста, выделяются его генетические типы и районирование. Крупномасштабные геоморфологические карты создаются по результатам специальных съемок, в процессе которых на топографическую основу наносятся и обозначаются особыми знаками террасы, уступы, линии разрывов, гребни, валы, западины различного происхождения, конусы выноса, аллювиальные равнины и т. п.; для этого используются способы значков, линейных знаков, ареалов. Для генетических характеристик служит способ качественного фона. Большую помощь при полевых работах оказывают аэрофото – и космические снимки.

Общие геоморфологические карты содержат разностороннюю характеристику форм рельефа — по количественным показателям, генезису и возрасту. Распространены также синтетические геоморфологические карты, выделяющие по совокупности показателей типы рельефа или геоморфологические районы, выполняемые способом качественного фона. Как правило такие карты создаются в мелком масштабе.

Обсуждение

В середине 50-х годов XX века отечественная наука осуществила прорыв в области геоморфологического картографирования благодаря осознанию, что геоморфологическая карта – эффективный инструмент исследования, а не только и не столько способ представления результатов исследований в соответствующей области. Последствия этого прорыва в российской геоморфологии ощущаются до настоящего времени. Но в силу ряда, на первый взгляд случайных обстоятельств, хорошо разработанный и простой в применении метод кар-

тографического моделирования, к тому же не требующий дорогостоящей техники и многочисленных специалистов, не нашел широкого применения в геологической практике и до сих пор не вывел геолого-геоморфологические исследования на качественно новый уровень.

Во многих отношениях в начале XXI века, геолого-геоморфологические исследования находятся не в лучшем положении, чем полвека назад, когда были окончательно сформулированы основные положения метода геоморфологической картографии. За эти годы так и не создано подробное руководство, позволяющее овладеть методом начинающему специалисту. Формальное применение метода при составлении обязательных геоморфологических карт в ходе геологических съемок среднего и крупного масштабов не дало существенных результатов в виде информации, востребованной при геолого-съемочных работах. Переход к подготовке картографов уровня бакалавриата, умеющих грамотно создавать геоморфологические карты современными методами (с использованием компьютерной техники и различного программного обеспечения) привело к тому, что на смену блестящих специалистов, пришли единицы лишь потому, что сумели самостоятельно освоить их наследие [2].

Теоретические основы геоморфологического картографирования и использования геоморфологических карт как инструмента исследования, разработаны достаточно хорошо, насколько это возможно без широкого практического применения методических разработок.

В ходе противостояния различными геоморфологическими школами (московской и ленинградской) возник целый ряд терминов непонятный даже специалистам, если они не знакомы с основами их возникновения. Например, противопоставление синтетического или морфогенетического картографирования аналитическому или геоморфологического картографирования геоморфологическому.

Роль геоморфологии, как общего фундамента для исследований в области четвертичной геологии, молодой тектоники потенциально очень велика, подобно тому как «...топограф, даже турист, ... имеет перед своим взором более широкую перспективу и может составить общее представление о местности, в то время как шахтер видит только забой, в котором он работает» [3].

Сегодня необходимо разработка подробного методического руководства, по построению и анализу геоморфологических карт крупных масштабов (именно крупных, поскольку мелкомасштабные геоморфологические карты, составлением которых занимались крупные научные учреждения 60-х – 80-х годов, являются только отличными иллюстрациями для разных геоморфологических теорий, но не инструментом исследования).

Карта же обладает огромным и эффективным хранилищем информации. В ходе развития цивилизации человек выработал два, в принципе равноправных языка для записи, хранения и передачи информации – знаковый (цифры, буквы) и иконический (визуальный образ, изображение). На пути объединения этих двух языков особое место и занимают карты. Карте присуще уникальное свойство – она как бы «вступает в диалог» с человеком. Карта мобилизует под-

сознание работающего с ней человека (а по своим запасам подсознание, неформализованное знание, многократно превосходит явное - выражаемое в словах и цифрах). Карта ведь – не отражение видимой реальности, как, например, снимок аэрофотосъемки. Это визуальное выражение представления о реальности, переработанное, абстрогированное изображение соответственно той или иной теории, той или иной идеологии [4].

Результаты

Судя по иностранной географической и геологической литературе, геоморфологические исследования неуклонно и постепенно развиваются, начиная с середины XIX века. В дореволюционное время геоморфологические и географические исследования в России не были массово распространены. Единственное учреждение, способствовавшее развитию географии и геоморфологии, было Императорское русское географическое общество. Несмотря на пышное название, оно представляло собой не более чем общественную организацию. В действительности Императорское русское географическое общество представляло собой структуру, тесно связанную с Генеральным Штабом Российской империи, точнее с его отделом, занимающимся внешней разведкой. Специфика изучения будущих Театров военных действий диктовало повышенное внимание к топографии и географии. Поэтому блестящая плеяда военных разведчиков под видом научных экспедиций исследовала Центрально-Азиатский регион, куда в то время был нацелен вектор экспансии. Имена наиболее амбициозных исследователей, оставивших помимо разведсводок и научные труды (генерал Семенов-Тянь-Шаньский, полковники Пржевальский, Козлов, Певцов) известны не только специалисту в области географии, но ученикам средних школ.

Специфика этих исследований не позволяла углубляться в детали геоморфологического строения изученных ими территорий. Однако были и независимые талантливые исследователи, сумевшие добиться признания уже в советское время, такие как А.Д. Архангельский, Л.С. Берг, А.А. Борзов, И.С. Щукин, но они были исключением и кардинально изменить ситуацию не могли. Число подобных российских геоморфологов не превышало тогда 10 человек, подготовка кадров отсутствовала. Кафедры географии в нескольких университетах появились лишь в 1887 году, благодаря усилиям географического общества. Курсы геоморфологии не читались в учебных заведениях, готовивших военных топографов.

Два десятилетия после Октябрьской революции в отечественной науке ознаменовались настоящим геоморфологическим прорывом. Потребность планового хозяйства во многих отраслях хозяйствования, требовало геоморфологических исследований. Советская власть дала толчок к развитию геоморфологии и использованию ее исследований в становлении промышленности молодой республики. Этот период освещен в трудах русского, советского географа, геоморфолога, картографа, доктора географических наук, профессора МГУ, заслуженного деятеля науки РСФСР Александра Александровича Борзова [5].

Именно тогда был заложен фундамент для последующего успешного развития отечественной геоморфологии. В Московском и Ленинградском государственных университетах налажена массовая подготовка геоморфологических кадров и созданы научно-исследовательские институты геоморфологического профиля. Учреждение в 1931 г. в составе Академии наук Геоморфологического института (позднее переименованного в Институт географии) еще более укрепило позиции геоморфологии. В 30-е годы созданы десятки работ, ставших классикой, фундаментом отечественной геоморфологии, это труды А.Д. Архангельского, И.П. Герасимова, К.К. Маркова, Е.В. Милановского, Н.С. Шатского, С.В. Обручева и многих других. Благодаря Ф.Н. Красовскому, география и геоморфология вошли в учебные программы Московского геодезического института (МИИГАиК), а затем и в подготовку картографических кадров Новосибирского института инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. Он также выдвинул идею приближенного ускоренного картографирования 80 % территории СССР, на которые не было топографических карт. Им разработана оригинальная методика, позволявшая выполнять промежутки между разреженными инструментальными ходами упрощенным изображением рельефа на основе геоморфологических исследований. В этих картографо-географических работах геоморфологическую основу разрабатывали И.С. Щукин и А.А. Борзов. Именно так возникла советская топографическая школа, которая до сих пор остается одной из лучших в мире. Некоторые учебные пособия того времени поражают глубиной рассмотрения вопросов изображения на топографических картах геолого-геоморфологических объектов. Ставился даже вопрос о геоморфологической съемке территории СССР в масштабе 1:500 000, одновременно с топографической съемкой этого масштаба. Эта программа, поддержанная на Первом Всесоюзном географическом съезде 1933г., по объективным причинам не была осуществлена, но еще до войны, сотрудниками Института географии Академии Наук СССР были составлены: геоморфологическая карта Европейской части СССР в масштабе 1 : 2 500 000 и карта геоморфологических районов СССР в масштабе 1 : 5 000 000. Были заложены основы анализа возрастных соотношений элементов на базе изучения уровней стабилизации при врезании долин Западного Тянь-Шаня.

Первым советским исследователем, поднявшим вопрос об исключительном значении геоморфологической карты в геоморфологических исследованиях, был Константин Константинович Марков советский географ, геоморфолог, доктор географических наук, профессор МГУ, академик Академии наук СССР, заслуженный деятель науки РСФСР, который, проанализировав тогда еще небольшой мировой опыт составления геоморфологических карт, поднял вопрос о необходимости развития этого направления в отечественной науке. Первая выпускница аспирантуры Ленинградского университета кафедры геоморфологии З.А. Сваричевская составила первую в стране общую легенду для геоморфологической карты крупного масштаба. Уже после войны были изданы первые мелкомасштабные геоморфологические карты на отдельные регионы страны, в частности на территорию Урала.

В начале 1941 года состоялась первая геоморфологическая конференция, созванная Институтом географии АН СССР. На ней были подведены итоги становления отечественного геоморфологического картографирования (материалы этой конференции изданы только после окончания Великой отечественной войны в 1948 году). В сборнике докладов в разделе «Геоморфологическая карта» были опубликованы доклады, посвященные геоморфологическим картам. Эти доклады были посвящены анализу речных долин и морфометрии (Скворцов, Ченцов), а также впервые сформулировано, что геоморфологические карты должны в обязательном порядке показывать три основные характеристики рельефа: морфологию, генезис (Марков) и возраст (Сваричевская). В дальнейшем, не оспаривались эти положения, а дискуссии велись по вопросу отображения их на картах. К сожалению, единого мнения по этому вопросу так и не достигнуто. Более чем за полвека, ни одна из заинтересованных организаций не взяла на себя труд согласования и принятия окончательного решения по данному вопросу, а это негативно сказалось на объемах картографических работ, поскольку массовое составление геоморфологических карт невозможно без унификации легенд.

В то же время, уже к началу сороковых годов в отечественной геоморфологии создается фундамент для развития детального геоморфологического картографирования. Ограниченное распространение крупномасштабных топографических карт позволяло составлять на значительные территории карты относительно мелких масштабов (обычно 1:500 000 и мельче). Картируемой единицей, в силу этого, выбрали достаточно крупные типы рельефа и сложно устроенные подразделения. Так возникли синтетические геоморфологические карты.

В методическом руководстве по геологической съемке, в разделе, посвященном геоморфологическим исследованиям, отмечалось, что общепринятого, обязательного для всех организаций, занимающихся геоморфологическим картированием, принципа составления геоморфологических карт до настоящего времени не существует. Только наметились некоторые основные положения в отношении содержания геоморфологических карт. Сформулировано, что на всякой геоморфологической карте должны найти отражение три категории явлений:

- а) морфография рельефа;
- б) происхождение рельефа;
- в) геологический возраст рельефа [6].

В то время геологическая съемка проводилась преимущественно в 1:200 000 масштабе и поэтому было предложено ограничиться выделением на карте морфогенетических типов рельефа, а для большей наглядности и информативности добавлять ее содержание блок-диаграммами и профилями. Не было сказано о карте как об инструменте и о способах ее анализа. Можно сделать вывод о том, что в этом качестве геоморфологическая карта не осознавалась. Будучи построенной по принципу выделения типов рельефа, карта представляла собой несовершенный инструмент, поскольку не отражала реальных соотношений

элементов рельефа. Неясно, как геоморфологические исследования могут решать заявленные в руководстве задачи:

- помогать при картировании коренных и, особенно, четвертичных отложений;

- давать материал для составления геоморфологической карты и геоморфологического очерка района;

- устанавливать характер и интенсивность новейших тектонических движений;

- способствовать поискам месторождений полезных ископаемых путем восстановления истории развития рельефа и формирования рыхлых отложений, с которыми могут быть связаны россыпи;

- освещать геоморфологические условия проведения дорог, строительства горных, гидротехнических сооружений и других промышленных предприятий;

- выявлять характер, направленность и интенсивность современных геологических процессов, связанных с формированием рельефа [6]. Таким образом, карта, а этом случае воспринимается исключительно как иллюстрация, и ее особое место в геоморфологических исследованиях не осознается.

Заключение

На наш взгляд, этот вывод является основной причиной того, что выделившийся из традиционного подхода к геоморфологическому картографированию метод отображения генетически однородных поверхностей (правильнее исторически однородных), объединяющий морфологию, генезис и возраст рельефа, регламентирующий выделение его элементов и иерархию, не рассматривался как новый и инновационный, а просто как еще один способ иллюстрации теоретических представлений о происхождении рельефа [7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гараевская Л.С. Картография. – Изд-во геодезической и картографической литературы, 1952. – 368с.

2. Новиков И.С. Обзор становления отечественных картографических исследований в области геологической геоморфологии (превратности метода) // Геоморфология. – 2003. – № 2. – С. 28 – 42.

3. Лиддел-Гарт Бэзил Энциклопедия военного искусства. Стратегия непрямых действий. – М. – СПб.: Изд-во АСТ/Terra Fantastica, 1999. - 653 с.

4. Кара-Мурза С.Г. Манипуляция сознанием. - М.: ЭКСМО–Пресс, 2001. – 831 с.

5. Борзов А.А. Геоморфология в СССР за 15 лет, М., 1932

6. Эпштейн С.В. Геоморфологические исследования// Методическое руководство по геологической съемке и поискам. – М., 1954. –С. 399 – 428.

7. Новиков И.С. Обзор становления отечественных картографических исследований в области геологической геоморфологии (превратности метода) // Геоморфология. – 2003. – № 2. – С. 28 – 42.

© Е. Л. Касьянова, М. В. Черкас, 2018

ИСТОРИЯ КАФЕДРЫ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ. ПЕРИОД 1933–1994 гг.

Елена Леонидовна Касьянова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: helenkass@mail.ru

В статье излагается история возникновения картографического образования в Новосибирске, преобразование САГИ в НИИГАиК. Дается описание коллектива кафедры картографии и ее руководства в период с 1933 по 1994 год. Раскрывается деятельность кафедры: научная работа, учебные дисциплины, практики, общественная деятельность.

Ключевые слова: образование, кафедра картографии, преподаватели, дисциплины, научная работа, коллектив, заведующий кафедрой.

HISTORY OF THE DEPARTMENT OF CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS FROM 1933 TO 1994

Elena L. Kasyanova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383) 361-06-35, e-mail: helenkass@mail.ru

The article describes the history of the origin of cartographic education in Novosibirsk, the transformation of SAGI into NIIGAik. A description is given of the collective of the Department of Cartography and its management during the period from 1933 to 1994. The activity of the department is disclosed: scientific work, educational disciplines, practices.

Key words: education, the department of cartography, teachers, disciplines, scientific work, collective, head of the department.

Началось картографическое образование в Сибири в 1933 г. в городе Омске, когда по решению Совета Народных Комиссаров (СНК) СССР организован Сибирский астрономо-геодезический институт (САГИ). В этот период институт называли также Сибирским геодезическим институтом (СГИ) или Омским геодезическим институтом (ОГИ). В 1934 г. САГИ был переведен в г.Новосибирск на правах геодезического факультета Новосибирского инженерно-строительного института (НИСИ). Набор студентов проводили по двум специальностям: картография и астрономо – геодезия.

В 1936 году было издано постановление СНК СССР, в котором говорилось, что необходимо готовить кадры по картографической специальности для улучшения и упорядочения издания географических карт. И в этом же году образована кафедра картографии НИСИ. В 1939 г. геодезический факультет НИСИ преобразован в Новосибирский институт инженеров геодезии, аэрофотосъемки и картографии. Помещение под него выделили на улицах Потанин-

ской, 5 и Крылова, 24 (здание авиаклуба). Именно кафедра картографии размещалась на 2 этаже этого здания, арендованного у ОСОАВИАХИМа (рис. 1[1]).

Как написал выпускник 1954 года Ю.Сизов:

«Перебирая дни былого,
И лиц, ушедших навсегда,
Мы вспоминаем улицу Крылова
И те далекие года...»



Рис. 1. Здание кафедры картографии НИИГАиК на ул. Крылова, 24

Исполнял обязанности руководителя кафедры картографии с 1936 по 1939 годы доцент Нагаев И.Г. В 1939 заведующим кафедрой стал Лисичанский А.С., руководил кафедрой он только один год. В это время под его руководством проводили занятия по разным специальным дисциплинам Марксон И.И., Свиридов А.Е., Знаменщиков Г.И.

Далее, в разные годы кафедру возглавляли:

- д.т.н. Знаменщиков Гавриил Иосифович, читавший лекции по математической картографии;
- к.т.н. Соколов Олег Викторович, читавший лекции и проводивший занятия по редактированию тематических карт;
- к.т.н. Пурсаков Станислав Игнатьевич, прекрасно излагавший вопросы использования карт;
- к.т.н. Гаврилов Юрий Васильевич, научивший не одно поколение картографов художественному оформлению карт;
- к.т.н. Пилькевич Иван Васильевич, как бывший главный инженер фабрики №3 ГУГК, великолепно разбирающийся в вопросах подготовки карт к изданию и их издания, организации и планирования картографического производства;

– к.т.н. Топчилов Михаил Александрович, читавший лекции и проводивший лабораторные занятия по математической картографии;

В разное время на кафедре работали такие специалисты как: к.т.н., доцент Тарновский Л.Ф., преподававший издание карт; к.т.н., доцент Егоров В.В. (проектирование и составление карт и атласов); к.т.н., доцент Григорьева К.Ф.(геоморфология); к.т.н., доцент Украинко О.В.(редактирование тематических карт); к.т.н. Любивая О.С.(геоморфология, аэрокосмические методы в проектировании и составлении карт, системное картографирование); д.т.н., профессор Маликов Б.Н.(экологическое картографирование); Пархоменко Н.Н.; Родионова М.А. (картографическое черчение, картографирование рельефа суши и морского дна); Самохина Н.М.(геоботаника, картографическое черчение); Егорова Т.С.; Меркулова А.А.; Ивлева М.А., Коломиец Г.Е., Шептунова Т.Ф. (картографирование рельефа суши и морского дна), Гриценко А.Г., внесшие неоценимый вклад в подготовку картографических кадров (рис. 2).



Рис. 2. Преподаватели кафедры в 1972 г.

До 1955 года на аэрофотогеодезическом факультете НИИГАиК существовали небольшие кафедры географии, графики и оформления карт, в 1955 г. они были объединены с кафедрой картографии и до 1970 года её возглавлял Знаменщиков Г.И., который после возвращения из рядов Советской Армии в 1950 году защитил кандидатскую диссертацию, а в 1966 – докторскую.

Студенты, обучающиеся по специальности картография, изучали такие предметы как проектирование и составление карт, оформление карт, картогра-

фическое черчение, издание карт, экономическую и физическую географии, геоботанику, геоморфологию и прочие. Кроме занятий в аудиториях, студенты проходили полевую практику по геодезии на полигоне НИИГАиК, геоморфологическую практику на Алтае (рис. 3), совершенствовали свои знания на производственных практиках картфабрик ГУГК СССР.



Рис. 3. Практика по геоморфологии на Алтае 1969 г.

Впервые, практику на Алтае студенты, обучающиеся по специальности «картография» проходили в 1968 году. Руководство института давно обещало студентам такую практику, но в вузе не было денег на оплату инструкторов по пешему туризму определенной категории. На 15 человек должно было быть 2 инструктора, т.к. группа была большая. Тогда преподаватели кафедры Пилькевич И.В. и Самохина Н.М. пошли на курсы в туристический клуб Новосибирского областного Совета по туризму. В течение зимы 1967 и весны 1968 года, они проходили подготовку по 160 часовой программе «Руководитель путешествия I и II сложности по пешеходному туризму». После двенадцатидневного похода и сдачи экзамена, преподаватели получили официальный документ с правом руководить группой. Студенты поняли, что руководство если обещает, то и выполняет данные обещания.

Преподаватели кафедры кроме проведения учебных занятий и выполнения научной работы, принимали активное участие в общественной и спортивной жизни института. Регулярно проводились «Дни здоровья» на полигоне, где устраивались лыжные гонки. Занимались преподаватели в секциях по настольному теннису и бадминтону.

Некоторые из преподавателей занимали должности в профсоюзной и партийной организациях. Самохина Н.М. не один год возглавляла факультет общественных профессий. Здесь студенты получали «вторую профессию»: журнали-

стов, патентоведов, референтов-переводчиков, фоторепортеров и проч. В 1974 году на базе НИИГАиКа. В течение двух недель деканы факультетов общественных профессий, представляющие 34 вуза, делились опытом и решали накопившиеся задачи, о чем было напечатано в газете «Вечерний Новосибирск» (рис. 4).



Рис. 4. Название газеты и статья о семинаре ФОП

Преподаватели кафедры всегда повышали свой профессиональный уровень, занимаясь научной работой, обучаясь в аспирантуре МИИГАиКа, НИИГАиКа, НИСИ им. В.В. Куйбышева, Института географии Сибири и Дальнего Востока СО АН СССР.

В разное время защитили докторские диссертации по картографии: Г.И. Знаменщиков (1968 г.); Г.И. Конусова (1977г.), Б.Н. Маликов (1979г.).

Владимир Васильевич Егоров после защиты кандидатской диссертации в Москве был командирован на кафедру картографии НИИГАиК, где читал лекции и проводил занятия по проектированию, составлению и редактированию карт. После накопленного опыта, в соавторстве с Соколовым О.В. и Тарновским Л.Ф. в 1962 году написали учебник «Составление и редактирование карт», изданный в Москве, в издательстве геодезической литературы. Не одно поколение картографов по этому учебнику постигало азы профессии.

Максимум преподавательского состава пришёлся на 80-е годы, когда более 20 работников кафедры осуществляли учебный процесс (рис. 5).

Многие из преподавателей, защитили кандидатские диссертации в ученом Совете МИИГАиКа (тогда не было Ученого Совета в НИИГАиК):

А.С. Харченко—1946г., В.В. Егоров—1950г., Л.Ф. Тарновский—1954г. по изданию карт, О.В. Соколов—1955г. по созданию лесных карт, К.Ф. Григорьева—1956г., С.И. Пурсаков—1971г., Ю.В. Гаврилов—1973г. по оформлению школьных карт, Г.Е. Коломиец—1973г., И.В. Пилькевич—1974г., М.А. Топчилов—1974г.,

О.С. Любивая—1975г., О.В. Украинко—1979г., Г.Ф. Бурлаченко—1982г., А.Г. Гриценко—1982г., Л.В. Ванюкова—1982г., Е.Л. Касьянова—1987г., М.О. Говоров—1988г.



Рис. 5. Коллектив кафедры картографии в 1983 г.

Сидят (слева направо): ассистент Ивлева М. А.; старший лаборант Лебедева В. Г.; ассистент Егорова Т.С.; старший преподаватель Меркулова А. А.; ассистент Родионова М. А.; к.т.н., доцент Егоров В. В.; к.т.н., доцент Григорьева К. Ф.; к.т.н., доцент Соколов О. В.

Стоят: лаборант Кулешова О. А.; ассистент Шептунова Т. Ф.; к.т.н. доцент Тарновский Л. Ф.; ассистент Ромашова Л. А.; заведующий кафедрой, к.т.н., доцент Гаврилов Ю. В.; к.т.н., доцент Пурсаков С. И.; к.н.т., доцент Коломиец Г. Е.; к.т.н., старший преподаватель Гриценко А. Г.

Преподаватели кафедры всегда занимались и занимаются научно-исследовательской работой и принимают активное участие в работе многих научно-технических национальных и международных конференций, конгрессов, симпозиумов.

В 1979 г. преподаватели кафедры Соколов О.В., Егоров В.В.,

Гаврилов Ю.В. стали авторами тематических карт в первый школьно-краеведческий атлас Новосибирской области (рис. 6, 7).



Проект атласа разработан фабрикой №3 ГУГК

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

В.А. НИКОЛАЕВ — председатель редколлегии, доктор геолого-минералогических наук
 А.Г. ГУЩИНА — ответственный редактор
 Р.П. ДОНУКАЛОВА
 В.Ф. ИГНАТЬЕВА
 В.М. КРАВЦОВ — кандидат географических наук
 И.В. ПИЛЬКЕВИЧ — кандидат географических наук
 О.В. СОКОЛОВ — кандидат технических наук

В разработке специального содержания карт и текста атласа принимали участие:

кандидат географических наук Н.И. БАГЛАЕВА („Физико-географическое районирование“), кандидат технических наук Ю.В. ГАВРИЛОВ („Образование и наука“), кандидат сельскохозяйственных наук И.М. ГАДЖИЕВ („Поч-

Рис. 6. Обложка и список авторов карт



Рис. 7. Фрагменты карт, созданных преподавателями кафедры

В научной работе кафедры за период с 1970 по 1994 год сформировался ряд научных исследований по следующим направлениям:

1. Природоохранное картографирование – разработка карт охраны природы, школьных и туристских карт (Соколов О.В., Гаврилов Ю.В., Украинко О.В. и др.).

а) эколого – гигиеническое картографирование окружающей среды (Соколов О.В., Пурсаков С.И., Конусова Г.И., Ромашова Л.А. и др.);

б) картографирование антропогенных нарушений природной среды по материалам дистанционных съёмок (Любимая О.С., Сухорукова С.А. и др.).

2. Изыскание новых картографических проекций (Конусова Г.И., Топчилов М.А.).

3. Исследование точности картографирования количественных характеристик и картометрических определений явлений (Пурсаков С.И.).

4. Геолого – экономическое картографирование (Маликов Б.Н., Говоров М.О.).

5. Морфология и морфометрия рельефа (Пилькевич И.В., Коломиец Г.Е., Гриценко А.Г.).

6. Применение картографического метода в науках о Земле (К.Ф. Григорьева, И.В. Пилькевич, Г.Е. Коломиец, О.В. Украинко, А.К. Гриценко, Г.Ф. Бурлаченко, Б.Н. Маликов).

7. Внедрение автоматизированных средств и компьютерных технологий при создании карт, создание ГИС (Ванюкова Л.В., Касьянова Е.Л., Матерук А.Ю.)

С 1977 г. по хоздоговору с Институтом леса и древесины СО АН СССР (Красноярск) под руководством Соколова О.В. выполнено проектирование более 10 видов лесных карт разной специализации с привлечением преподавателей и студентов-дипломников. Все работы выполнялись вручную, использовались лишь чертежные ручки, тушь, кисти и акварельные краски. В 1979 г. преподаватели кафедры Соколов О.В., Егоров В.В., Гаврилов Ю.В. стали авторами тематических карт в первый школьно-краеведческий атлас Новосибирской области.

С 1980г. по инициативе Соколова О.В. проводились работы по составлению эколого-гигиенических карт окружающей среды в рамках проблемы «Человек и окружающая среда». В творческом содружестве с Новосибирским институтом гигиены студентами было разработано более 70 оригиналов карт под руководством преподавателей кафедры: Пурсакова С.И., Гаврилова Ю.В., Ромашовой Л.А., Украинко О.В., Попковой Л.М., Шептуновой Т.Ф., Сухоруковой С.А., Комиссаровой Е.В. и др. Карты территорий Приобского экономического района, Алтая, Кузбасса, Южной Якутии, КАТЭКа, юга Западной Сибири, используемые для районных планировок, обоснования мероприятий по охране здоровья населения и окружающей среды.

За эти годы опубликовано около 100 статей сотрудников кафедры в трудах НИИГАиКа, межвузовских сборниках, сборниках СО АН СССР, АМН СССР и других изданиях. Преподаватели Пилькевич И.В., Гриценко А.Г. являются соавторами двух коллективных монографий.

Лекции студентам читали и приглашенные крупные учёные МИИГАиКа: А.И. Преображенский (1986 г.), Ю.П. Селиванов (1986 г.). Многие годы воз-

главлял Государственные комиссии по защите дипломных проектов доктор технических наук, профессор А.И. Мазмишвили.

Выпускники кафедры Белоглазова О.А., Маркова Л.И., Маликов Б.Н. были удостоены Государственных премий за участие в проектировании разных карт.

В 1977 г. начата подготовка студентов социалистических стран – Кубы, ГДР, Венгрии, Монголии. Подготовлены инженеры-картографы для зарубежных государств: ГДР, Кубы, Венгрии, Монголии – всего 32 специалиста. Возникли интернациональные связи с рядом государств. Прежде всего - с Чехословакией, куда по линии обмена практикой выезжали студенты под руководством С.И. Пурсакова, Ю.В. Гаврилова, М.А. Топчилова.

Стажировку на кафедре картографии и геоинформатики проходили специалисты из Германии, Монгольской Народной Республики.

Первоначально осуществлялась специализация подготовки специалистов по двум направлениям: проектирование и составление карт, издание карт.

С начала 80-х годов в учебном плане появились следующие новые дисциплины: автоматизация в картосоставлении, математические методы в составлении и использовании карт; редактирование тематических карт; аэрокосмические методы в тематической карт.

В начале 90-х годов появились новые предметы: цифровое картографирование и картографический дизайн.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Изображение аэроклуба [Электронный ресурс]/ NOVOSIBDOM.RU Архитектура Новосибирска. – Электрон. дан. – Новосибирск, 2003. – Режим доступа: <http://nsk.novosibdom.ru/node/2184>. – Загл. с экрана

© Е. Л. Касьянова, 2018

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНЫХ УЗЛОВ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА)

Иван Иванович Кищенко

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, магистрант факультета бизнес-информатики, тел. (383)328-02-50, e-mail: did_70@mail.ru

Ксения Викторовна Красникова

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, аспирант, преподаватель кафедры информационных технологий транспорта, тел. (383)328-02-50, e-mail: zemlyanskayakv@edu.stu.ru

В данной статье рассматриваются вопросы имитационного моделирования транспортно-пересадочного узла. Целью работы является разработка системы для поддержки принятия решений при организации работы транспортно-пересадочного узла. Практическая ценность данного исследования предполагает совершенствование транспортной инфраструктуры, а также повышение эффективности перевозочного процесса.

Ключевые слова: моделирование, транспортно-пересадочный узел, пассажиропоток.

IMITATIONAL MODELING OF TRANSPORTATION AND INTERCHANGE UNITS (ON THE EXAMPLE OF THE CITY OF NOVOSIBIRSK)

Ivan I. Kischenko

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Graduate, Faculty Information Technologies in Business, phone: (383)328-02-50, e-mail: did_70@mail.ru

Ksenia V. Krasnikova

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D. Student, Lecturer, Department Information Transport Technology, phone: (383)328-02-50, e-mail: zemlyanskayakv@edu.stu.ru

The issues of transport hub simulation are described in the article. The aim of the work is to create a decision support system for organizing the operation of the transport hub. The practical value assumes the improvement of the transport infrastructure and the increase of efficiency of the conveyance process.

Key words: simulation, transport hub, passenger traffic.

Транспортно-пересадочный узел (ТПУ) является пассажирским комплексом, выполняющим функции по перераспределению пассажиропотоков между видами транспорта и направлениями движения, а также попутное обслуживание пассажиров объектами социальной инфраструктуры [1]. Главным в транспортно-пересадочном комплексе является пассажир, который использует ТПУ для быстрого и комфортного преодоления расстояния из точки «А» в точку «Б». ТПУ охватывает как общественный, так и личный транспорт. Поэтому для

повышения эффективности перевозочного процесса ТПУ необходимо решить следующие задачи:

- изучить причины загруженности улично-дорожной сети города;
- найти способы, повышающие эффективность перевозочного процесса.

Оптимизация ТПУ поможет:

- снизить загруженность улично-дорожных сетей личным транспортом;
- улучшить организацию движения общественного транспорта;
- уменьшить затрачиваемое время на пересадки между различными видами транспорта;
- повысить комфортность ожидания транспорта.

Единственно правильного решения организации работы ТПУ не существует, вариантов большое множество.

Для моделирования транспортно-пересадочного узла необходимо было изучить и структурировать цели и задачи организации работы ТПУ. Полученное дерево целей и задач изображено на рис. 1, белыми блоками представлены цели, серыми – задачи.



Рис. 1. Цели и задачи организации транспортно-пересадочного узла

Для дальнейшего исследования авторами были выбраны показатели, значимые для пассажиров: комфортабельность (наличие платформ/мест для ожи-

дания, расстояние между транспортом разного вида, наличие подземных переходов) и время (время ожидания транспорта, время перехода между остановочными пунктами различных видов транспорта).

Объектом моделирования является организованный транспортно-пересадочный узел, который включает такие объекты как:

- объекты транспортной инфраструктуры (объекты внешнего транспорта, объекты пригородного транспорта и др.);
- пешеходные зоны и пути сообщения (тротуары улиц, проходы по территориям станций, вокзалов, зоны внутри станций, вокзалов и др.) [2].

Учет этих элементов ТПУ позволяет создать достаточно универсальную модель, которую легко можно будет адаптировать под конкретные транспортно-пересадочные узлы с использованием эконометрических методов.

Эконометрические методы позволяют не только получить оценки, но и проверить гипотезы, лежащие в основе используемой модели экономического явления, выявить, какие гипотезы нарушаются, и указать, в каком направлении следует модифицировать модель [3].

В качестве объекта моделирования был выбран ТПУ в районе вокзала «Новосибирск-Главный». Данный ТПУ подвергся ряду изменений [4,5]: последний принятый проект по реконструкции площади имени Гарина-Михайловского был предложен и принят в 2004 году, реконструкция закончилась в 2007; спустя несколько лет в июне 2017 был запущен новый транспортный объект, предназначенный для комфортного ожидания транспорта пассажирами и отдыха водителей и кондукторов. Но решения проблемы минимизации затрат времени на пересадку так и не было предложено.

На данный момент в среде имитационного моделирования AnyLogic реализована модель ТПУ (рис. 2), в которую внесены: схема транспортного узла, данные по интенсивностям движения транспорта на перекрестках, расположение пешеходных переходов, светофоров, остановок, входов/выходов в метро, в здание главного и пригородного вокзала. Основными видами транспорта в модели являются: автобусы, маршрутные такси и личный автотранспорт. Исходные данные были получены в ходе мониторинга транспортных потоков.

Движение общественного и личного транспорта, а также движение пассажиров, реализовано с помощью дискретно-событийного подхода (выбор пути движения согласно вероятностному распределению).

В ходе работы над моделью был проведен оптимизационный эксперимент: в качестве целевой функции было использовано среднее время проезда на двух перекрестках, а также были заданы границы изменения параметров, отвечающих за работу светофоров.

На рис. 3 представлена модель в действии. Цветным градиентом на рисунке отмечается плотность пешеходов и транспорта, а также их расположение.



Рис. 2. Дорожная сеть ТПУ

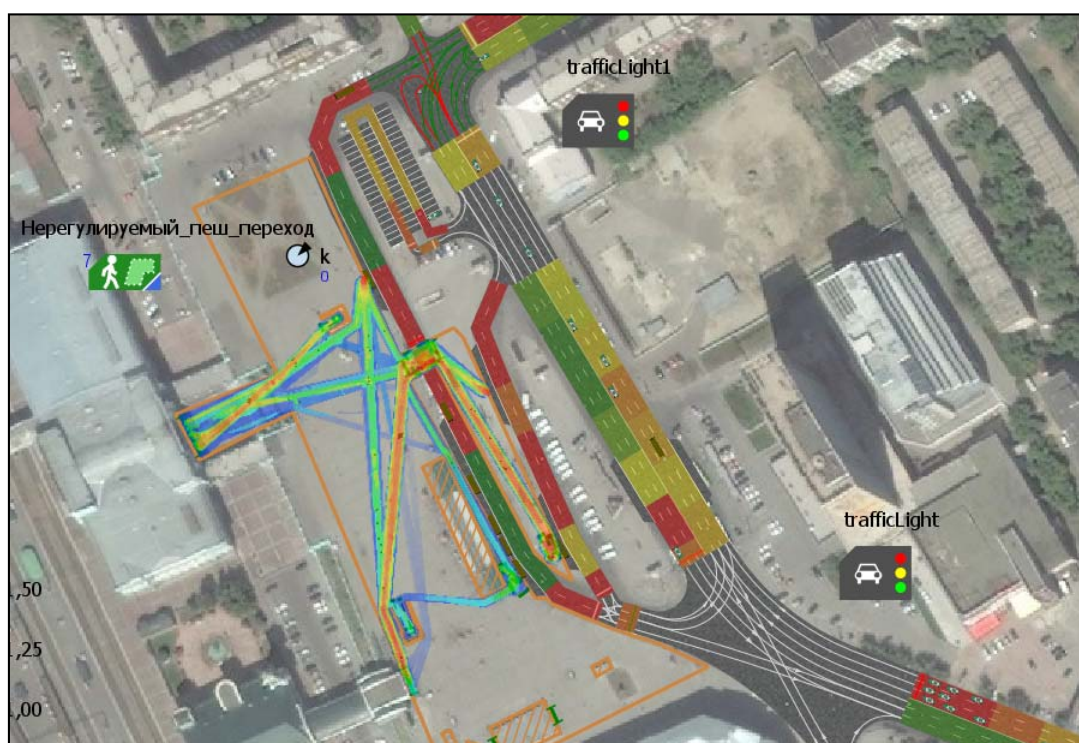


Рис. 3. Разработанная модель ТПУ в действии

При изменении области движения пассажиров было выявлено место, где переход занимает наименьшее время и расстояние. На рис. 4 представлено, что при соблюдении правил дорожного движения пассажирами существует проблема «затраты времени» на пересадку из метро (отмечен цифрой 1) на авто-

бусную остановку (отмечен цифрой 2). Зеленой линией отмечен путь, не нарушающий правила дорожного движения, коричневой – с нарушениями.

Красными кругами на рис. 4 отмечены объекты, между которыми пассажиры могут передвигаться, зелеными – объекты, которые в данный момент прорабатываются в модели.

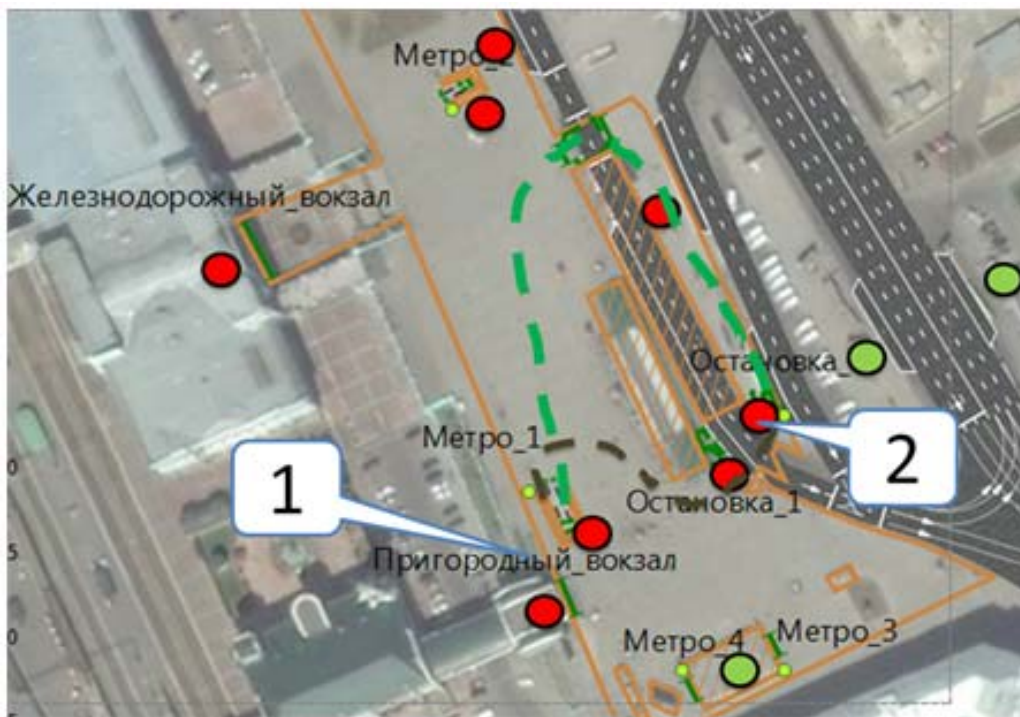


Рис. 4. Моделирование движения пассажиров

Время, затраченное пассажирами на пересадку, полученное в результате моделирования, приведено в таблице.

Время, затраченное на пересадку

маршрут время, в секундах	от пригородного вокзала до остановки		от остановки до пригородного вокзала	
	через имеющийся пешеходный переход	через введенный пешеходный переход	через имеющийся пешеходный переход	через введенный пешеходный переход
среднее	620	173	228	188
минимальное	503	136	168	139
максимальное	745	207	302	273

Из рисунка и полученных данных можно сделать вывод, что введение пешеходного перехода снизит затраты времени при переходе от пригородного вокзала или рядом располагающегося выхода из метро до остановки (переходя

через нерегулируемый пешеходный переход), а также на переход в обратном направлении.

Еще одним решением, повышающим эффективность рассматриваемого ТПУ, является создание перехода, соединяющего главное здание вокзала с метрополитеном. Данное решение удобно тем, что пассажирам не придется выходить из метро на улицу, чтобы попасть в главное здание вокзала.

В перспективе для повышения универсальности работы модели ТПУ планируется разработка модели пассажиропотока в виде толпы. Модель толпы будет состоять из двух частей: окружающей среды и совокупности агентов (пассажиры), которые взаимодействуют между собой и с окружающей средой. Поведение агента будет зависеть как от факторов внешней среды, так и от выбора стратегии поведения других агентов [6]. Имитационную модель ТПУ можно использовать в качестве инструмента по поддержке принятия решений по управлению пассажиропотоком [7]. Модель может быть использована, как часть интеллектуальной транспортной системы, задача которой – оценка состояния транспортной системы, оценка и прогнозирование перспективного спроса на передвижение населения и перевозку грузов.

На данный момент ведутся работы по добавлению в модель объектов железнодорожного транспорта и метрополитена, прорабатывается поведение пассажиров для проведения дальнейших оптимизационных экспериментов. Также рассматривается разработка перехода, соединяющего главное здание вокзала с метрополитеном.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бочаров Ю.П., Петрович М. Л., Баранов А. С. Ранжирование транспортно-пересадочных узлов городской интермодальной транспортной системы // Вестн. ВолгГАСУ. Сер. Стр-во и арх. Вып.31(50). Ч. 2. Волгоград: ВолгГАСУ, 2013.
2. Моделирование пассажиропотоков в пересадочном узле Малого кольца Московской железной дороги / URL: <https://www.anylogic.ru/transfer-hub-passenger-flow-simulation-at-moscow-ring-railway/> (Дата обращения: 22.09.17).
3. Щербина Е.В., Власов Д.Н. Развитие системы транспортно-пересадочных узлов Российской Федерации // Архитектура и строительство России. –2013. –№6. –С. 2-7.
4. О презентации проекта реконструкции площади Гарина-Михайловского / URL: <http://novo-sibirsk.ru/news/55665/> (Дата обращения: 28.09.17).
5. Постановление мэрии города Новосибирска от 30.10.2013 № 10239 «Об утверждении проекта планировки центральной части города Новосибирска» / URL: http://novo-sibirsk.ru/upload/iblock/a4b/docs_postanovlenie_merii_goroda_novosibirska_ot_30_oktyabrya_2013_g_10239_ob_utverzhdenii_proekta_planir_file_2013_10239.pdf (Дата обращения: 28.09.17).
6. Лановой А. Ф. Моделирование поведения толпы на основе дискретно-событийного мультиагентного подхода / А. Ф. Лановой, А. А. Лановой // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2014. –№ 4(4). –С. 52-57. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vejpte_2014_4%284%29__11 (Дата обращения: 29.09.17).
7. Яцкив И.В., Юршевич Е.А., Колмакова Н.В. Использование возможностей имитационного моделирования для анализа транспортных узлов // Имитационное моделирование. Теория и практика (ИММОД-2005). Сб. докл. –С. 237-245.

© И. И. Кищенко, К. В. Красникова, 2018

АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛА ВЕТРОВОЙ ЭНЕРГИИ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЦИФРОВОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Анастасия Денисовна Савельева

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Даулета Серикбаева, 070004, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, г. Усть-Каменогорск, ул. А. К. Протозанова, 69, студент, тел. (777)991-43-19, e-mail: savelievaad@gmail.com

Асем Кенжебековна Оразаева

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Даулета Серикбаева, 070004, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, г. Усть-Каменогорск, ул. А. К. Протозанова, 69, студент, тел. (777)980-08-58, e-mail: orazaeva-98@mail.ru

Юлия Дмитриевна Гусаренко

Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Даулета Серикбаева, 070004, Республика Казахстан, Восточно-Казахстанская область, г. Усть-Каменогорск, ул. А. К. Протозанова, 69, ст. преподаватель, тел. (708)900-53-10

В статье рассмотрены перспективы развития ветроэнергетики в Республике Казахстан путём анализа потенциала ветровой энергии на основе создания комплексной цифровой карты ветров территории Восточно-Казахстанской области.

Ключевые слова: зеленая энергетика, ветроэнергетика, ветрогенератор, ветроэнергостанция, штиль, среднегодовая скорость ветра, метеорологические исследования, метеомачта, цифровая карта ветров, ветропотенциал.

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF WIND ENERGY IN THE TERRITORY OF THE EAST KAZAKHSTAN REGION BASED ON DIGITAL MAPPING

Anastassiya D. Savelyeva

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, 69, Protozanov A.K. St., Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region, 070004, Republic of Kazakhstan, Student, phone: (777)991-43-19, e-mail: savelievaad@gmail.com

Asem K. Orazaeva

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, 69, Protozanov A.K. St., Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region, 070004, Republic of Kazakhstan, Student, phone: (777)980-08-58, e-mail: orazaeva-98@mail.ru

Yuliya D. Gusarenko

D. Serikbayev East Kazakhstan State Technical University, 69, Protozanov A.K. St., Ust-Kamenogorsk, East Kazakhstan region, 070004, Republic of Kazakhstan, Senior Lecturer, phone: (777)152-69-97, e-mail: gusarulka@list.ru

Prospects of wind energy development in the Republic of Kazakhstan are analyzed in the article by analyzing the potential of wind energy based on the creation of a comprehensive digital map of winds in the territory of the East Kazakhstan region.

Key words: green energy, wind energy, wind generator, wind power station, calm, annual wind speed, meteorological studies, weather report, digital map of winds, wind potential.

Ежегодно потребление и загрязнение энергетических, сырьевых и растительных ресурсов возрастает, в настоящее время оно достигло своего апогея. Из недр земли в среднем ежегодно добывается до 100 млрд. т. рудных полезных ископаемых, топлива и различных строительных материалов, природного газа и нефти - до 5 млрд. т. Ежегодно в атмосферу выбрасывается более 200 млн. т оксида углерода, около 150 млн. т диоксида серы. В Мировой океан попадает до 10 млн. т нефти. С каждым годом площади почв, пригодных для земледелия, уменьшаются на 6 - 7 млн. га. [6].

Население Земли стремительно растёт, что способствует увеличению потребления различных ресурсов, в том числе и энергоресурсов. От развития энергетической отрасли зависят темпы развития не только отдельных территорий, но и целых государств [8].

Во всем мире получает свое распространение так называемая «зеленая энергетика», которая заключается в использовании современных, экологически проверенных, энергоэффективных технологий. Развитие и совершенствование «зелёной энергетики» обусловлено необходимостью восполнения энергодефицита, решением экологических проблем и нового этапа технологического развития мировой экономики. Спектр и масштаб возобновляемых источников энергии достаточно широк - от локальных ветровых установок до глобальных проектов, позволяющих получать энергию космоса [1].

Ветроэнергетика - одна из отраслей «зелёной энергетики», которая основана на преобразовании кинетической энергии воздушных масс, находящейся в атмосфере, в электрическую, механическую, тепловую или в иную форму энергии, применяемую в народном хозяйстве. Для этого используют следующие специализированные установки:

- ветрогенератор (для получения электрической энергии);
- ветряную мельницу (для преобразования в механическую энергию);
- парус (для использования в транспорте) и др.

По сравнению с другими видами энергии, ветроэнергия является возобновляемой, так как энергия ветра является следствием активного влияния Солнца. Сеть ветрогенераторов состоит из двух и более крупных ветряных аппаратов. Более мелкие же используют для снабжения электричеством удалённых районов. В отличие от природных ископаемых, энергия ветра практически неисчерпаема, повсеместно доступна и более экологична. Но при строительстве данных сооружений возникает ряд технических и экономических проблем, способствующих замедлению развития ветроэнергетики. В частности, непостоянство ветровых потоков также является достаточно большой проблемой [7].

Теоретически ветроэнергостанцию (ВЭС) можно разместить в абсолютно любой точке местности, потому что такое природное явление как ветер присутствует повсеместно. Но необходимо экономическое обоснование каждой ВЭС, чтобы вложения были прибыльными.

Республика Казахстан является одной из самых богатых минеральными ресурсами стран мира. Несмотря на это, глобальные проблемы, касающиеся истощения минеральных и углеводородных ресурсов, неминуемо затрагивают и нас. Поэтому для нашей Республики «зеленая энергетика» также имеет большой интерес.

Естественной преградой для ветра является неровность рельефа. Восточный Казахстан обладает достаточно большим количеством горной и холмистой местности, что в свою очередь способствует меньшему количеству ветров. В таких горных районах Восточно-Казахстанской области (ВКО) как Катон-Карагайский, Маркакольский и Тарбагатайский имеет место быть такое явление как штиль. Штиль – это безветренная погода, которая существует в любой местности. Штиль является самым неблагоприятным явлением для ветроэнергетики [8].

Среднегодовая скорость ветра на территории Восточного Казахстана находится в промежутке от 0,8 до 3,8 м/с [2]. Такая скорость объясняется рельефом местности, антропогенными факторами, временем года и т.д. В различное время года скорость ветра различна, соответственно выработка энергии различна в течение года. Наименьшая скорость ветра в ВКО наблюдается в летнее время, наибольшая - в зимнее. Данная статистика объясняется формированием воздушных масс, влиянием различных атмосферных фронтов. Таким образом, ВКО обладает определённым потенциалом ветровой энергии.

Для более точной оценки потенциала ветровой энергии наиболее подходящих мест необходимы специальные метеорологические исследования с использованием метеорологической мачты высотой 30 – 80 м на протяжении одного года как минимум. Для расчёта годовой выработки электроэнергии ветровыми установками используют данные, полученные метеорологической мачтой. Результаты исследований применяют для подготовки технико-экономического обоснования строительства ветряной электростанции [7].

В целях выбора мест расположения площадок, пригодных для строительства ВЭС, по данным 29 метеорологических станций Восточного Казахстана, имеющимся за последний год, с помощью ПО MapInfo Professional 12.5 были созданы три слоя комплексной цифровой карты ветров территории Восточного Казахстана: среднемесячной скорости ветра за январь, июль и за год (рис. 1) [9,5].

С помощью программы Microsoft Excel по метеорологическим данным были построены розы ветров населённых пунктов Восточного Казахстана, вместе с этими данными привязанные к пунсонам населённых пунктов ВКО с помощью функции «Геолинк» [9].

Анализ данных созданной цифровой карты показал, что местность близ озера Алаколь обладает огромным ветропотенциалом. Средняя скорость потоков ветра на высоте 50 м за год составляет 9,7 м/с, а плотность - 1050 Вт/м². Это позволит производить примерно 4400 кВт. ч электрической энергии на 1 кВт установленной мощности ВЭС. Полученные результаты определяют данную местность, как уникальную территорию для достижения целей ветровой энергетики. Наличие огромной площади открытого пространства позволяет распо-

ложить здесь несколько сот ветряных электростанций МВт мощности с выработкой электричества приблизительно 1 млрд. кВт.ч в год. В настоящий момент в данном районе ведется строительство пробной ВЭС 5 МВт, которая предполагает выработку примерно 18 млн. кВт. ч электричества в год. В случае эффективной эксплуатации мощность ВЭС может быть увеличена до 50 МВт [8,4].

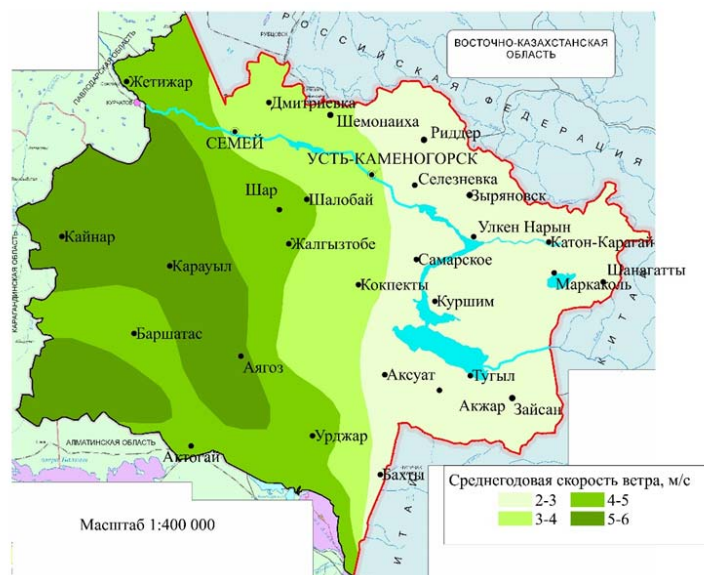


Рис. 1. Карта среднегодовой скорости ветра ВКО

Жарминская площадка, находящаяся на расстоянии 100 км от г. Усть-Каменогорска, также имеет хорошие перспективы развития, средняя скорость ветра на высоте 10 м в данном районе составляет 5,6 м/с, при этом плотность ветряного потока равна 510 Вт/м^2 , что позволяет производить примерно 3200 кВт/ч энергии на каждый кВт. предположительной мощности ВЭС (рис. 2).

Планируемая мощность ветряной электростанции составит порядка 40 МВт. Данный показатель является сопоставимым со многими выгодными ветровыми местами в Европе [8,4].

Многие регионы Республики Казахстан находятся в зависимости от поставок электричества из центральных регионов страны. Транспортировка электроэнергии на большие расстояния приводит к огромным потерям электроэнергии, в том числе из-за устарелой инфраструктуры. Для удовлетворения возрастающего спроса на потребление электроэнергии в отдалённые регионы страны необходимо увеличить поставки электроэнергии. Это означает значительное увеличение капитальных вложений для обновления и расширения генерирующих мощностей и инфраструктуры электрической сети.

Использование местных источников электроэнергии сокращает общие затраты за счёт уменьшения капитальных вложений в развитие инфраструктуры электросети, потерь электроэнергии при транспортировке [6].

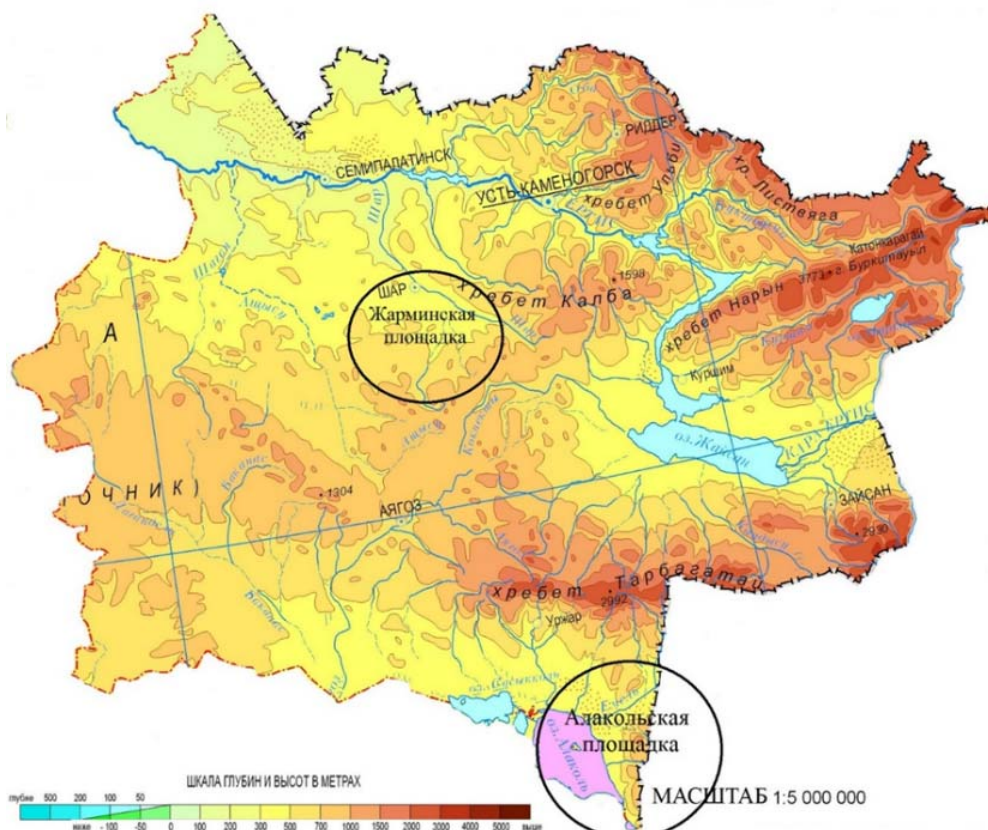


Рис. 2. Расположение площадок, пригодных для строительства ВЭС

Казахстан располагает огромными ветровыми ресурсами, так как страна находится в ветровом поясе северного полушария. На большей части государства наблюдаются весьма сильные воздушные течения преимущественно северо-восточного и юго-западного направлений. Примерно на половине территории Казахстана среднегодовая скорость ветра равна 4 - 5 м/с, что, учитывая площадь страны (свыше 2,72 млн. км²), обуславливает наличие огромного ветроэнергетического потенциала. Во многих районах Казахстана среднегодовая скорость ветра равна либо превышает 6 м/с, что создает в этих районах перспективные условия для использования ветровой энергетики. Стоимость электроэнергии от ВЭС, которая расположена в таких местах, равна 5 - 7 центам за кВт.ч, с учётом инвестиций [4].

В результате влияния многочисленных факторов, Республика Казахстан рассматривается как одна из наиболее перспективных территорий для применения энергии воздушных масс. Районы, где скорость ветра равна либо превышает 6 м/с, находятся в центральной части страны, в Прикаспии, а также на юге, юго-востоке и юго-западе государства. Потенциал Республики, по оценкам экспертов, составляет около 1820 млрд. кВт.ч в год. В общей сложности, в Казахстане производится - 18,400 МВт, мощность ветровых электростанций может составить 3500 МВт при годовой выработке электричества порядка 8 - 9 млрд. кВт.ч. Экономический потенциал использования ветроэнергетики будет опре-

деляться соотношением стоимости электрической энергии ветряных станций и источников энергии с учётом транспортировки, а также учётом экологического эффекта от уменьшения загрязнения окружающей среды при замещении мощностей угольных электростанций [4].

Казахстан обладает развитым объединением взаимосвязанных отраслей машиностроения, которое в перспективе даёт возможность создать производство ветровых установок на казахстанских предприятиях. В результате снизится стоимость строительства ветростанций и, следовательно, стоимость электроэнергии от ветряных станций. Овладение современной технологией ветроэнергостроения внесёт существенный вклад в индустриализацию и социально-экономическое развитие Казахстана [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Егорова М.С. Развитие возобновляемых источников энергии - мировой опыт и российская практика. //Вестник науки Сибири. - 2013. [Электронный ресурс]. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-vozobnovlyaemyh-istochnikov-energii-mirovoy-opyt-i-rossiyskaya-praktika>.
2. РГП «КАЗГИДРОМЕТ». [Электронный ресурс]. URL: <https://kazhydromet.kz/ru>.
3. Energy Partner. Возобновляемые источники энергии. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.energypartner.kz/>.
4. Закон Республики Казахстан от 4 июля 2009 года № 165-IV «О поддержке использования возобновляемых источников энергии» (с изменениями и дополнениями по состоянию на 28.12.2016 г.).
5. Руководство пользователя MapInfo Professional 12.0. - Лондон: Pitney Bowes Software Inc. – 2015.
6. Статистика окружающей среды и природных ресурсов. [Электронный ресурс]. URL: https://works.doklad.ru/view/xNa8Hdk_8mU.html.
7. ГОСТ Р51990-2002. Нетрадиционная энергетика. Ветроэнергетика.
8. Установки ветроэнергетические. Классификация.
9. Болотов А.В., Соколов С.Е., Болотов С.А. Развитие ветроэнергетики
10. Республики Казахстан, энергетические системы электроснабжения автономных
11. объектов. //Вестник АИЭС. - № 3 (6). - 2009. - С. 11 - 18.
12. Нурпеисова Т.Б., Ормамбекова А.Е. Оцифровка карт в программе MapInfo: методические указания по выполнению лабораторных работ. - Алматы: КазНТУ, 2005. - 37 с.
13. Салищев К.А. Картоведение. - М.: Изд-во Московского университета, 1976. - 438 с.

© А. Д. Савельева, А. К. Оразаева, 2018

МОРФОДИНАМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ И ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ ИРКУТСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Владимир Павлович Ступин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (964)103-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

Леонид Александрович Пластинин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914)881-18-08, e-mail: plast@istu.edu

Борис Николаевич Олзоев

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, кандидат географических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (914)8811808, e-mail: icob_irk@mail.ru

Рассмотрены принципы, методика и результаты тематического картографирования и морфодинамического анализа зоны воздействия Иркутского водохранилища на основе концепции морфосистем, использования материалов дистанционного зондирования и технологий геоинформационной картографии.

Ключевые слова: геоинформационное картографирование, мониторинг водохранилищ, морфодинамический анализ.

MORPHODYNAMIC STUDY AND GIS MAPPING OF THE ZONE OF INFLUENCE OF THE IRKUTSK RESERVOIR

Vladimir P. Stupin

Irkutsk National Research Technical University, 83, LermontovaSt., Irkutsk, 664074, Russia, D. Sc., Associate Professor, Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: (964)103-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

Leonid A. Plastinin

Irkutsk National Research Technical University, 83, LermontovaSt., Irkutsk, 664074, Russia, D. Sc., Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: (914)881-18-08, e-mail: plast@istu.edu

Boris N. Olzoev

Irkutsk National Research Technical University, 83, LermontovaSt., Irkutsk, 664074, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Surveying and Geodesy, phone: (914)881-18-08, e-mail: icob_irk@mail.ru

Principles, methods and results of thematic mapping and morphodynamic analysis of the impact zone of the Irkutsk reservoir based on the concept of morphosystems, the use of remote sensing materials and technologies of GIS mapping are considered.

Key words: GIS mapping, monitoring of reservoirs, morphodynamic analysis.

Иркутское водохранилище на реке Ангара – первое из водохранилищ Ангарского каскада, образованное в результате строительства Иркутской ГЭС, которое началось в 1950 году и было закончено в 1958 году. Однако, наполнение водохранилища до уровня нормальной проектной отметки (НПУ) 456,59 м, было завершено только в 1962 году. При этом уровень озера Байкал поднялся на 1,46 м и озеро фактически стало частью водохранилища. Полезный объём речной части водохранилища составляет 0,07 км³, а озёрной 23 615,39 км³. Речная часть водохранилища используется для суточного регулирования стока, а озёрная, составляющая более 99 % от общего объёма, обеспечивает многолетнее и годовичное регулирование стока и равномерность работы Иркутской ГЭС. Отметка ФПУ (форсированного подпорного уровня) при пропуске паводка обеспеченностью 0,01 %, то есть 1 раз в 10 000 лет, составляет 458,2 м, а отметка УМО (уровня мёртвого объёма) – 456 м. Таким образом, практически колебания уреза водохранилища не превышают 1 м.

Несмотря на то, что Иркутская ГЭС является низконапорной русловой станцией, в зоне затопления и подтопления водохранилища оказалось 1 386 км², в том числе 323 км² земель сельскохозяйственного назначения, более 200 населённых пунктов, участок шоссейной дороги Иркутск-Листвянка и часть Кругобайкальской железной дороги на участке Иркутск-Михалево-Подорвиха-Байкал. Из зоны затопления было переселено 3,3 тыс. дворов и 17 тыс. человек.

Длина образовавшегося искусственного водоема по прямой от истока Ангары до верхнего бьефа ГЭС составляет 55 км, а его средняя ширина 2,8 км (максимальная 7 км). Однако, вследствие сильной изрезанности берега в результате подтопления устьев притоков Ангары, длина береговой линии существенно больше и составляет 143 км для левого берега и 132 км для правого. Площадь водного зеркала при НПУ превышает 154 км². Средняя глубина водохранилища достигает 13,2 м, а максимальная глубина (35 м) находится у верхнего бьефа плотины ГЭС. Площадь водосбора водохранилища, исключая его озёрную часть, составляет 542 км².

Иркутская ГЭС – первая крупная гидроэлектростанция в Сибири. Она выработала более 200 млрд кВт·ч возобновляемой электроэнергии, что позволило установить в Иркутской области самые низкие тарифы на электроэнергию в России и дало толчок к развитию промышленности региона, в том числе энергоёмких производств, таких как Иркутский алюминиевый завод. Станция используется как переход через Ангару – по плотине ГЭС проложена автомобильная дорога. ГЭС поддерживает судоходные глубины на Ангаре вплоть до Братского водохранилища. Иркутская ГЭС обеспечивает стабильную работу водозаборов, расположенных как на водохранилище, так и ниже его по течению. Обладая крупным регулирующим водохранилищем и широкими возможностями по управлению стоком, Иркутская ГЭС позволяет эффективно бороться с традиционными для Иркутска зимними наводнениями, вызываемыми зажорными явлениями. Расход на нижнем бьефе Иркутской ГЭС при пропуске сильных паводков может достигать 6000 м³/с, в то время как в настоящее время,

по причине массовой застройки поймы Ангары, затопления начинаются уже при расходе $3000 \text{ м}^3/\text{с}$.

С другой стороны, создание каскада ангарских водохранилищ осложнило общую экологическую обстановку и привело к негативному изменению природных условий на их побережье, поскольку сопровождалось резким нарушением сложившегося веками естественного равновесия ландшафтов, активизацией и расширением спектра опасных экзогенных геологических процессов [1].

По достижении уровня воды своего НПУ, основной ареной активизации геологических процессов становятся подтопленные склоны и прибрежное мелководье. Прежде всего, это касается процессов непосредственной переработки образовавшихся берегов в поле воздействия волн и течений, где начинается интенсивное изменение рельефа под воздействием процессов абразии, аккумуляции и вдольберегового переноса наносов, формирующих новую береговую линию. В результате размыва берегов и взмучивания наносов, глинистая составляющая береговых отложений уносится водой во взвешенном состоянии, а запасы песка возобновляются.

На вышележащих склонах молодых берегов оживляются многие до этого вялотекущие и возникают ранее не присущие геологические и гидрогеологические процессы: овражная эрозия, карст, суффозия, просадки, оползни, осыпи, обвалы и т.д. В зоне осушки и на мелководьях формируются надводные формы аккумулятивного рельефа (пляжи, косы, пересыпи), а на приглубых побережьях – подводные аккумулятивные призмы (рис. 1, а). Интенсивность многих перечисленных процессов в настоящее время не только не затухает, но зачастую, наоборот, усиливается, что свидетельствует о том, что берега водохранилищ еще далеки от стабилизации.

Влияние созданного водохранилища не ограничивается только переформированием береговой линии и прилегающих склонов. На территории всего побережья могут развиваться процессы подтопления, заболачивания, гибели лесов и др. Ширина зоны воздействия зависит от размера водохранилища, положения НПУ и амплитуды его колебаний относительно бровки берега и изменяется от места к месту от нескольких десятков метров до нескольких километров.

В зоне подтопления, включающей прибрежную полосу водохранилища, повышается уровень грунтовых вод и происходят его колебания синхронно с колебаниями уровня самого водохранилища. Это вызывает активизацию проявлений, овражной эрозии, суффозии и карста.

В зоне береговой переработки, которая включает подзоны непосредственного волнового воздействия (клифы, пляжи и подводные террасы) ведущими геологическими процессами является выветривание, абразия и, связанные с ней оползни, осыпи и обвалы, а также вдоль береговой перенос и аккумуляция наносов (рис. 1, б).



Рис. 1. Снимок GeoEye-1 (дата съемки 03 июня 2017 г.):

а) приглубый берег Иркутского водохранилища; *б)* береговой перенос и аккумуляция наносов Иркутского водохранилища. Район Иркутского аграрного университета

В зоне постоянного затопления, приуроченной к субаквальной части водохранилища, характерно отложение наносов, в основном абразионного происхождения, а также всплывание дернины, торфяников и топляка.

Влияние водохранилища проявляется также на нижнем бьефе и далее вниз по течению реки, а также и на участке реки выше по течению в зоне влияния подпора. Одновременно происходят изменения гидрологического и атмосферного режима – скорости течения, проточности, ледового режима, температуры, влажности, ветров, туманов и т.д.

В Иркутском водохранилище отчетливо обособляются правобережная и левобережная части. Правый берег в его нижней части сложен четвертичными лессовидными склоновыми суглинками и песчано-галечными отложениями ангарских террас. Левый берег почти на всем протяжении сложен скальными и полускальными породами юрского возраста и лишь в средней части в районе залива Большой Калей на незначительном протяжении берега формируются в суглинистых и песчано-галечных отложениях.

В береговой зоне водохранилища на протяжении 152 км (55 % общей длины) по интенсивности и масштабам наиболее развиты абразионные процессы. Максимальная ширина размыва иногда превышает 200 м. Наиболее подвержено размыву сложенное дисперсными грунтами правобережье водохранилища от плотины ГЭС до поселка Патроны. Это привело к значительным безвозвратным потерям земель, в том числе приусадебных участков, пашен и лесных угодий. Максимальные высоты абразионных уступов в рыхлых отложениях подчас превышают 8 м, а в скальных и полускальных – до 3 м. Максимальная ширина размыва уже к 2000 году составляла для слабых грунтов 180 м, а для прочных 25 м [2]. Сейчас эти показатели стали еще больше.

Таким образом, изучение зоны влияния Иркутского водохранилища представляет несомненный научный и практический интерес вследствие особо высокой динамичности происходящих здесь процессов. Очевидна также необходимость организации комплексного и оперативного экологического мониторинга рассматриваемой территории, как части водохранилищ Ангарского каскада[3]. В этом аспекте немаловажное значение имеют относительно небольшие размеры и доступность Иркутского водохранилища как эталона для системно-комплексного мониторинга других водохранилищ каскада.

Наиболее эффективным инструментом указанного мониторинга является геоинформационное картографирование. Применение ГИС-технологий и цифровой картографии позволяет изучать и анализировать сложный механизм формирования и развития крупных водохранилищ по их цифровым картографическим моделям, реализуемым в двухмерном, трехмерном и четырехмерном (динамика во времени) представлении. Геоинформационное картографическое моделирование многократно увеличивает возможности накопления, актуализации, передачи, тиражирования и управления информацией и данными о динамике зоны воздействия водохранилищ. Оно является незаменимым, эффективным и гибким инструментом для научных, ведомственных, административных и других организаций, при выявлении, территориальной привязке, изучении и оценке абразионных, оползневых, гравитационных, карстовых, биогенных и других негативных процессов. Они активно протекают в береговой зоне и за ее пределами, это важно при их прогнозе, планировании и управлении мероприятиями по борьбе с этими процессами и ликвидации их последствий.

Основой геоинформационного картографирования в интересах мониторинга зон влияния водохранилищ являются следующие базовые составляющие: методологическая, информационная и технологическая.

Методологическая составляющая является теоретической основой мониторинга и ГИС-картографирования динамики водохранилищ. В качестве такой основы выступает концепция морфосистем и морфодинамического анализа земной поверхности, позволяющая выявить естественную делимость и динамическую иерархию рельефа и выполнить его картографирование на трех уровнях генерализации – морфоструктурном, бассейновом и склоновом [4, 5]. Одним из базовых принципов мониторинга морфосистем водохранилищ представляется картографирование и районирование их морфологии и динамики на основе двух последних из указанных уровней – бассейновом, в еще большей степени, склоновом. Именно в бассейнах осуществляется распределение потоков талых, дождевых и подземных вод и их наносов. Береговые же склоновые системы являются ареной наиболее динамичной перестройки морфодинамических обстановок при наполнении и эксплуатации водохранилищ.

Согласно бассейновой концепции границами бассейновых систем служат водоразделы, а выводящими каналами – тальвеги створовых водотоков. Бассейновые системы имеют только один выход и опираются непосредственно на урез водохранилища, то есть линии тока вещества и энергии образуют древоподобные конвергентные системы. Бассейновые системы обычно включают два-

три уровня бассейнов низших порядков. Наименьшая таксономическая единица бассейнового ряда – элементарный бассейн с тальвегом первого порядка – выделяется по особенностям морфологии эрозионной сети, заключающейся в том, расчленяющие его борта тальвеги нулевого порядка конформны своим склонам и лишь осложняют их, не образуя собственных бассейнов.

Информационная составляющая геоинформационного системного картографирования представляет собой систему сбора, систематизации и оперативного обновления баз специальных данных. Источниками информации служат: оперативные постоянно обновляемые материалы дистанционного зондирования (цифровые и аналоговые аэро- и космические снимки, получаемые с разнообразных летательных аппаратов и сенсоров); топографические, инженерно-геологические, ландшафтные и другие карты; цифровые модели рельефа; данные, описания и материалы предыдущих и современных исследований и изысканий (рис. 2).

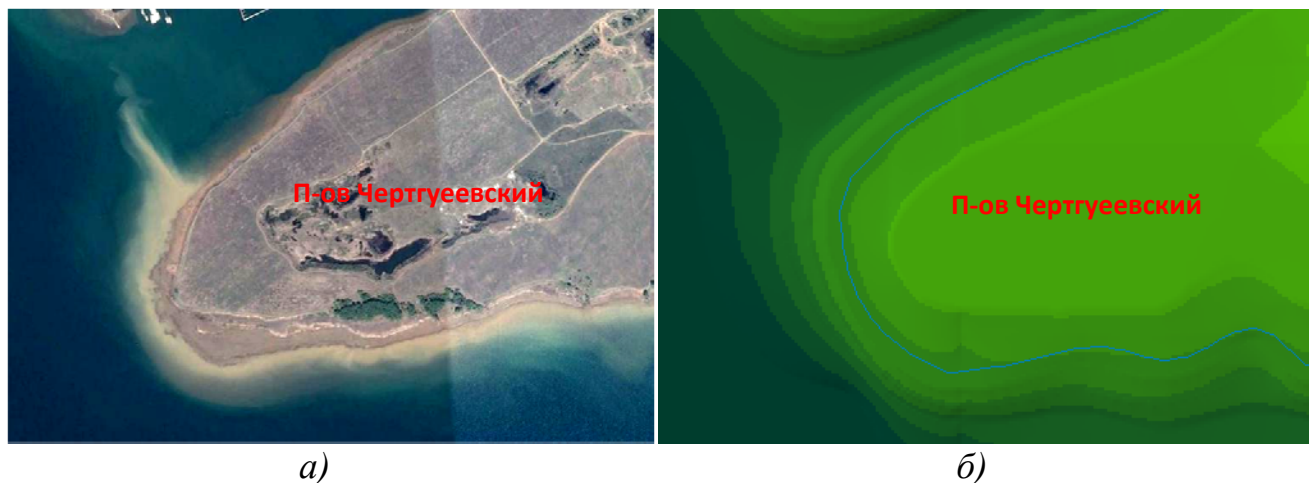


Рис. 2. Берег (полуостров Чертугеевский) Иркутского водохранилища:

- а) фрагмент космического снимка Geo-Eye-1 (дата съемки 03.06.2017 г.);
- б) цифровая модель рельефа, построенная по данным цифровой топографической карты

Технологическая составляющая системного картографирования представляет собой ГИС, предназначенную для пространственной привязки, накопления, хранения, актуализации, обработки и получения новой информации о динамике водохранилищ. Одним из главных средств отображения и исследования геоданных является ГИС-картографирование, которое позволяет выполнить анализ и синтез факторов и условий формирования и развития береговых морфосистем на разных масштабных и временных уровнях (рис. 3).

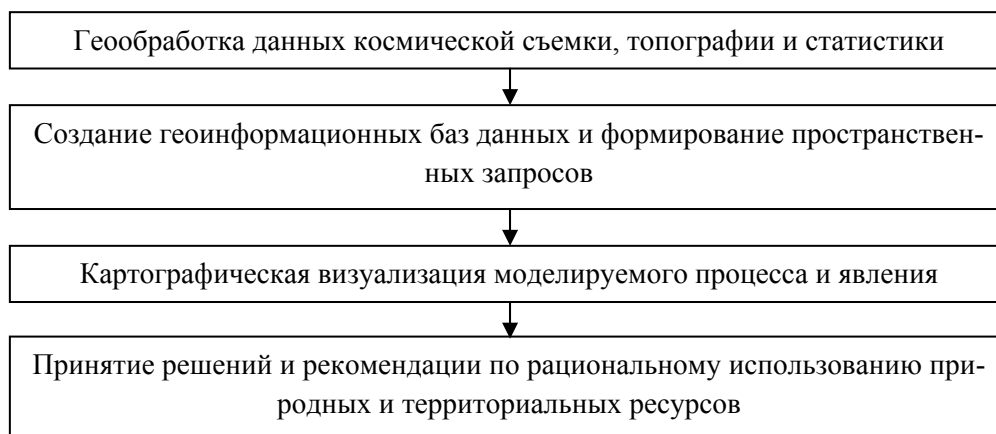


Рис. 3. Принципиальная схема ГИС-картографирования береговых морфосистем

Качество получаемых цифровых карт определяется применяемым программным обеспечением, возможностями средств ввода, вывода и обработки информации. Например, приблизительно одинаковые результаты обеспечивают такие ГИС, как MapInfo, Панорама и др., однако наиболее предпочтительной представляется Esri ArcGIS – геоинформационная платформа корпоративного уровня, предназначенная для поддержки принятия решений с использованием пространственной информации для управления территорией, регионом или организацией. ArcGIS обеспечивает решение любых технологических задач, связанных со сбором, хранением, анализом, визуализацией и предоставлением доступа к пространственным данным (рис. 6). Наиболее полезным для наших исследований модулем системы является модуль Spatial Analyst и особенно такие его опции, как построение изолиний и вычисление производных характеристик поверхностей (отмывки, зон видимости, уклонов, кривизны, экспозиций, поступления солнечной радиации). Также успешно выполняются гидрологические расчеты (поверхностный сток, инфильтрация грунтовых вод, построение речных бассейнов, выделение и порядковая классификация тальвегов). Вторая опция реализуется с помощью стандартных и специализированных инструментов ArcGIS, соответственно, модуля Гидрология и модуля ArcHydro. Эти модули позволяют получать карты гидрографии с соответствующими данными и описаниями, строить дренажные системы, реализовывать 3-D представление как отдельных водотоков, так и их сетей; создавать временные ряды, описывавшие динамику береговых систем.

Контуры бассейновых морфосистем разного ранга строятся на основе цифровых моделей рельефа (ЦМР), например, таких как SRTMv4. Наилучшие результаты получаются в том случае, если сначала используется инструмент Привязка точки устья (SnapPourPoint), который позволит определить положение точек устьев, привязав их к ячейкам с высоким суммарным стоком. Усть-

евые точки можно также набирать вручную по горизонталям векторной карты, построенной по ЦМР.

Принципы, положенные в основу классификации картографируемых берегов и методики картографирования зоны воздействия водохранилищ специально заточены на широкое использование материалов дистанционного зондирования. Классификации должны быть картографичными, т.е. служить основой для последующего оперативного картографирования протяженных береговых линий и обширных площадей зон влияния всех водохранилищ Ангарского каскада, в т.ч. в условиях ограниченного финансирования и сжатых сроков картографирования. Поэтому в основу классификации берегов положен морфотопологический принцип, так как именно морфотопология есть результат прошлого, основа настоящего и предпосылка будущего развития рельефа. Одновременно, она является индикатором выявления природных и техногенных морфосистем, характеризующихся целостностью и относительной устойчивостью своей внутренней структуры, обмена веществом и энергией и т.д.

Основными факторами, определяющими морфотопологию, границы, тип, облик и интенсивность переработки морфосистем водохранилищ являются:

- геоморфологический (морфология и морфометрия рельефа);
- инженерно-геологический (устойчивость пород, слагающих территорию, к выветриванию и денудации);
- гидрологический (ветровой и волновой режимы, колебания уровня, стоковые и волновые течения, ледовые условия);
- ландшафтный (тип климата, растительный покров);
- антропогенный (техногенная нарушенность территорий).

Итак, береговые каскадные склоновые системы классифицируются по морфотопологическим и морфодинамическим характеристикам. Тип береговых морфосистем определялся по совокупности морфологии и морфометрии рельефа, инженерно-геологическим, гидрогеологическим и ландшафтным условиям и антропогенному воздействию.

На рис. 4 приведен авторский вариант базовой морфодинамической карты Иркутского водохранилища, на которой отображена бассейновая структура зоны его воздействия, инженерно-геологические условия, антропогенная нагрузка и морфодинамические типы берегов.

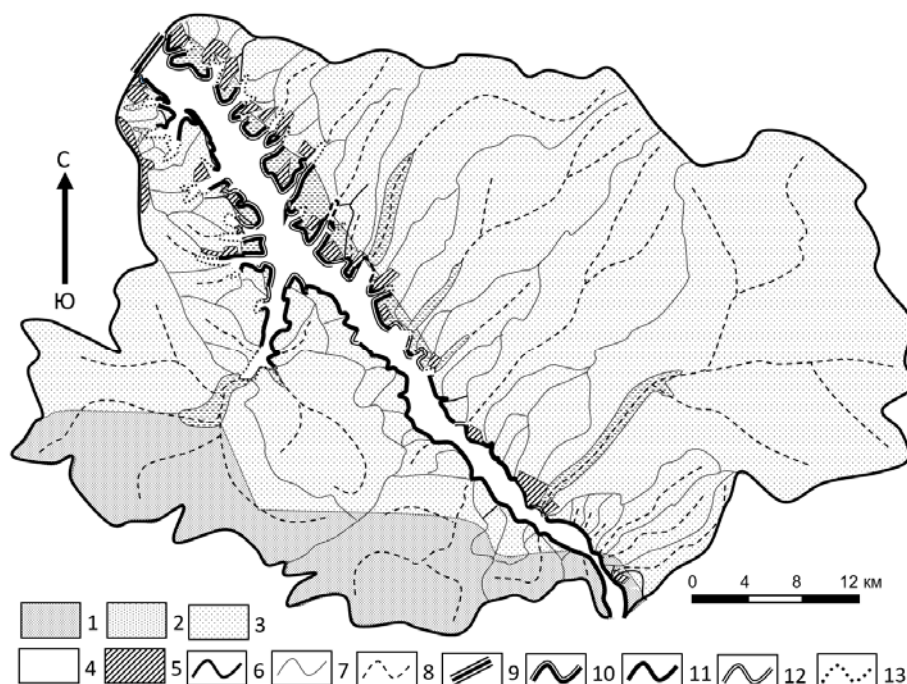


Рис. 4. Морфодинамическая карта Иркутского водохранилища

Условные обозначения: 1-3 Грунты: 1 – скальные: сильнометаморфизованные архейские гранитоиды, гнейсы, кристаллические сланцы, мраморы; 2 – полускальные: песчаники, алевролиты, аргиллиты, конгломераты, угли; 3 – дисперсные: суглинки, пески, галечники; 4 – акватория водохранилища; 5 – селитебные территории; 6-8 – структурные линии: 6 – главный водораздел водосбора водохранилища; 7 – водоразделы второго порядка; 8 – тальвеги; 9 – плотина ГЭС; 10-13 – морфодинамические типы берегов: 10 – абразионные, интенсивно размываемые; 11 – относительно стабильные; 12 – аккумулятивные; 13 – ингрессионные подтопленные

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тржцинский Ю. Б., Козырева Е. А., Мазаева О. А. Активизация экзогенных геологических процессов под воздействием водохранилищ // О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2000 году. – Иркутск: ОАО НПО "Облмашинформ", 2001. – С.188-190.
2. Тржцинский Ю. Б., Овчинников Г. И. Окончательный отчет по теме: «Мониторинг экзогенных геологических процессов береговой зоны Иркутского и Братского водохранилищ», том 1. Институт Земной коры СО РАН, 2004. – 356с.
3. Пластинин Л. А., Ступин В. П. Картографо-космический мониторинг зоны воздействия водохранилищ Ангарского каскада: монография. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2018. – 188 с.
4. Ступин В. П. Картографирование морфосистем. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2009. – 160 с.
5. Пластинин Л. А., Ступин В. П. Морфосистемное картографирование экзогенных геологических процессов Байкальской горной страны // Геодезия и картография. – 2013. – № 10. – С.17–21.

© В. П. Ступин, Л. А. Пластинин, Б. Н. Олзоев, 2018

РАЗРАБОТКА КАРТ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БИОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИНДЕКСОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ WORLDCLIM 2.0 (НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ)

Екатерина Сергеевна Черепанова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (342)239-67-34, e-mail: cherepanova_es@rambler.ru

Людмила Николаевна Ермакова

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры метеорологии и охраны атмосферы, тел. (342)239-61-01, e-mail: lnermak@psu.ru

Андрей Николаевич Шихов

Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614068, Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15, кандидат географических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (342)239-66-33, e-mail: and3131@inbox.ru

Биоклиматические индексы – это интегральные показатели, учитывающие совместное влияние нескольких элементов погоды и используемые для оценки благоприятности погодных условий. В настоящей работе на основе набора климатических данных WorldClim 2.0 с высоким пространственным разрешением (30'') построены биоклиматические карты на территорию Пермского края. Предварительно с целью пригодности данных WorldClim 2.0 проведена их верификация на основе сравнения с оценки климатическими нормами по данным метеостанций. Результаты подтвердили удовлетворительный уровень точности данных WorldClim 2.0 для территории Пермского края. Построенные карты отражают основные особенности пространственного распределения биоклиматических параметров по территории края с учетом влияния свойств подстилающей поверхности.

Ключевые слова: биоклиматические индексы, эффективно-эквивалентные температуры, климатические карты, WorldClim 2.0.

DEVELOPMENT OF DISTRIBUTION MAPS OF BIOCLIMATIC INDICES BASED ON WORLDCLIM 2.0 DATA (ON THE EXAMPLE OF THE TERRITORY OF PERM KRAI)

Ekaterina S. Cherepanova

Perm State University, 15, Bukireva St., Perm, 614068, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (342)239-67-34, e-mail: cherepanova_es@rambler.ru

Lyudmila N. Ermakova

Perm State University, 15, Bukireva St., Perm, 614068, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Meteorology and Atmospheric Protection, phone: (342)239-61-01, e-mail: lnermak@psu.ru

Andrey N. Shikhov

Perm State University, 15, Bukireva St., Perm, 614068, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (342)239-66-33, e-mail: and3131@inbox.ru

Bioclimatic indices are integrated parameters, which characterized the coupling influence of some meteorological variables and used to estimate the comfort of weather conditions. We used WorldClim 2.0 gridded climatic dataset with 30'' spatial resolution as input data to create the maps of bioclimatic indices for the Perm Krai territory. Before calculation the bioclimatic indices, we compared Worldclim 2.0 data with climatic data estimated by weather stations. The validation results confirmed the satisfactory accuracy of Worldclim 2.0 data for the Perm Krai. The created maps characterized the main features of the spatial distribution of bioclimatic indices in the Perm Krai, taking into consideration the influence of underlying surface.

Key words: bioclimatic indices, effective equivalent temperatures, climate maps, WorldClim 2.0.

Важнейшими факторами окружающей среды, влияющими на жизнедеятельность человека, в первую очередь, на его теплоощущения, являются погодно-климатические условия. Выявление степени благоприятности погодных условий, территориальных зон комфорта осуществляется по значениям биоклиматических показателей (индексов). Биоклиматические индексы представляют собой интегральные показатели, учитывающие совместное влияние нескольких элементов погоды (температуры, влажности, скорости ветра, солнечной радиации). Расчет индексов позволяет выявить тенденции их изменений в пространстве и во времени, произвести территориальную дифференциацию биоклиматических условий.

При построении климатических карт (включая и карты производных биоклиматических показателей) необходимо учитывать влияние факторов подстилающей поверхности, особенно для территорий со сложным рельефом и редкой сетью наблюдений. Методы построения климатических карт с учетом факторов подстилающей поверхности активно разрабатываются в мире с 90-х гг. XX в., когда внедрение ГИС-технологий позволило автоматизировать подобные вычисления. Обзор первых работ в данном направлении приведен в статье (Ninyerola et al., 2000). Наиболее часто при интерполяции климатических данных учитывается зависимость от высоты местности. В ряде публикаций рассматриваются и другие факторы, такие как влияние крупных водоемов или распределение типов землепользования.

В России из работ в данном направлении стоит выделить создание электронного Агроэкологического атласа России и сопредельных стран (Афонин, и др., 2008). Климатические карты в данном атласе представлены в цифровом виде с пространственным разрешением, равным 10 км. Карты были построены с применением современной методики, основанной на использовании множественной линейной регрессии для учета влияния рельефа, расстояния до береговой линии и других факторов. Однако эти карты были созданы на основе климатических норм середины XX в., и уже не отражают современные климатические условия.

В последние годы выросла доступность цифровых данных о свойствах подстилающей поверхности (рельефе, типах землепользования, температуре поверхности суши и океана и др.). Также появились в открытом доступе климатические данные с множества метеостанций, которые ранее были закрыты. Все

это позволило в 2017 г. группе исследователей из университета Калифорнии (США) создать первый сеточный набор климатических данных с высоким пространственным разрешением (30 угловых секунд, что соответствует примерно 1 км) и глобальным охватом – WorldClim 2.0 (<http://worldclim.org/version2>). В отличие от данных реанализов (CFS, ERA-40, ERA-Interim и др.), данные WorldClim 2.0 созданы на основе интерполяции наблюдений метеостанций и поэтому более точно воспроизводят приземные климатические характеристики.

Набор данных WorldClim 2.0 включает семь основных переменных: среднесуточная, максимальная и минимальная температура воздуха, количество осадков, солнечная радиация, скорость ветра и парциальное давление водяного пара. Среднемесячные значения указанных переменных рассчитаны за период с 1971 по 2000 г. Для расчета различных переменных использовались данные от 9000 до 60000 метеостанций по всему Земному шару. Данные предоставляются в формате GeoTiff, в системе координат WGS-1984 с различным пространственным разрешением (от 30'' до 10'). Детальное описание данных WorldClim 2.0 и алгоритмов интерполяции, использованных для их создания, приведено в статье (Fick and Hijmans, 2017).

Пространственное разрешение данных WorldClim 2.0 многократно выше, чем характерное расстояние между метеостанциями. Для достижения такой детальности и сохранения необходимой точности, при интерполяции авторы учитывали высотные зависимости и расстояние до береговой линии (для прибрежных районов). Помимо этого, впервые в практике подобных исследований были использованы многолетние измерения температуры земной поверхности со спутников Terra/Aqua MODIS. Это позволило воспроизвести особенности пространственного распределения температуры воздуха в зависимости от комплекса свойств подстилающей поверхности (а не только высоты местности). Результаты валидации данных WorldClim 2.0 показали их высокую точность. Коэффициент корреляции между фактическими измерениями метеостанций и данными WorldClim 2.0 составляет более 0,99 для температуры воздуха, 0,86 для влажности и 0,76 для скорости ветра (Fick and Hijmans, 2017).

Учитывая высокую детальность данных WorldClim 2.0, их использование для построения карт биоклиматических параметров на территорию отдельных регионов представляется вполне перспективным. Однако предварительно необходимо провести их верификацию по данным местной наблюдательной сети, поскольку характеристики точности данных для изучаемого региона могут существенно отличаться от средних значений, приведенных в статье (Fick et al., 2017).

Исходными данными для расчета биоклиматических параметров является температура воздуха, относительная влажность воздуха и скорость ветра, поскольку именно их сочетание определяет теплоощущение человека. Следовательно, для расчета биоклиматических параметров были получены данные о среднесуточной температуре воздуха, парциальном давлении водяного пара и скорости ветра за январь, июль, апрель и октябрь с пространственным разрешением 30''. Предварительная обработка полученных растров включала их проецирование и извлечение по границам изучаемого региона.

Относительная влажность воздуха была рассчитана по данным о температуре воздуха и парциальном давлении водяного пара. Вычисления проведены по формулам, использованным в работе (Fick and Hijmans, 2017) при расчетах характеристик влажности. Кроме того, в данных WorldClim 2.0 для территории Пермского края не учитывается зависимость скорости ветра от высоты местности. В то же время, из ряда публикаций известно, что такая зависимость существует и может быть выражена формулой вида:

$$V_1 = V_0(H_1/H_0)^k, \quad (1)$$

где H_1 – фактическая высота местности, H_0 – высота ближайшей метеостанции, V_0 – скорость ветра на метеостанции.

Безразмерный параметр k часто принимают равным 0,2 (Рыхлов, 2011). Это же значение параметра k использовалось и в настоящей работе. Расчет производился на основе цифровой модели рельефа средствами растровой алгебры. Само соотношение H_1/H_0 вычислялось путем деления раstra цифровой модели рельефа (ЦМР) на растр, полученный в результате интерполяции высот метеостанций.

Верификация данных WorldClim 2.0 выполнена путем их сравнения со среднемесячными значениями соответствующих величин по данным метеостанций Уральского УГМС. Данные WorldClim 2.0 о температуре воздуха и влажности были сопоставлены с климатическими нормами (за период 1971–2000 г.) по наблюдениям 29 и 23 метеостанций соответственно. Верификация данных о скорости ветра аналогичным способом была невозможна, поскольку соответствующая информация о средней скорости ветра на метеостанциях в открытом доступе отсутствует. Поэтому сравнение было проведено с данными о средней скорости ветра за другой период (2005–2017 гг.), которые были получены с общедоступного web-ресурса <https://rp5.ru/> (по данным 19 метеостанций). Для каждой из переменных рассчитаны средняя абсолютная и среднеквадратичная ошибки. Также вычислен коэффициент линейной корреляции Пирсона между фактическими данными метеостанций и данными WorldClim 2.0 (таблица).

Результаты верификации данных WorldClim 2.0

Переменная	Коэффициент линейной корреляции между фактическими данными и данными WorldClim 2.0	Средняя абсолютная и среднеквадратичная ошибки по месяцам			
		I	IV	VII	X
Температура воздуха, °С	0,998	–0,1/0,8	0,1/0,5	0,1/0,3	–0,2/0,6
Парциальное давление водяного пара, гПа	0,997	–0,41/0,42	–0,18/0,22	–0,29/0,59	–0,68/0,73
Скорость ветра, м/с	0,582	0,8/0,9	0,3/0,5	0,4/0,6	0,7/0,8

Как следует из таблицы, максимальную точность имеют данные WorldClim 2.0 по среднемесячной температуре воздуха. Систематические расхождения практически отсутствуют, так как значение средней абсолютной ошибки для указанных месяцев не превышает 0,2 по модулю. Среднеквадратичная ошибка оказалась несколько выше, так как для отдельных метеостанций (например Кунгур, Лысьва) расхождения средней температуры по фактическим данным и по данным WorldClim 2.0 достигают двух градусов. Причем расхождения в холодный период существенно больше, чем в летний период. Это может быть связано с влиянием использования дополнительных данных (температуры земной поверхности по спутниковым измерениям) при интерполяции в проекте WorldClim 2.0.

Точность данных WorldClim 2.0 о влажности воздуха (парциальном давлении водяного пара) также является удовлетворительной. В отличие от температуры, в этих данных имеются систематические ошибки, а именно занижение значений влажности, более существенное для холодного периода. Однако сравнение величины этого занижения с фактическим средним значением влажности показывает, что оно незначительно. В большинстве месяцев величина среднеквадратичной ошибки составляет не более 10% от средней влажности по данным метеостанций. Коэффициент корреляции между фактическими данными и данными WorldClim 2.0 как для температуры, так и для влажности близок к единице.

Что касается среднемесячной скорости ветра, то сравнение с фактическими данными метеостанций показывает существенное систематическое завышение скорости ветра в данных WorldClim 2.0. Это, однако, легко объясняется тем, что для анализа пришлось использовать разные временные отрезки (фактические данные получены за 2005–2017 гг., а данные WorldClim 2.0 характеризуют период 1971–2000 гг.). Скорость ветра за это время уменьшилась во многих регионах России. Наиболее значимой причиной такого уменьшения считается увеличение защищенности метеорологических площадок вследствие роста деревьев и засады территории (Мещерская и др., 2006; Журавлев, Задде, 2013). Таким образом, существенное занижение скорости ветра по данным WorldClim 2.0 не указывает в данном случае на их низкое качество.

Верификация данных WorldClim 2.0 в целом подтверждает их удовлетворительный уровень точности для территории Пермского края. Это в совокупности с высоким пространственным разрешением и удобством использования данных позволяет рассчитывать на их основе биоклиматические параметры.

На основе данных WorldClim 2.0 были рассчитаны следующие биоклиматические параметры.

1. Эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ). Данный параметр определяет теплоощущения человека с учетом влияния скорости ветра и влажности воздуха и определяется по формуле (Головина, Русанов, 1993):

$$ЭЭТ = ET = 37 - \frac{37-t}{0.68-0.0014*f+\frac{1}{1.76+1.4*v^{0.75}}} - 0.29 * t * (1 - \frac{f}{100}), \quad (2)$$

t - температура воздуха, °C;
 f - относительная влажность, %;
 v - скорость ветра, м/с.

2. Нормальная эквивалентно-эффективная температура (НЭЭТ) - показатель тепловой чувствительности с учетом влияния ветра для одетого человека:

$$HЭЭТ = 0,8 ЭЭТ + 7^{\circ}\text{C} , \quad (3)$$

3. Радиационно-эквивалентно-эффективная температура (РЭЭТ) - показатель, который учитывает теплоощущение человека от нагревания солнечной радиацией. В соответствии с рекомендациями Е.Г. Головиной и В.И. Русанова, РЭЭТ может быть рассчитана по формулам:

$$РЭЭТ = НЭЭТ + 6,2^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

4. Биологически активная температура (БАТ) – показатель, определяющий влияние радиации, отраженной поверхностью Земли на организм человека.

$$БАТ = 0,8НЭЭТ + 9^{\circ}\text{C} \quad (5)$$

Расчет показателей производился средствами растровой алгебры программного комплекса ArcGIS 10.4. Результаты пересчета поверхностей были сглажены с помощью инструмента фокальной статистики. Таким образом, были получены следующие результаты:

1. Карты эффективно – эквивалентных температур по четырем центральным месяцам холодного (январь, октябрь) (рисунок) и теплого (апрель, июль) сезонов.

2. Карты производных от ЭЭТ величин – нормальных эквивалентно-эффективных температур (НЭЭТ), радиационно-эквивалентно-эффективных температур (РЭЭТ), карты биологически-активных температур (БАТ) по четырем месяцам центральных сезонов.

Результаты и их обсуждение

Значения ЭЭТ в январе по территории Пермского края изменяются в пределах от -28° до -36° C. Отмечается некоторое понижение значения ЭЭТ с запада на восток, в меридиональном направлении. Понижение значений ЭЭТ с юга на север не носит строго зональный характер, так как существенное влияние оказывают особенности подстилающей поверхности. Например, в январе в районах Камского и Воткинского водохранилищ, расположенных в центральной и юго-западной частях Пермского края, отмечается некоторое повышение ЭЭТ по сравнению с близлежащими территориями (на 1-2 градуса). На юго-востоке края ЭЭТ на 1-2 градуса ниже, чем в целом по южной части исследуемой территории. Это обусловлено застаиванием холодного воздуха в долинах рек Ире́ни и Сы́лвы и подтверждается также сравнительно высокой повторяемостью сильных морозов в данном районе (Пьянков и др., 2016).

Более сложное распределение ЭЭТ наблюдается в восточной части Пермского края, что связано с пересеченностью рельефа.

Осенью влияние крупных водохранилищ на распределение показателей ЭЭТ более выражено по сравнению с зимним периодом. В целом в октябре значения ЭЭТ снижаются в северном направлении, меридиональная составляющая выражена меньше, чем в январе.

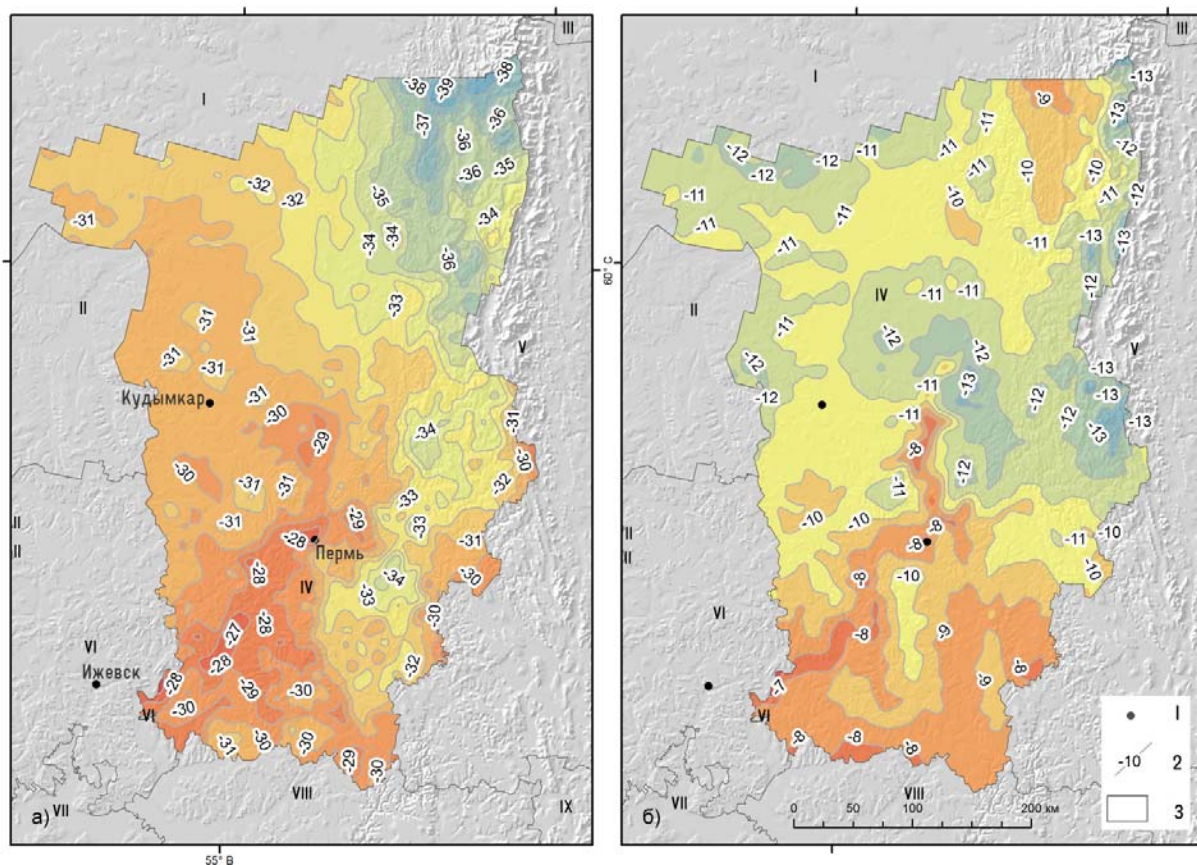


Рис. 1. Картограмма распределения эффективно-эквивалентных температур холодного периода – января (а) и октября (б):

1 – крупные города; 2 – изолинии равных значений ЭЭТ; 3 – границы субъектов (I – Республика Коми, II – Кировская область, III – Ханты-Мансийский АО, IV – Пермский край, V – Свердловская область, VI – Удмуртская республика, VII – Республика Татарстан, VIII – Республика Башкортостан, IX – Челябинская область).

В заключении можно отметить целесообразность применения данных WorldClim 2.0 для биоклиматической оценки территории, так как для выявления реального биоклиматического потенциала территорий данных, полученных с метеостанций, оказывается недостаточно.

Исследование проведено при финансовой поддержке РФФИ, проект № 16-45-590056-р-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Афонин А.Н.; Грин С.Л.; Дзюбенко Н.И.; Фролов А.Н. (ред.) Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения, 2008 г. [DVD-версия].
2. Журавлев Г.Г., Задде Г.О. Оценка ветроэнергетического потенциала Кемеровской области // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 376. С. 175–181.
3. Мещерская А.В., Еремин В.В., Баранова А.А., Майстрова В.В. Изменение скорости ветра на севере России во второй половине XX века по приземным и аэрологическим данным // Метеорология и гидрология. 2006. № 3. С. 83–97.
4. Пьянков С.В., Шихов А.Н., Абдуллин Р.К. Атлас опасных гидрометеорологических явлений Уральского Прикамья. Перм. гос. нац. иссл. ун-т. Пермь. 2016. 116 с.
5. Рыхлов А.Б. Закономерности изменения скорости ветра с высотой в приземном слое атмосферы на юго-востоке ЕТР для решения задач ветроэнергетики // Ученые записки РГГМУ. 2011. № 20. С. 89–99.
6. Fick S.E., Hijmans R.J. WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas // International Journal of Climatology 2017. Vol. 37. PP. 4302–4315
7. Ninyerola M., Pons X., Roure J. M. A methodological approach of climatological modeling of air temperature and precipitation through GIS techniques // International Journal of Climatology. 2000. V. 20. PP. 1823–1841.
8. Головина Е.Г., Русанов В.И. Некоторые вопросы биометеорологии. Учебное пособие. – СПб., изд. РГГМИ, 1993. 90 с.

© Е. С. Черепанова, Л. Н. Ермакова, А. Н. Шихов, 2018

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ГЕОПОРТАЛА КАФЕДРЫ КАРТОГРАФИИ И ГЕОИНФОРМАТИКИ СИБИРСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

Алексей Викторович Шевин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант, тел. (961)872-80-86, e-mail: ashevin92@gmail.com

Данная статья описывает разработку прототипа геоportала кафедры картографии и геоинформатики Сибирского государственного университета геосистем и технологий. Прототип геопортала строится на базе свободно распространяемого программного пакета ESRI Geoportal Server. Представлена схема прототипа с описанием элементов структуры геопортала.

Ключевые слова: пространственные данные, геоданные, геопортал.

DEVELOPMENT OF GEOPORTAL PROTOTYPE OF THE SIBERIAN STATE UNIVERSITY OF GEOSYSTEM AND TECHNOLOGIES

Alexey V. Shevin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, phone: (961)872-80-86, e-mail: ashevin92@gmail.com

This article describes the development of a prototype of the geoportal of the Department of Cartography and Geoinformatics of the Siberian State University of Geosystems and Technologies. The prototype of geoportal is built on the basis of the freely distributed software package ESRI Geoportal Server. A scheme of the prototype with a description of the elements of the geoportal structure is presented.

Key words: spatial data, geodata, geoportal.

Введение

Сегодня вопрос распространения геопространственных данных приобретает все более и более важное значение. Огромное количество пользователей так или иначе используют различные сервисы, предоставляющие доступ к географической информации. Чаще всего речь идет о службах, предоставляющих доступ к картографическим и справочным функциям, например, Яндекс. Карты, Google Maps, 2ГИС и т. п. Однако, те задачи, которые могут решаться с использованием пространственных данных, гораздо обширнее. Одной из сфер применения геоданных является образовательная. Ряд учебных заведений в нашей стране либо имеет структурное подразделение, профилем которого выступают Науки о Земле, либо данное направление является основным. Развитие информационных и коммуникационных технологий позволяет отойти от необходимости хранения накопленных пространственных данных в аналоговом виде и предоставляет возможности для привлечения обширных потоков пользователей к

использованию имеющихся материалов. Одним из видов средств предоставления широкого доступа к пространственным данным выступают геопорталы.

Геопортал — это точка доступа к пространственным данным, представленная в виде Интернет-сайта, которая предоставляет пользователям возможность скачивать, загружать, просматривать, редактировать пространственные данные, проводить пространственный анализ. Геопорталы делятся как по масштабам применения (федеральные, региональные, муниципальные), так и по сферам применения, среди которых значительное место занимают образовательные геоинформационные порталы. [1] Одной из задач образовательного геопортала выступает информационное обеспечение учащихся и сотрудников учебного заведения при проведении ими различного рода работ, связанных с пространственными данными. На сегодняшний день количество образовательных геопорталов растет. Среди известных примеров можно выделить геопортал географического факультета Московского государственного университета [2]. Один из профильных ВУЗов в области Наук о Земле, МИИГАиК, так же имеет собственный геопортал, построенный на базе Scanex Web-GIS *GeoMixer* [3]. В рамках исследования, проводимого в Сибирском государственном университете геосистем и технологий (СГУГиТ) была поставлена задача разработать прототип геопортала кафедры картографии и геоинформатики на базе свободно распространяемого программного обеспечения. Акцент на таком типе программных продуктов был сделан ввиду большей гибкости в разработке самого геопортала и дополнительных сервисов, обеспеченной встроенной средой проектирования.

Описание прототипа

Прототип геопортала кафедры картографии и геоинформатики СГУГиТ строится на базе свободно распространяемого программного обеспечения ESRI Geoportal Server. Данный продукт позволяет создать полнофункциональный геопортал, поддерживающий все известные на сегодняшний день стандарты в области пространственных данных. На рис. 1 показана структура прототипа геопортала. В состав геопортала входят: инструмент управления и настройки профиля метаданных, служба их публикации, каталогизатор пространственных данных, механизм поиска, по ключевым словам, и экстенду карты, каталог дополнительных сервисов и клиент WMC (Web map context) для работы в настольной версии ArcGIS.

Значительная часть функционала геопортала основана на работе с метаданными. Поэтому большое значение имеет определение профиля метаданных - концептуальной модели, которая будет применяться под конкретные задачи. Изначально, программное обеспечение ESRI Geoportal Server, как и прочие продукты от данной компании, поддерживает следующие профили и стандарты метаданных:

- ISO 19139;
- GML3.2 ISO 19139;

- ISO 19115 2003;
- Директива INSPIRE по метаданным;
- FGDC CSDGM [4].

Однако, в зависимости от предметной области, допускается разработка собственных профилей метаданных.

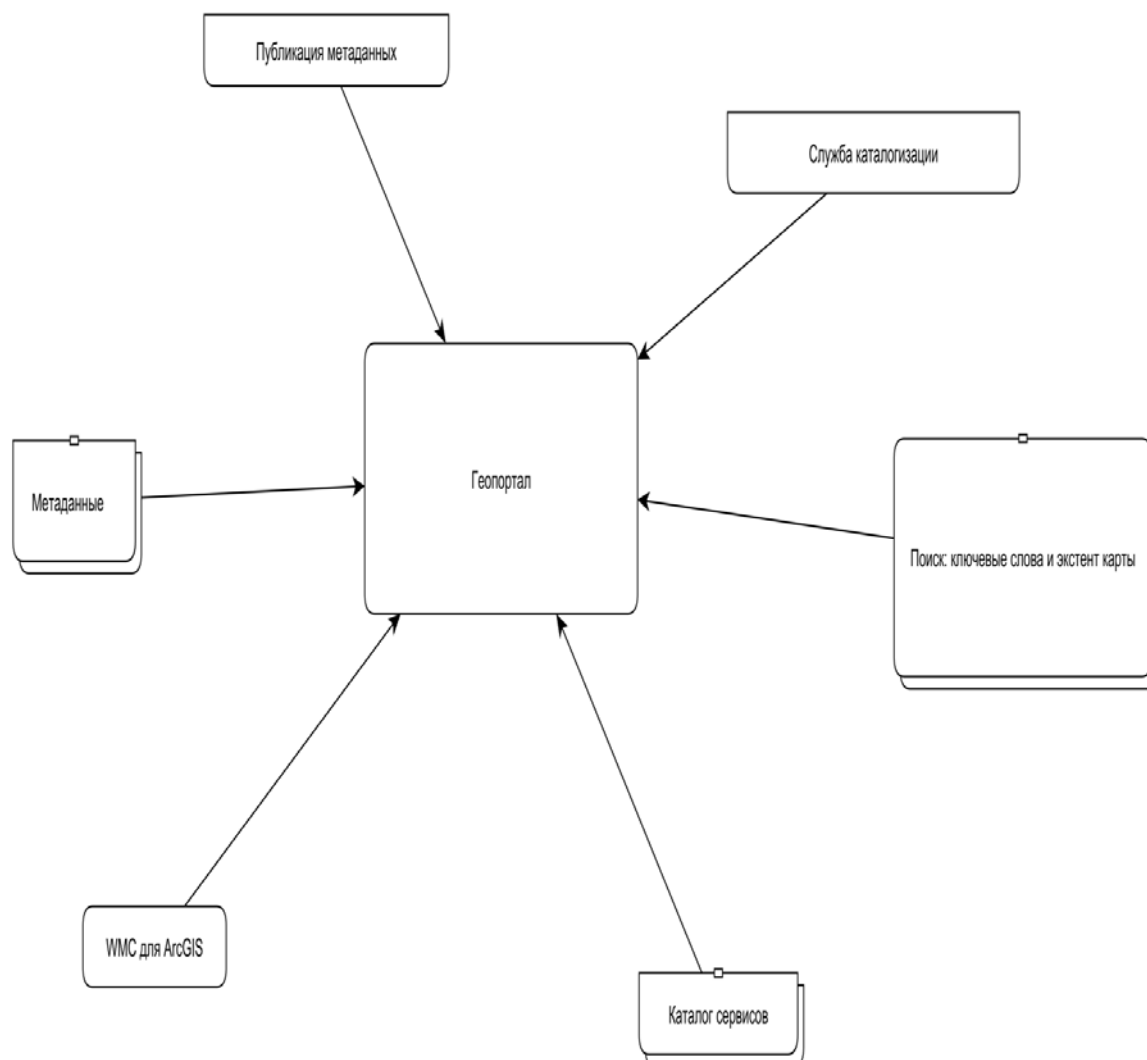


Рис. 1. Структура геоportала

Метаданные публикуются на геоportале в формате XML. Среди возможных вариантов получения файлов в данном формате — экспорт метаданных из ArcGIS при помощи инструмента публикации.

На рис. 2 изображен фрагмент инструмента поиска. Поиск ведется по пакетам метаданных, загруженным на геоportал.

Additional Options **Clear**

WHEN

☒ Intersecting ☐ Fully within

Start Date: (yyyy-mm-dd)

End Date: (yyyy-mm-dd)

WHERE

☒ Anywhere ☐ Intersecting ☐ Fully within

Text:

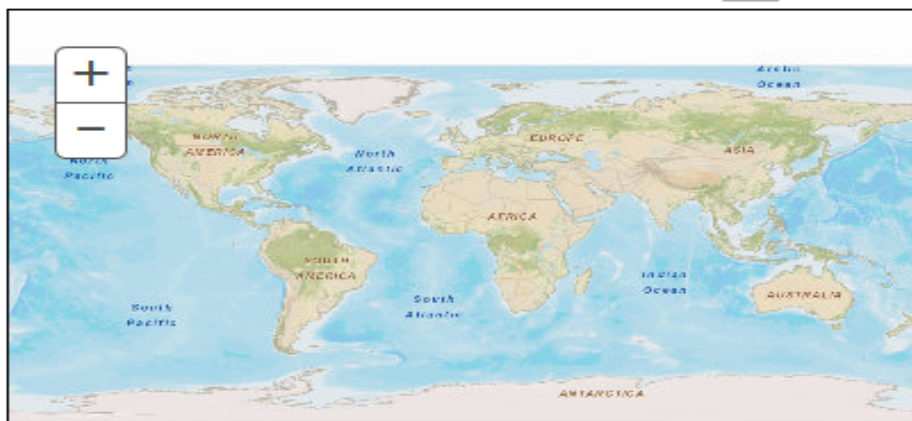


Рис. 2. Бета-версия поиска данных

Пользователь может задавать параметры поиска, такие как: временной промежуток между загруженными наборами данных, источник поиска (данные самого геоportала и прочих источников, к ресурсам которых имеется доступ). На основе выбранных параметров доступен ряд вариантов отображения результатов на основе дополнительных опций поиска.

Встроенная служба каталогизации позволяет ознакомиться с различными наборами данных, представленных на геоportале. Списки в каталоге полностью настраиваются администраторами геоportала. В базовой конфигурации каталог состоит из двух частей:

- данные по типам (скачиваемые данные, сервисы визуализации, документы и т. д.);
- рубрикатор по предметным областям.

Вывод

Целью данной статьи являлось описание разрабатываемого прототипа геоportала кафедры картографии и геоинформатики СГУГиТ. Технологической основой является программное обеспечение ESRI Geoportal Server. Представленная схема геоportала отображает набор структурных элементов прототипа геоportала, опираясь на базовый функциональный набор используемого про-

граммного обеспечения. Открытый исходный код позволит в дальнейшем изменять и расширять функционал портала за счет разработки новых модулей и сервисов в зависимости от поставленных задач, выполнение которых будет осуществляться с помощью геопортала. Использование свободно распространяемого программного обеспечения от ESRI оправдывает себя тем, что на базе данного высшего учебного заведения активно используются продукты от данного производителя, что обеспечит простую интеграцию геопортала в образовательный процесс не только отдельно взятой кафедры, но и самого ВУЗа. По окончании работ прототип геопортала планируется внедрить в работу кафедры как единый источник пространственной информации для учащихся и сотрудников.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Христодуло О. И. Анализ технологий разработки научно-образовательного геопортала // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем: межвуз. научн. сб. Уфа: Изд. УГАТУ. - 2013. - С.121-125.
- 2 Зимин М.В., Тутубалина О.В. Геопортал МГУ: история, результаты, перспективы развития // Земля из космоса — наиболее эффективные решения. - 2012. - №14. - С. 54-61.
- 3 Геопортал МИИГАиК [Электронный ресурс]: Режим доступа - <http://cartlab.miiigaik.ru/api/index.html>
- 4 Стандарты и стили метаданных [Электронный ресурс]: Режим доступа - <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/manage-data/metadata/metadata-standards-and-styles.htm>

© А. В. Шевин, 2018

МНОГОУРОВНЕВАЯ КРОСС-КЛАСТЕРНАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ КАК ОСНОВА ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ОРГАНОВ УПРАВЛЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫМИ СИТУАЦИЯМИ

Мария Владимировна Карманова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант, тел. (913)087-70-01, e-mail: karmmv@yandex.ru

В статье дается определение многоуровневой кросс-кластерной информационной модели как средства наглядной демонстрации взаимосвязей компонентов геоинформационного пространства чрезвычайной ситуации.

Ключевые слова: картографический анализ, многоуровневая кросс-кластерная информационная модель геопространства, комплексный анализ.

MULTILEVEL CROSS-CLUSTER INFORMATION MODEL AS THE BASIS OF DIGITAL CARTOGRAPHIC SUPPORT OF REGIONAL AUTHORITIES EMERGENCY MANAGEMENT

Maria V. Karmanova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, phone: (913)087-70-01, e-mail: karmmv@yandex.ru

The article defines a multi-level cross-cluster information model as a means of visual demonstration of the relationships of the components of the geoinformation space of an emergency.

Key words: cartographic analysis, multilevel cross-cluster information model of geospatial, complex analysis.

Введение

Любая чрезвычайная ситуация (ЧС) – процесс, распространяющийся как во времени, так и в пространстве. Его возникновение обусловлено целым комплексом причин и взаимосвязанных событий, существующих в едином *геоинформационном пространстве чрезвычайной ситуации* (ГЧС) [1].

Сложность разработки *цифровой системы картографического обеспечения* (ЦСКО) региональных органов управления ЧС состоит прежде всего в большом количестве компонентов ГЧС на данном уровне.

Обратимся к принятой классификации ЧС [2] (рис. 1).

Из схемы на рис. 1 видно, что любую ЧС можно классифицировать как по масштабам границ, так и по сферам возникновения – «что» стало причиной ЧС: природа или человеческая деятельность. Но данная классификация не учитывает тот факт, что в условиях ГЧС, любой объект действительности может выполнять одновременно различные функции.



Рис. 1. Классификация чрезвычайных ситуаций

В качестве примера можно привести ситуацию, когда ураганным ветром повалило опоры ЛЭП. С одной стороны, это ЧС природного характера, так как причина возникновения – стихия. С другой, развитие ЧС обусловлено техногенным вмешательством человека в природную среду. Поваленные ветром деревья вдали от человеческого жилья не несут угрозы жизни населения, в то время как повреждение ЛЭП может вызвать перебои с электричеством в населенных пунктах, лесной или степной пожар, поражение людей электрическим током и т. д.

Из зоны ЧС население необходимо эвакуировать. В качестве *пунктов временного размещения* (ПВР) чаще всего используют школы, гостиницы, детские сады, то есть помещения, в которых есть пищевые блоки и достаточные площади для временного проживания большого числа людей. Но, в то же время, данные заведения являются объектами массового скопления людей и социально значимыми объектами. Следовательно, при отключении электроэнергии их нельзя использовать в качестве ПВР, а в случае попадания их в зону ЧС население и персонал также подлежат эвакуации (рис. 2). Особенно это касается школ и детских садов.

На рис. 2 видно, что несмотря на природный характер причины возникновения ЧС, дальнейшее ее развитие полностью обусловлено техногенными факторами.

Наиболее удобным инструментом, позволяющим быстро осуществлять анализ обстановки, в МЧС была и остается карта, или «боевой графический до-

кумент». Сложные отношения между компонентами ГЧС в период возникновения чрезвычайной ситуации, изменяющиеся во времени и пространстве, создают определенные трудности картографу, так как требуют от него видения одновременно всех факторов, влияющих на развитие ЧС. Подобную проблему возможно решить, воссоздавая ГЧС в виде цифровой модели в ГИС, для чего и целесообразна разработка ЦСКО.

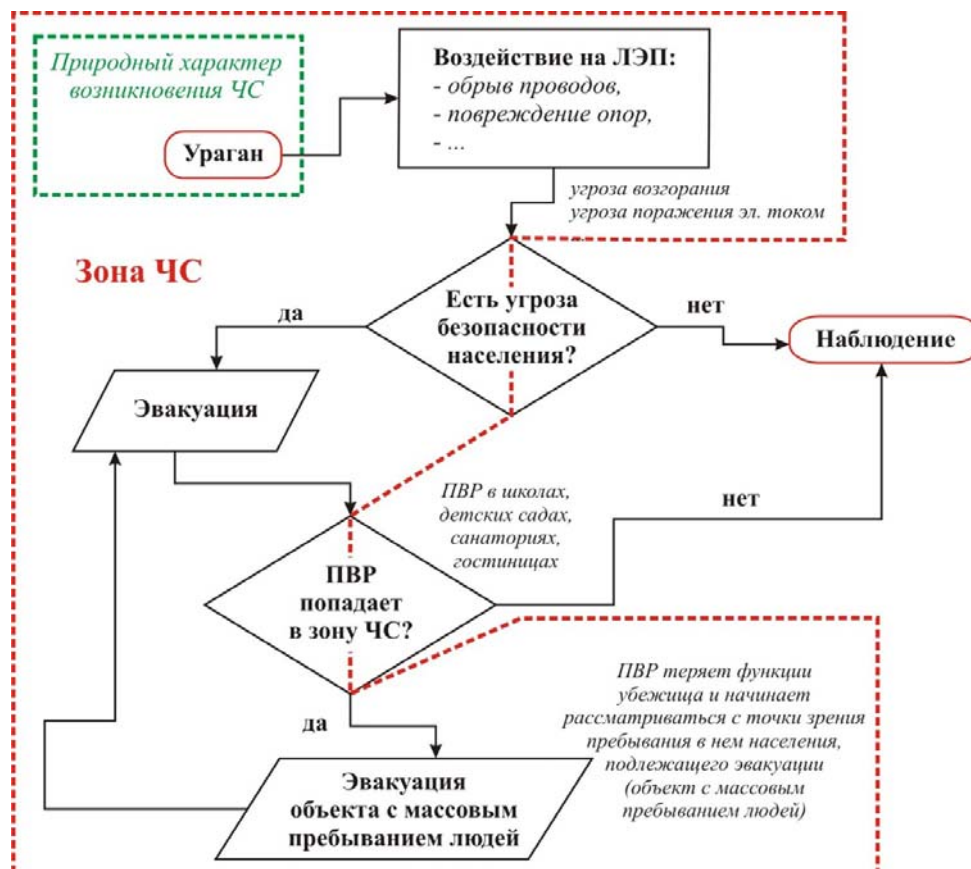


Рис. 2. Изменение функций компонентов ГЧС при возникновении ЧС

Для решения задач, поставленных перед органами управления ЧС регионального уровня нужны крупномасштабные карты, генерализация которых предполагает большую подробность, а значит и большее число объектов и данных о них. Не менее сложной задачей можно считать выбор подходящей цифровой информационной модели геоинформационной системы (ГИС-модели), способной адекватно отобразить всю многогранность ГЧС в месте локализации ЧС.

Методы и материалы

В рамках метода геоинформатики, направленного на создание и исследование цифровых информационных моделей геосистем, рассматривается классификация моделей пространственной информации [3], представленной в виде иерархической структуры на рис. 3.



Рис. 3. Классификация моделей пространственной информации

Рис. 4 наглядно иллюстрирует пример взаимодействия различных моделей пространственной информации в ГЧС.

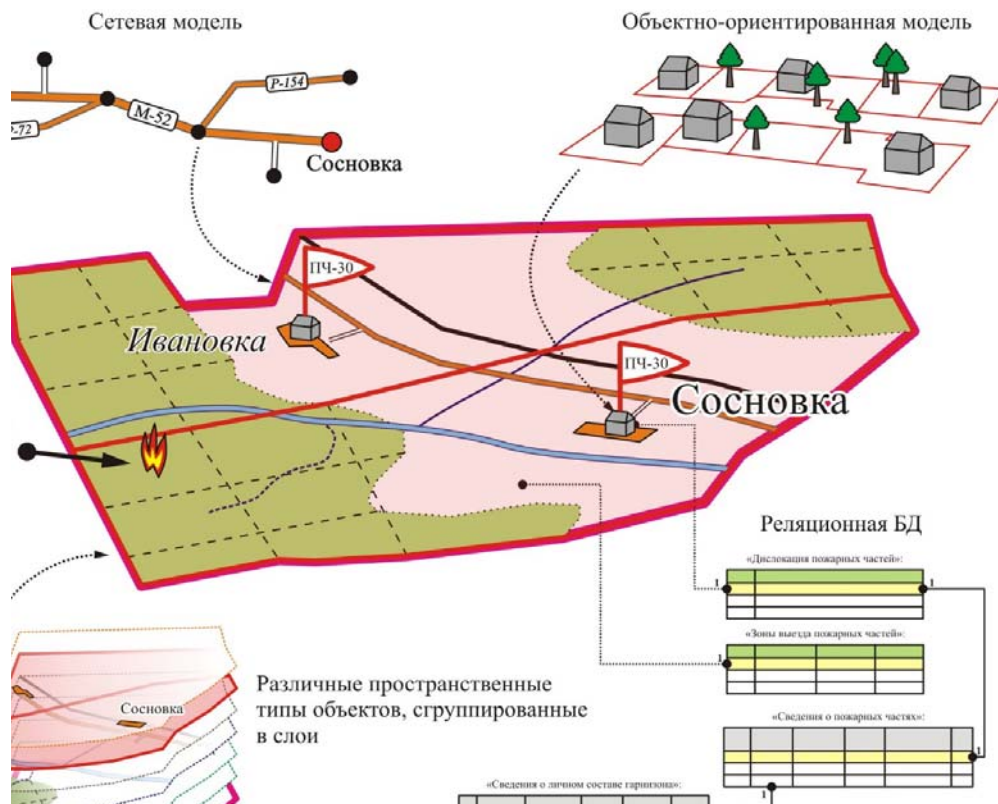


Рис. 4. Взаимодействие различных моделей пространственной информации в геопространстве чрезвычайной ситуации

Геоинформационная модель, описывающая место ЧС, предполагает сочетание множества видов моделей представления пространственных данных, что заставляет задуматься о разработке специальной модели геопространства, которая логически свяжет воедино разрозненную информацию, необходимую для разработки графических документов для МЧС.

Процесс разработки можно разбить на три основных этапа:

- I этап – очертить круг задач, решаемых с помощью модели;
- II этап – определить структурные элементы и выявить взаимосвязи между ними;
- III этап – разработать технологическую схему геоинформационного картографирования спасательной деятельности органов местного самоуправления на основе полученной модели.

В основе создаваемой модели использован кросс-кластерный метод, хорошо знакомый экономистам и социологам. Информацию обо всех объектах ГЧС предлагается условно распределить по тематическим кластерам, а схему взаимодействия между ними представить в виде трехмерной модели. Подобный метод чем-то схож с построением «мнемонического дворца памяти» или «интеллект-карты» с той разницей, что в качестве канвы будут использованы координаты X, Y, Z.

На примере информации о пожарных частях можно проиллюстрировать построение кластера «Пожарная охрана» (рис. 5).

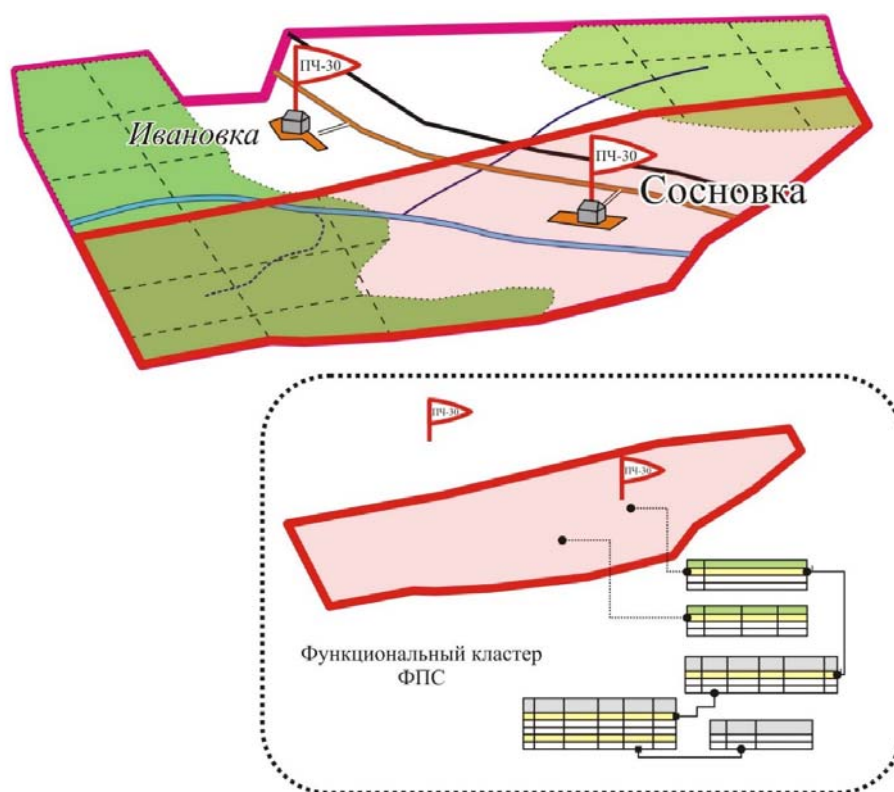


Рис. 5. Выделение объектов геопространства, имеющих отношение к деятельности федерально противопожарной охраны (ФПС), в единый функциональный кластер

В данной модели термин «кластер» (от англ. *cluster* – скопление, кисть, рой) применяется в значении «объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами».

Месторасположение пожарных частей указывается точками в shp-файле, зоны их выезда – полигонами. Данные о личном составе, адресах, телефонах, сведениях о руководителях и т. д. – в атрибутивных таблицах.

Но точно в такие же кластеры можно выделить и другие структуры РСЧС, объединив их в кластерную группу «Структура РСЧС», показанную на рис. 6. Несмотря на то, что на изображении кластеры расположены друг над другом, это сделано в целях улучшения наглядности модели, так как все они равнозначны и существуют в едином географическом пространстве взаимно пересекаясь и образуя кросс-связи.

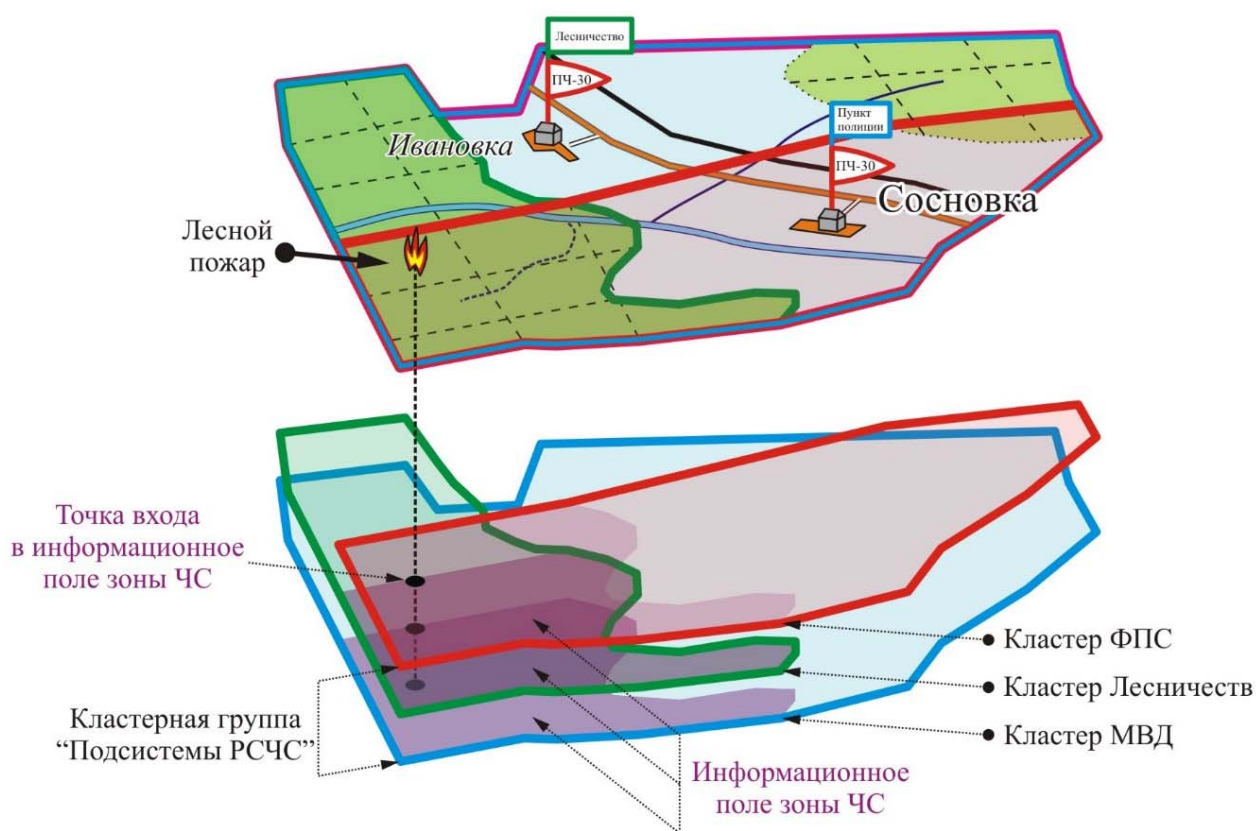


Рис. 6. Структура кластерной группы

Каждый кластер в модели формируется набором тематических слоев ГИС-проекта, которые с помощью уникальных индексов связываются с атрибутивной базой данных (каждому объекту в слое соответствует запись в таблице БД).

Для того чтобы получить информацию обо всех службах, в зоне ответственности которых возник очаг возгорания, показанный на рисунке 6, необхо-

можно найти *пересечение* всех полигонов, обозначающих зоны ответственности подразделений различных ведомств, которое образует *информационное поле* зоны ЧС, а место возникновения будет *точкой входа в информационное поле* зоны ЧС, как бы «прокалывая» все кластеры.

Если явление или предмет выражены линейным или точечным объектом, и не предполагают наличия зоны ответственности или влияния, то в *информационное поле* включаются ближайшие к месту ЧС объекты, либо имеющие значение для ее ликвидации.

Информационное поле служит критерием отбора информации, формирующей карту, помогая выбрать из всего ГЧС только тот участок, который будет тождественен реальной обстановки на местности, заданной условиями возникновения и протекания ЧС.

С целью наглядности представления взаимодействующих кластерных групп, и порядка их создания в ГИС-проекте, применяя метод «от общего к частному», модель геоинформационного пространства выгодно сделать трехуровневой, как это показано на рис. 7.

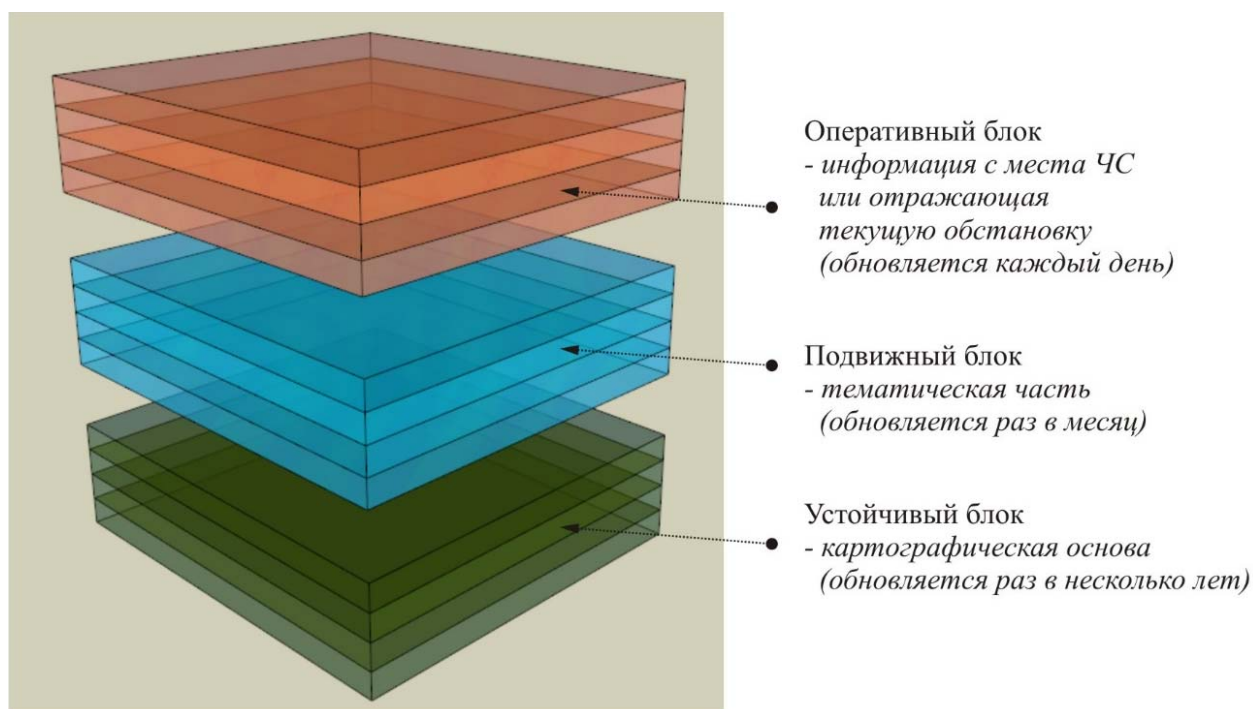


Рис. 7. Блоки многоуровневой кросс-кластерной модели геопространства чрезвычайной ситуации

Самый нижний «*устойчивый блок*» включает в себя кластерные группы географических объектов, то есть информацию, обновление которой требуется не чаще одного раза в год или даже в несколько лет, например, данные топографической съемки, спутниковые снимки. «*Устойчивый блок*» – это гео-

графическая основа тематической карты, обновление которой происходит медленно.

«Подвижный блок» должен содержать тематические кластеры, обновление слоев в которых происходит чаще чем раз в год, такие как места дислокации подразделений, потенциально-опасные объекты, места массового скопления, эвакуационные пункты и прочее.

В «оперативном блоке» размещают информацию о быстро меняющейся в ходе возникновения и развития ЧС обстановке.

Подобная модель позволяет визуализировать систему хранения информации. Для формирования тематической основы боевых графических документов можно не включать в графическую часть те или иные кластеры или даже целые блоки, но при этом они будут продолжать влиять на весь массив информации. Например, можно не отображать на карте топографическую основу или TIN-поверхность рельефа, но сгенерированные по ним зоны (затопления или распространения пожара) будут изменяться с внесением изменений в эти кластеры.

Результаты

Опираясь на все, перечисленное выше, можно сформулировать термин *многоуровневой кросс-кластерной модели геопространства чрезвычайной ситуации (МККМ ГЧС)*, как цифровой информационной модели геопространства в которой все элементы ГЧС тематически распределены по функциональным кластерам или кластерным группам, пересечение которых в точке локализации ЧС создает общее информационное поле.

Уровни в модели могут быть распределены по степени их значимости, по времени обновления информации, по скорости изменения объектов и т. д.

Данная модель позволяет визуализировать сложные взаимосвязи элементов ГЧС и удобна для определения содержания карты.

Технологическая схема геоинформационного картографирования на основе многоуровневых кросс-кластерных моделей, представлена на рис. 8.

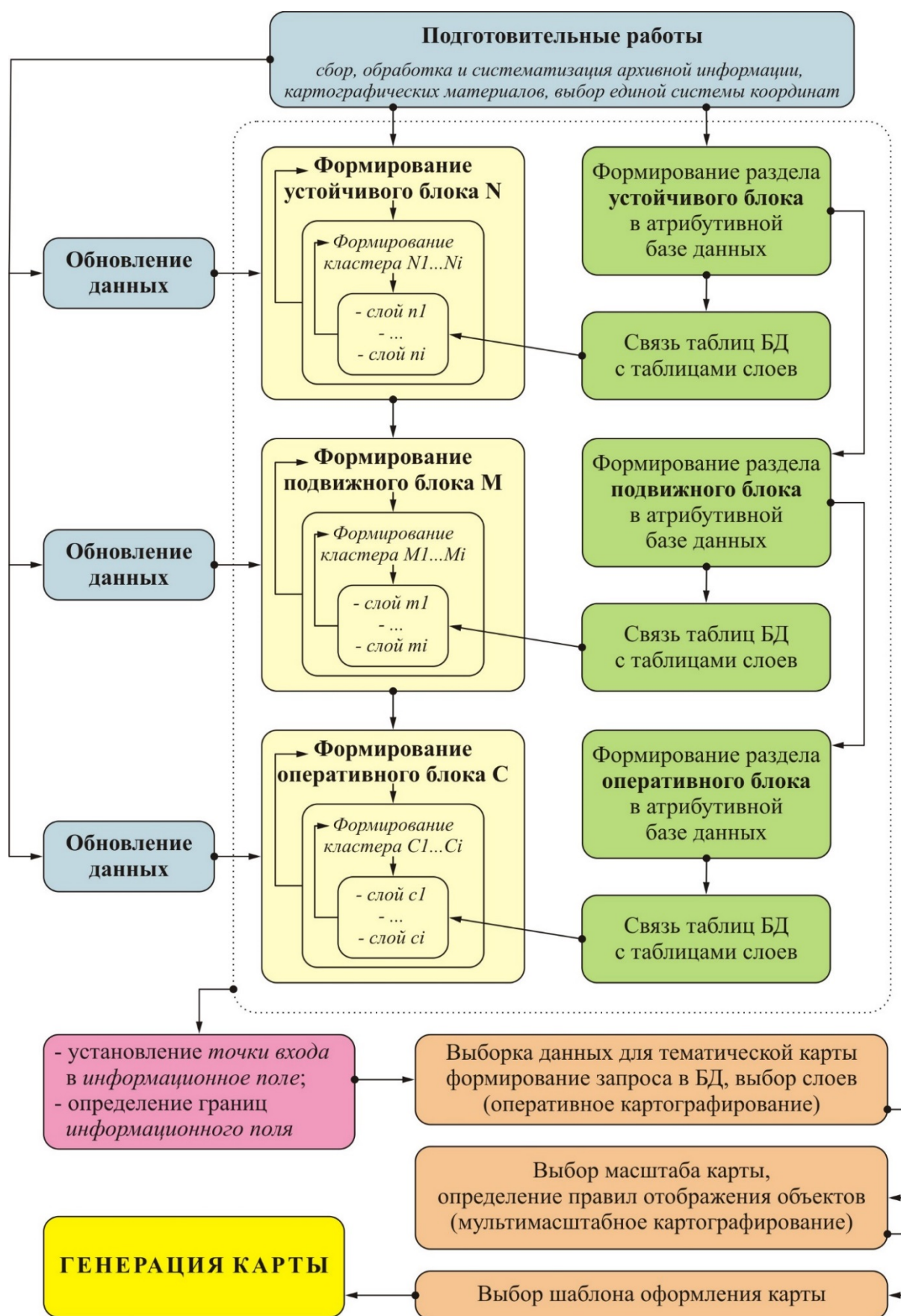


Рис. 8. Технологическая схема геоинформационного картографирования

Заключение

Главным достоинством предложенной модели является ее трехмерное представление в виде трех основных блоков, содержащих в себе кластеры, объединяющие тематическую информацию. Такое представление обеспечивает наглядность модели, позволяя сразу увидеть все строение системы.

Еще одним немаловажным преимуществом полученной модели является ее масштабируемость. Так как многоуровневая кросс-кластерная модель имитирует геопространство, а связи между объектами в ней логически соответствуют взаимосвязям между ними в реальном мире, это позволяет добавлять в модель новые кластеры данных.

Так же была составлена технологическая схема геоинформационного картографирования на основе многоуровневой кросс-кластерной модели геопространства ЧС.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анализ природных и техногенных особенностей геопространства чрезвычайных ситуаций / А. П. Карпик, В. А. Середович, А. В. Дубровский, Э. Л. Ким, О. И. Малыгина // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 3. – С. 171–177.
2. Михайлов, Л. А., Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них: учебник для вузов / Л. А. Михайлов, В. П. Соломин; под ред. Л. А. Михайлова. – СПб.: Питер, 2008. – 235 с.
3. Лурье, И. К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков / И. К. Лурье. – М.: КДУ, 2008. – 424 с.
4. ГОСТ 22.2.05–97. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения (аутентичен ГОСТ Р 22.0.05-94). – М. : ИПК Изд-во стандартов, 2000. – 12 с.
5. ГОСТ 12.1.033-81 ССБТ. Пожарная безопасность. Термины и определения (с Изменением N 1). – М. : ИПК Издательство стандартов, 2001. – 18 с.

REFERENCES

1. Karpik A. P. (2012). Analiz prirodnykh i tekhnogennykh osobennostey geoprostranstva chrezvychaynykh situatsiy [Emergency geospace]. In Interekspo GEO-Sibir-2012. VIII Mezhdunar. nauch. kongr. 10–20 aprelya 2012 g. Novosibirsk: Mezhdunar. nauch. konf. «Geodeziya. geoinformatika. kartografiya. marksheyderiya»: sb. materialov v 3 t. T. 3. [Interexpo GEO-Siberia-2012: series of scientific articles: in 3 vols. Vol. 3] (pp. 178–184). Novosibirsk: SGGA [in Russian].
2. Mikhaylov L. A. (2008) Chrezvychaynyye situatsii prirodnogo. tekhnogennogo i sotsialnogo kharaktera i zashchita ot nikh: uchebnik dlya vuzov [Emergency situations of natural, technogenic and social character and protection against them: the textbook for high schools]. Saint-Petersburg: Piter. 235 p. [in Russian].
3. Lurie I. K. (2008) Geoinformacionnoe kartografirovanie. Metody` geoinformatiki i cifrovoj obrabotki kosmicheskix snimkov [GIS mapping. Methods of Geoinformatics and digital processing of satellite images]. Moscow: KDU. 2008. 424 p. [in Russian].
4. State Standard 22.2.05–97. Safety in emergencies. Technogenic emergencies. Terms and definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2000. 12 p. [in Russian].
5. State Standard 12.1.033-81 Occupational safety standards system. Fire safety. Terms and definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2001. 18 p. [in Russian].

© М. В. Карманова, 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ИЗМЕНЕНИЯ КООРДИНАТ ОПОРНОГО ПУНКТА МАЙДАНТАЛ

Дилбархон Шамуродовна Фазилова

Астрономический институт им. Улугбека Академии наук Республики Узбекистан, 100052, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Астрономическая, 33, кандидат физико-математических наук, зав. отделом прикладных космических исследований, тел. (998-90)910-45-16, e-mail: kitab@intal.uz, dil_faz@yahoo.com

Алишер Шамуродович Фазилов

Ташкентский архитектурно-строительный институт, 100011, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Навои, 13, доцент кафедры «Информатика и информационные технологии», тел. (998-90)994-48-15, e-mail: kitab@intal.uz

Представлены результаты исследования основных составляющих временных рядов изменений координат опорного пункта Майдантал международной геодинамической сети. Скорость станции относительно Евразийской плиты составила 21.85 мм/г в северо-восточном направлении. Построена прогнозная модель временного ряда опорного пункта Майданака для интерпретации внешних геофизических процессов региона.

Ключевые слова: движение опорного пункта, прогнозная модель временного ряда.

INVESTIGATION OF MAIDANTAL REFERENCE STATION TIME SERIES MAIN COMPONENTS

Dilbarkhon Sh. Fazilova

Ulugh Beg Astronomical Institute of the Uzbek Academy of Sciences, 33, Astronomicheskaya St., Tashkent, 100052, Uzbekistan, Ph. D., Head of Department of Applied Space Researches, phone: (998-90)9104516, e-mail: kitab@intal.uz, dil_faz@yahoo.com

Alisher Sh. Fazilov

Tashkent Architectural Building Institute, 13, Navoi, Tashkent, 100011, Uzbekistan, Associate Professor Department of Informatics and Information Technologies, phone: (998-90)994-48-15, e-mail: kitab@intal.uz

Main components of International geodynamical network Maidantal reference station coordinate time series were investigated. A longitudinal velocity of the station is 21.85 mm/year with respect to the movement of the Eurasian plate. Forecast model of time series was constructed for interpreting the various external geophysical processes in the region.

Key words: reference station motion, time series forecast model.

Введение

В работах известного геодезиста Машимова М.М., посвященных вопросам и перспективам создания координатных систем и сети пунктов-реперов, относительно которых будут проводиться измерения, отмечалось, что со временем геодинамические аспекты станут определяющими при выборе пунктов такой

сети и в разработке программ астрономо-геодезических и гравиметрических работ. Высокоточные измерения должны будут выполняться на определенную эпоху с учетом движения полюсов, вариации скорости вращения Земли, движения земной коры и других эффектов [1]. Особая роль в анализе этих движений отводится постоянно действующим пунктам геодинимической сети, длительные и непрерывные временные ряды которых позволяют построить более точную и реалистическую модель региональных тектонических подвижек. Широкое использование спутниковых методов, таких как методы, основанные на применении Глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), высокая точность и разрешение которых, позволяют определять малые изменения в геоцентрических координатах наземных пунктов на коротких интервалах времени, стали основой для развития национальной географической информационной системы (НГИС) в Узбекистане и поставили задачу разработки основ создания и использования новой национальной открытой системы координат [2]. Спутниковые методы определения координат ГНСС в Узбекистане используются с начала 90-х годов. Станции в Китабе (KIT3), Ташкенте (TASH), Майданаке (MADK) и Майдантале (MTAL) успешно инсталлированы в рамках различных международных геодезических проектов, таких как сеть IGS (Международная служба GNSS для геодинимики), IDS (Международная служба DORIS) и CAWa (Вода в Центральной Азии) в период 1991-2016 годов и функционируют на постоянной основе до настоящего времени.

Геодинимических процессы, возникающие как результат вращательного движения таких объектов, как галактики, звездные системы, планеты и их спутники, должны быть изучены на основе кинематических моделей на предмет выявления их скрытых периодичностей [3]. Временные ряды постоянных пунктов ГНСС включают в себя различные типы сигналов, такие как ошибки, неучтенные при моделировании сигнала, влияние окружающей среды, случайный шум или ошибки программного обеспечения и стохастических моделей. Для анализа и построения кинематической прогнозной модели временных рядов координат станций необходимо провести анализ основных компонентов временных рядов.

Целью данного исследования является выявление векового тренда и периодичностей в амплитудно-временных рядах новой станции Майдантал и построение прогнозной модели для исследования динамики региона.

Теоретическая часть

Временной в общем случае может быть представлен в виде аддитивной модели [4]:

$$S(t_i) = T(t_i) + C(t_i) + E(t_i) \quad (1)$$

в которой каждый компонент ряда $S(t_i)$, полученный в момент наблюдений t_i ($i = 1, 2, 3, \dots, N$), включает тренд $T(t_i)$ – долгопериодический линейный компо-

нент, изменяющийся во времени; периодическую составляющую $C(t_i)$ – циклические колебания, связанные с сезонными изменениями; стохастическую составляющую $E(t_i)$ – случайные или систематические флуктуации, связанные с внешними воздействиями, ошибками измерений и обработки. Процедура декомпозиции ряда на тренд и сезонный компонент включает несколько этапов. Для описания долгопериодического компонента, описывающего собственно движение станции, используют полиномиальную функцию порядка m :

$$T(t_i) = \sum_{k=0}^m a_k t_i^k \quad (2)$$

здесь a_k ($k = 1 \dots m$) – параметр, зависящий от степени полиномиальной функции.

Периодическая часть временных рядов $C(t_i)$ обычно моделируется с помощью тригонометрической функции. В случае аддитивной модели вычисляется так называемый сезонный индекс для соответствующего месяца, который получается усреднением всех значений временного ряда после удаления тренда (D) для данного месяца (j) по всему ряду:

$$\hat{S}_j = \frac{1}{n_j} \sum_k D_{j+12(k-1)} \quad (3)$$

Нерегулярный $E(t_i)$ компонент временного ряда определяется путем простого вычитания тренда и сезонного компонента из исходных данных. По полученным значениям тренда и периодического компонента моделируется прогнозная модель, на основе которой можно выполнить анализ остаточного стохастического компонента.

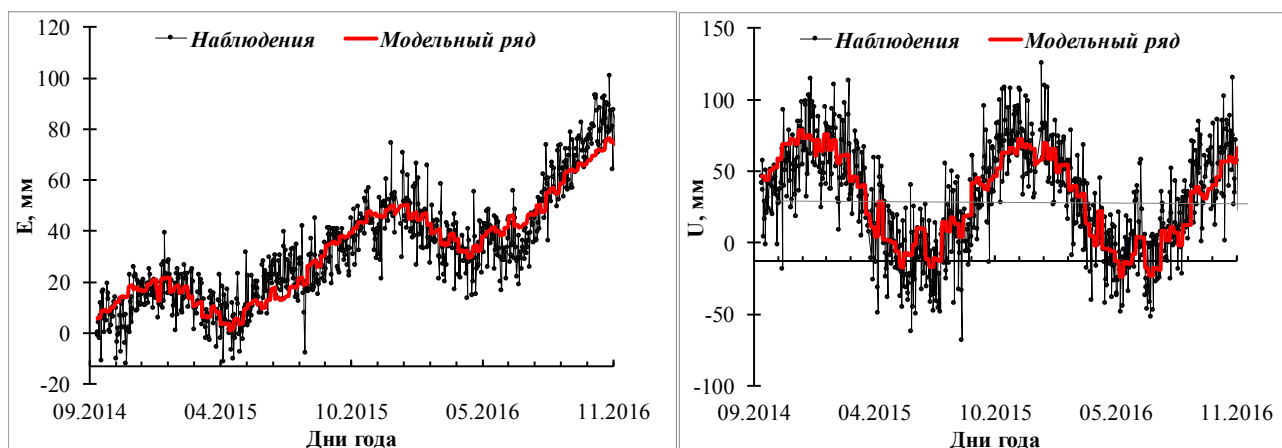
На первом этапе был проанализирован линейный тренд долготного и широтного компонент ряда, обусловленного тектоническими движениями плит. Выполнено сравнение с данными тектонических моделей движения плит, доступными в сервисе [5]. Для сравнения выбраны как классическая модель NNR-NUVEL-1A [6], определенная по долгопериодическим геологическим данным, так и современная глобальная модель ITRF2008, полученная методами космической геодезии [7]. Сравнение полученных скоростей движения пункта MTAL с указанными моделями приведены в таблице.

Сравнение скоростей GPS станции MTAL по широте V_B и долготе V_L с данными различных тектонических моделей

GPS		ITRF2008		NUVEL-1A	
V_B , мм/г	V_L , мм/г	V_B , мм/г	V_L , мм/г	V_B , мм/г	V_L , мм/г
0.78	21.84	3.05	28.20	-0.84	25.95

Результаты, представленные в таблице, показывают северо-восточное направление движения пункта MTAL со скоростью 21.85 мм/год, большей частью

обусловленное долготным дрейфом региона. Как видно из данных таблицы, результаты согласуются с современной геодезической моделью ITRF2008 и геологической моделью NNR-NUVEL-1A только для долготного компонента. Разница значений широтных изменений координат обусловлена, видимо, еще недостаточной плотностью ГНСС сети в нашем регионе, использованной в глобальных моделях. Вычисленные значения тренда и периодических компонент широты, долготы и высоты пункта МТАЛ использовались для построения аддитивной прогнозной модели временного ряда (рисунок).



Аддитивная модель временного ряда для изменения долготы (E) и высоты (U) станции Майдантал

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Машимов М. М. Планетарные теории геодезии. – М. : Недра, 1982. – 261 с.
2. Fazilova D. Sh., Magdiev H. N. Creation State GNSS network as a basic component of the National Geographic Information System of Uzbekistan // Вестник Киргизского госуд. универ. – 2016. – 3(53). – С. 207–214.
3. Кафтан В. И. Временной анализ геопространственных данных: кинематические модели: автореферат дис. ... доктора технических наук: 25.00.35. – М., 2003. – 46 с.
4. Mann S. Statistics for Business and Economics. Wiley, USA, 1995.
5. <https://www.unavco.org/software/geodetic-utilities/plate-motion-calculator>
6. DeMets C., R. G. Gordon, D. F. Argus, and S. Stein, Effect of recent revisions to the geomagnetic reversal time scale on estimates of current plate motions // Geophys. Res. Lett. – 1994. – 21. – pp. 2191–2194.
7. Altamimi Z., L. Métivier and X. Collilieux. ITRF2008 plate motion model // J. Geophys. Res. – 2012. – 117(B07402). – 14 pp.

© Д. Ш. Фазилова, А. Ш. Фазиллов, 2018

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ НАВИГАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Георгий Михайлович Тригубович

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, ул. Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, доктор технических наук, директор, тел. (383)347-47-97, e-mail: mail@aerosurveys.ru

Станислав Олегович Шевчук

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Андрей Сергеевич Сверкунов

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, инженер первой категории, тел. (913)890-42-24, e-mail: sverkunov86@mail.ru

Сергей Владимирович Барсуков

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, Октябрьская магистраль 4, оф. 1207, ведущий геофизик, тел. (913)717-21-70, e-mail: turmalin@ngs.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

В статье рассмотрена концепция программно-аппаратного аэрогеофизического комплекса, позволяющего выполнять комплексную пилотируемую аэрогеофизическую съемку без привлечения штурмана и оператора-геофизика.

Ключевые слова: навигация, аэрогеофизика, программа, ГНСС, автоматизация, поддержание маршрутов, контроль качества.

AUTOMATIC NAVIGATION AND MEASUREMENT AEROGEOPHYSICAL COMPLEX

Georgiy M. Trigubovich

CJSC «Aerogeophysical Surveys», 4, Oktyabrskaya Magistral St., of. 1207, Novosibirsk, 630007, Russia, Dr. Sc., Director, phone: (383)347-47-97, e-mail: mail@aerosurveys.ru

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Engineering Geodesy, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Andrey S. Sverkunov

CJSC «Aerogeophysical Surveys», 4, Oktyabrskaya Magistral St., Novosibirsk, 630007, Russia, 1st Category Engineer, phone: (913)890-42-24, e-mail: sverkunov86@mail.ru

Sergey V. Barsukov

CJSC «Aerogeophysical Surveys», 4, Oktyabrskaya Magistral St., Novosibirsk, 630007, Russia, Leading Geophysicist, phone: (913)717-21-70, e-mail: turmalin@ngs.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

In article the concept of an automatic navigation and measurement aerogeophysical complex that used for multi-method manned aerogeophysical survey without navigator and operator-geophysicist staff is considered.

Key words: navigation, aero geophysics, software, GNSS, automatic, route maintenance, quality control.

Введение

Электромагнитная разведка становлением поля в комплексе с магнито-и спектрометрией с использованием вертолетных разведочных платформ является заметной тенденцией развития опережающих поисково-оценочных технологий. Эти системы характеризуются высокой разрешающей способностью, глубиной исследований, и позволяют оперативно оценивать перспективность труднодоступных территорий [1, 2].

Подобные системы, как правило, имеют в составе подвесную несущую платформу с установленной многодатчиковой приемно-генераторной конструкцией под фюзеляжем вертолета на трос-кабеле длиной около 50 м, магнитную измерительную систему, а также гамма-спектрометр, размещаемый на борту вертолета, и дополнительную измерительную технологическую аппаратуру, размещаемую как на борту вертолета, так и в капсуле подвесной платформы [2–5].

Диаметр платформы изменяется от 15 до 25 м. Масса может достигать 450–750 кг. Применяемый гамма-спектрометр также может иметь внушительную массу, около 200 кг. Съемка с применением указанного комплекса выполняется с обтеканием рельефа на скорости 80–130 км/ч [2–4].

Очевидно, такой сложный комплекс в настоящее время невозможно адекватно адаптировать под беспилотные летательные аппараты, однако имеется возможность максимально автоматизировать измерительные процессы и навигацию, выполняя съемку без оператора-геофизика. В настоящее время существуют примеры таких систем, однако задача повышения надежности и снижения риска получения некондиционных данных на вылетах, длящихся без посадки до 6 часов, остается весьма актуальной.

Существующая методика навигационного и измерительного сопровождения аэрогеофизических измерений

До настоящего времени, для работы с комплексом на борту носителя, помимо пилотов, требовалось наличие дополнительных членов экипажа – оператора-геофизика и штурмана.

Оператор-геофизик при этом выполнял мониторинг измеряемых геофизических величин, и, при необходимости, давал указания по повторному прохождению отдельных маршрутов. При заходе на маршрут оператор-геофизик задавал записывающей программе номер текущего маршрута, запускал и завершал запись измерений.

Задачей штурмана являлся контроль выдерживания маршрутов и указание пилотам курса, скорости и высоты полета. Кроме того, он мог давать указания оператору-геофизику в случае изменения порядка прохождения маршрутов, повторного прохождения и пр.

Решение указанных задач выполнялось посредством различных программно-аппаратных комплексов, как правило, работавших независимо друг от друга.

В настоящее время разработана новая концепция и программные комплексы под решение указанных задач – программы QAeroRecorder для оператора-геофизика и RouteNav – для штурмана [6–8].

Программа записи геофизических измерений QAeroRecorder предназначена для работы на бортовом компьютере, производит захват, обработку, архивирование и визуализацию данных геофизического оборудования:

- измерители электромагнитного (ЭМ) поля;
- измеритель генерирующего импульса тока;
- магнитометр;
- гамма-спектрометр;
- лазерный и радиовысотомер;
- сопутствующее оборудование: измерители напряжения аккумуляторов, измерители влажности, температуры, измерители вибраций и наклона платформы.

Основные функции программы QAeroRecorder:

- вывод диагностической информации о состоянии подключенного оборудования;
- управление состоянием записи геофизической информации на внешний носитель, отображение статуса записи;
- логическое разбиение информации на маршруты в процессе съемки;
- установка меток-событий в процессе съемки;
- визуализация измеряемых сигналов ЭМ поля, напряженности магнитного поля вдоль текущего маршрута, графиков энергии γ -квантов и производных численных характеристик, состояния сопутствующего оборудования;
- профилирование электромагнитного поля вдоль маршрута;

– визуализация текущей высоты и тревожное предупреждение о превышении максимально и минимально возможной дистанции «Земля – платформа».

Пример рабочего экрана QAeroRecorder приведен на рис. 1.

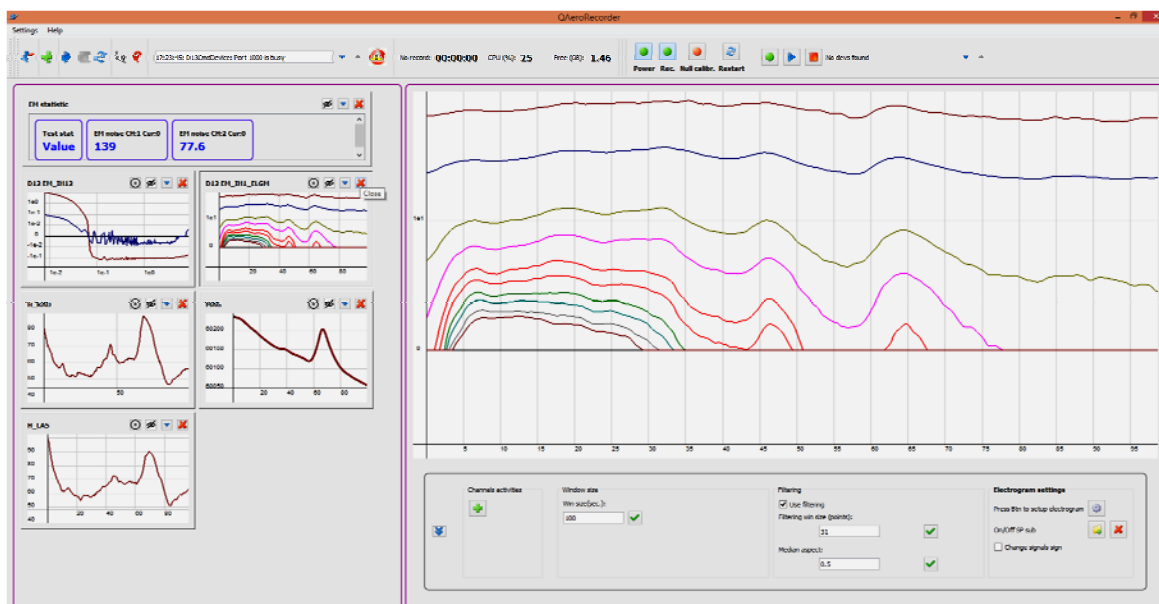


Рис. 1. Пример рабочего экрана программы QAeroRecorder

Программно-аппаратный комплекс RouteNav предназначен для навигационного обеспечения полета, в частности [7, 8]:

- отображение на карте-схеме текущего положения летательного аппарата (ЛА) по измерениям навигационного приемника ГНСС, данные от которого принимаются в виде протокола NMEA0183;
- отображение на карте-схеме текущего, а также пройденных и непройденных маршрутов;
- индикаторное отображение путевой скорости, высоты ЛА над уровнем моря, азимута;
- расчет и отображение расстояния до текущего маршрута (линейного бокового отклонения), границ допустимых отклонений от него, направления на него (в процессе захода);
- динамический выбор следующего маршрута, автоматический переход к нему по завершении текущего, вывод рекомендуемой траектории захода на маршрут;
- отображение на карте-схеме растровых карт-подложек, меток и пр.;
- отчет по прохождению маршрутов, оценка качества их выдерживания.

Решение указанных задач позволяет автоматизировать процесс навигационного сопровождения, входящего в общий комплекс вопросов навигационно-геодезического обеспечения аэрогеофизики [9–11].

Программа имеет интуитивно понятный гибко настраиваемый интерфейс пользователя, требующий минимального обучения для работы с ним. Пример рабочего экрана RouteNav приведен на рис. 2.

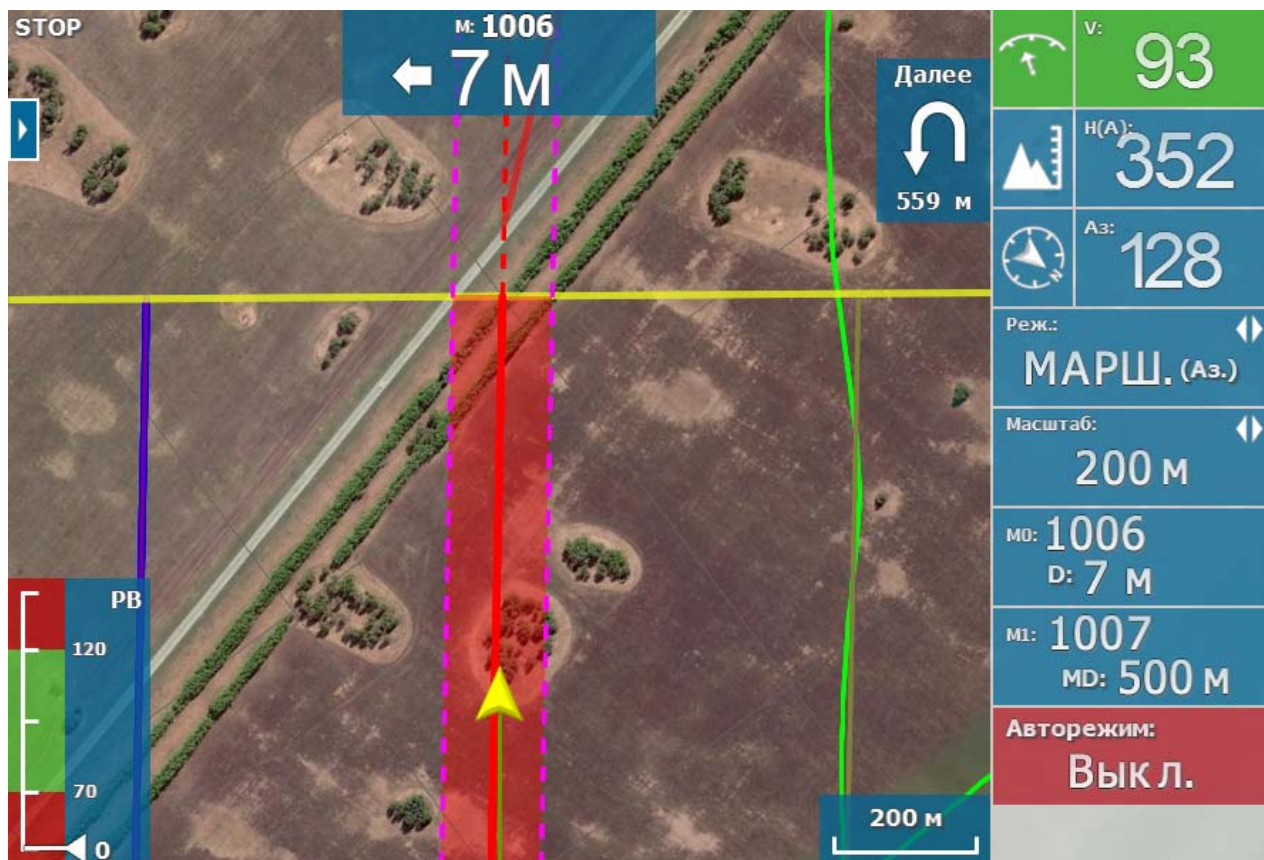


Рис. 2. Пример рабочего экрана программы RouteNav

Программа RouteNav является частью автоматизированного навигационного комплекса, состоящего из ГНСС-приемника, высотомера и портативного ПК. Примеры подобных комплексов, частично или полностью решающих те же задачи, рассмотрены в публикациях [12–14].

Автоматизированный навигационно-измерительный аэрогеофизический комплекс

Совершенствование программ RouteNav и QAeroRecorder привело к значительному повышению автоматизации съемки. Так, в настоящее время, решение навигационных задач может выполняться без штурмана, благодаря адаптированному пользовательскому интерфейсу RouteNav. В то же время, программа QAeroRecorder может самостоятельно выявлять сбои измерительных систем.

Таким образом, последней задачей оператора-геофизика остается задание номера текущего маршрута и подача команды начала/остановки записи данных. Эти функции также могут выполняться автоматически, если номер текущего

маршрута и сигнал начала/остановки записи передавать от навигационной программы.

Таким образом, было решено создать объединенный программно-аппаратный комплекс, позволяющий пилотам выполнять аэрогеофизическую съемку без привлечения дополнительных членов экипажа. Принципиальная схема такого комплекса приведена на рис. 3.

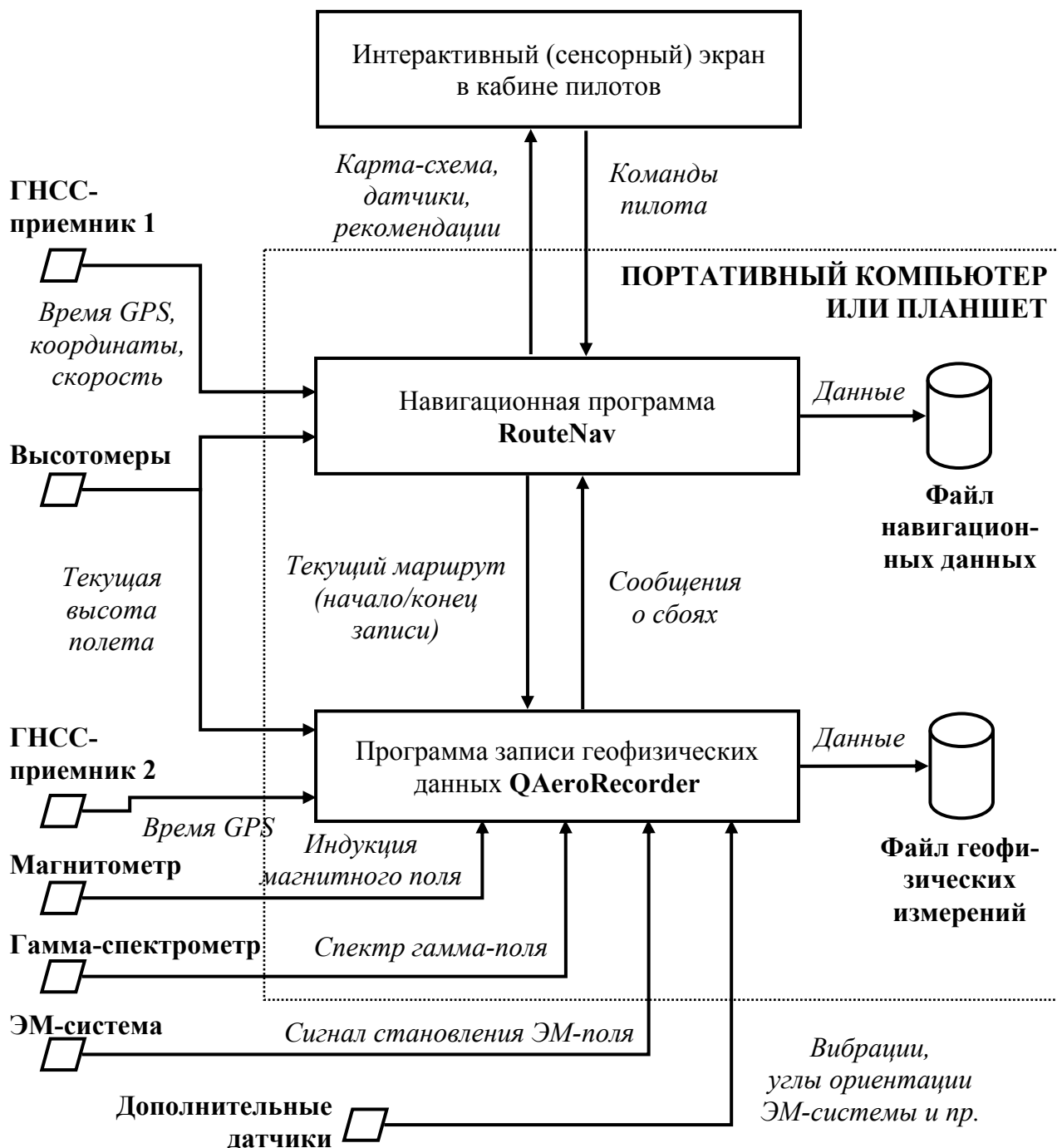


Рис. 3. Принципиальная схема функционирования предложенного навигационно-измерительного аэрогеофизического комплекса

Функционирование системы можно описать следующим образом:

- по заданным проектным маршрутам и измерениям ГНСС-приемника и высотомеров (опционально) программа навигации RouteNav выводит на экран в кабине пилотов карту-схему с рекомендациями по выдерживанию маршрутов, заходу на маршрут или следованию к участку работ/на базу;
- пилот может взаимодействовать с RouteNav посредством интерактивного (сенсорного) экрана: менять текущий маршрут, выбирать режим полета и пр.;
- в зависимости от режима полета и текущих отклонений от проектного маршрута, программа RouteNav передает программе записи геофизических измерений QAeroRecorder команды начала/завершения записи измерений по текущему маршруту, с указанием его имени;
- программа QAeroRecorder выполняет прием геофизических данных с измерительной аппаратуры, определяет время поступления данных посредством второго ГНСС-приемника и ведет их запись в специальный файл;
- в случае сбоев QAeroRecorder подает соответствующий сигнал навигационной программе, сообщение о сбое выводится на экран в кабине пилотов, а текущий маршрут проходится заново или (в случае соответствующей команды пилотов) пропускается до выяснения причин отказа аппаратуры;
- данные о текущем местоположении, азимуте, скорости и высоте полета, получаемые навигационной программой RouteNav записываются в специальный навигационный файл и впоследствии могут быть воспроизведены и проанализированы.

Основными требованиями к системе являются:

- общие имена проектных маршрутов в навигационной и измерительной программах;
- заблаговременная подготовка проектов съемки;
- проведение инструктажа пилотов по обращению с программой.

Реализация приведенной концепции возможна также и с другими программами, реализующими те же функции и имеющими взаимную связь в соответствии с предложенной схемой.

Выводы

Основными преимуществами представленного навигационно-измерительного комплекса являются:

- полная автоматизация навигационных процессов (контроль выдерживания маршрутов, направление на участок работ, возвращение на базу, заход с маршрута на маршрут), позволяющая отказаться от наличия штурмана на борту летательного аппарата;
- автоматизация записи геофизических измерений с учетом текущего маршрута и навигационных параметров измерений, что позволяет выполнять измерения без обязательного присутствия оператора-геофизика;

– отказоустойчивость за счет постоянного мониторинга геофизических измерений с автоматическим выявлением причины сбоев;

– интуитивно понятный интерфейс пользователя, позволяющий пилотам выполнять съемку самостоятельно.

Таким образом, благодаря этому может быть достигнута полная автоматизация навигационных и измерительных процессов аэрогеофизической съемки, что позволит сократить количество членов экипажа до минимума.

Указанные преимущества позволяют в значительной мере повысить производительность и экономическую эффективность съемки.

Экспериментальный образец автоматизированного комплекса находится на этапе летных испытаний.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kamenetsky F. M., Stettler E. H., Trigubovich G. M. Transient Geo-Electromagnetics / Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. – Munich, 2010. – 296 p., 2010. – 296 с.

2. Тригубович Г. М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.

3. Complex Technology of Navigation and Geodetic Support of Airborne Electromagnetic Surveys / G. M. Trigubovich, S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, and V. N. Nikitin // Gyroscopy and Navigation, 2017, Vol. 8, No. 3, pp. 226–234. – Англ.

4. Навигационно-геодезическое обеспечение аэрогеофизических исследований / Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, А. А. Белая [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – № 2. – С. 61–69.

5. Особенности построения высокоточной аэрогеофизической системы серии «импульс-аэро» / С. В. Барсуков, А. А. Белая, Ю. Ю. Дмитриев, А. С. Сверкунов, Е. Н. Махнач, Г. М. Тригубович // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 224–229.

6. Шевчук С. О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614500 / Российская Федерация / Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav [Текст] / С. О. Шевчук, С. В. Барсуков; заявитель и правообладатель Закрытое акционерное общество «Аэрогеофизическая разведка» (RU); дата поступления 09 янв. 2017 г.; дата регистрации 18 апр. 2017 г.

7. Навигационное сопровождение аэрогеофизических исследований с использованием программы RouteNav / С. О. Шевчук, С. В. Барсуков // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 130 – 137.

8. Шевчук, С.О. Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav // Вестник СГУГиТ. – 2017. – № 4 (22). – С. 113–125.

9. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.

10. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ : метод. рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев / Науч. ред. А. Г. Прихода. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.

11. Глаголев В. А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геофизических измерений в движении. – СПб. : ВИРГ-Рудгеофизика, 2003. – 104 с.
12. CCNS-5 / IGI – Integrated Geospatial Innovations [Electronic Resource] Режим доступа : <http://www.igi-systems.com/ccns-5.html> – Англ.
13. Жодзишский П. Ю., Пухов В. А. Повышение эффективности выполнения аэрогеофизических исследований // Геопрофи. – 2010. – № 2. – С. 23–25.
14. Технологии / ООО «Геолого-геофизическая компания» [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://www.geogk.ru/rus/technologies.shtml>.

© Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, А. С. Сверкунов,
С. В. Барсуков, Н. С. Косарев, 2018

ВЫПОЛНЕНИЕ НАВИГАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАЗЕМНЫХ И АЭРОГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СОВРЕМЕННОГО ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Станислав Олегович Шевчук

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Вячеслав Николаевич Никитин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии дистанционного зондирования, тел. (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Сергей Владимирович Барсуков

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, ул. Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, инженер-геофизик, тел. (913)717-21-70, e-mail: turmalin@ngs.ru

Статья описывает этапы подготовки и выполнения навигационного обеспечения аэро- и наземных геофизических работ на примере использования навигационного комплекса на основе авторской программы RouteNav.

Ключевые слова: ГНСС, GPS, навигация, аэрогеофизика, программа, выдерживание маршрутов

PROVIDING THE NAVIGATION SUPPORT OF GROUND AND AERIAL GEOPHYSICAL WORKS WITH MODERN DEVICES AND SOFTWARE

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Engineering Geodesy, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Vyacheslav N. Nikitin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (913)712-37-50, e-mail: vslav.nikitin@gmail.com

Sergey V. Barsukov

CJSC «Aerogeophysical Surveys», 4, Oktyabrskaya Magistral St., of. 1207, Novosibirsk, 630007, Russia, Geophysicist, phone: (913)717-21-70, e-mail: turmalin@ngs.ru

The article considers the steps of preparing and providing the navigational support of aerial and ground geophysical works. The navigational complex based on RouteNav software is used for example.

Key words: GNSS, GPS, navigation, aero geophysics, software, route maintenance.

Навигационное обеспечение геофизических работ

Навигационное обеспечение геолого-геофизических работ включает в себя комплекс мероприятий по определению местоположения, проводки носителя геофизической аппаратуры по проектным маршрутам и выдерживанию допустимых величин отклонений от проектных маршрутов и других навигационных параметров [1–3].

Принципиальными этапами навигационного обеспечения наземных и аэро-геофизических исследований являются:

- подготовительные работы (подбор навигационных карт, выбор и подготовка аппаратуры, нанесение проектных маршрутов на геодезическую основу, занесение проектных маршрутов в память навигационной аппаратуры);
- навигационное сопровождение съемки (включая выход на участок работ, выдерживание проектных маршрутов с контролем отклонений, возвращение на базу или пункты временного базирования);
- анализ качества навигационного сопровождения, создание отчетной документации.

Как правило, навигационное обеспечение включают в общий комплекс с геодезическим обеспечением, однако при геодезическом обеспечении решаются принципиально другие задачи, а результат зачастую может быть получен при камеральной обработке [2, 3].

Навигационное обеспечение выполняется с помощью специализированной навигационной аппаратуры (в первую очередь, приемников глобальных навигационных спутниковых систем – ГНСС), которая может являться как моноблочной, так и быть представленной в виде комплекса из различных программно-аппаратных компонентов.

Навигационные программно-аппаратные комплексы

Примером программно-аппаратного навигационного комплекса может являться комплекс на основе программы RouteNav [6].

Данная программа была разработана для целей навигационного сопровождения аэрогеофизических работ, в том числе со сложными электромагнитными комплексами [4, 5]. Функции RouteNav подробно описаны в публикациях [7–9].

Программа подходит для выполнения навигационного обеспечения как аэро-, так и наземных геофизических работ как по прямолинейным, так и криволинейным маршрутам (например, при полете по горизонталям или исследовании протяженных линейных объектов). Преимуществами данной программы является автоматический переход с маршрута на маршрут, визуальный контроль отклонений и высот, возможность анализа качества навигационного сопровождения.

Кроме RouteNav имеются программы, реализующие те же функции полностью или частично [10–12].

Навигационные комплексы, как правило, включают в себя навигационную аппаратуру, специальное программное обеспечение и аппаратуру вывода.

В состав навигационного комплекса на основе RouteNav входят:

- кодовый ГНСС-приемник с USB/COM-интерфейсом;
- портативный компьютер или планшет оператора на базе операционной системы Windows XP/Vista/7/8/10.

Дополнительно могут добавляться:

- дублирующий экран (может использоваться, например, для размещения в кабине пилотов);
- высотомеры (при необходимости строгого выдерживания высот полета);
- второй ГНСС-приемник (например, для отслеживания выносных/прицепных конструкций).

Функционал навигационных комплексов позволяет отказаться от бумажных навигационных карт (а в некоторых случаях, и услуг штурмана) и предполагает высокую автоматизацию навигации, что вносит изменение в общую методику навигационного обеспечения геофизических работ.

На примере комплекса, использующего RouteNav, могут быть детально рассмотрены этапы навигационного обеспечения геофизических работ.

Подготовительные работы

На этапе подготовительных работ выполняется создание проекта полета. Предварительно должен быть выполнен подбор подходящей аппаратуры и проверка функционирования навигационного комплекса.

Создание проекта в RouteNav полета может осуществляться в пошаговом режиме с помощью «Мастера создания проекта» (Project Wizard), рис. 1.

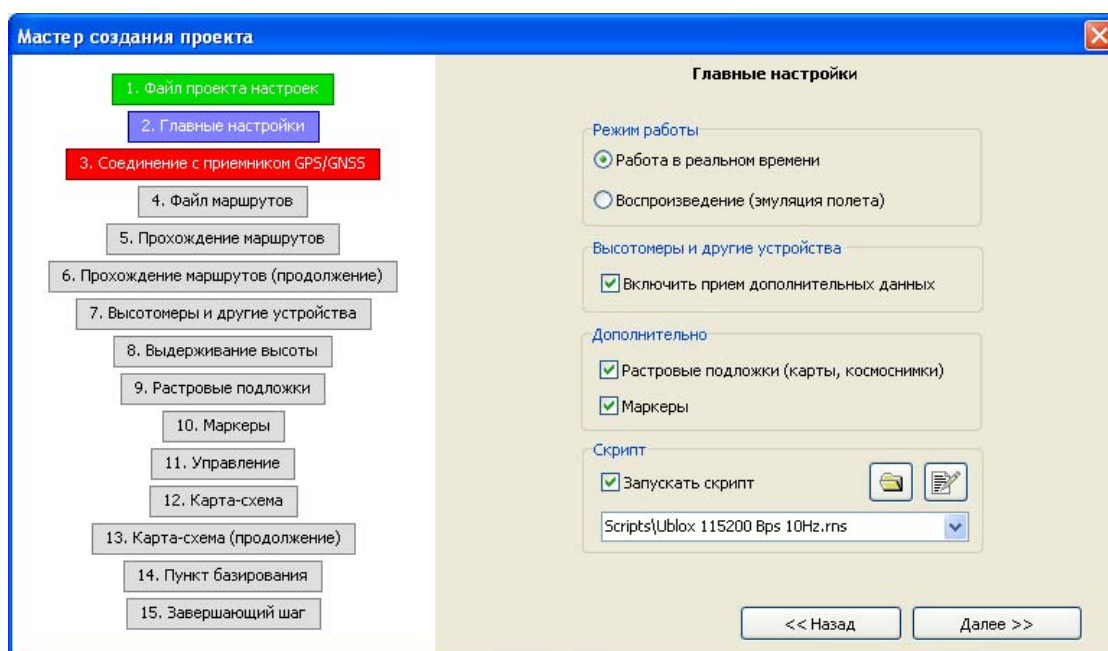


Рис. 1. Мастер создания проекта полета

Создание проекта полета состоит из следующих шагов:

- указание имени файла проекта, установка его на автозапуск (при необходимости);
- установка главных настроек проекта (режим работы программы – в реальном времени или воспроизведение; наличие дополнительных устройств; наличие растровых карт/космоснимков в качестве подложек и пр.);
- настройка параметров соединения с ГНСС-приемником (настройки COM/USB, параметры автоматического поиска порта устройства, периодичность опроса порта);
- загрузка файла проектных маршрутов (при необходимости может быть создан с помощью специальной утилиты по координатам границ участка съемки, рис. 2);

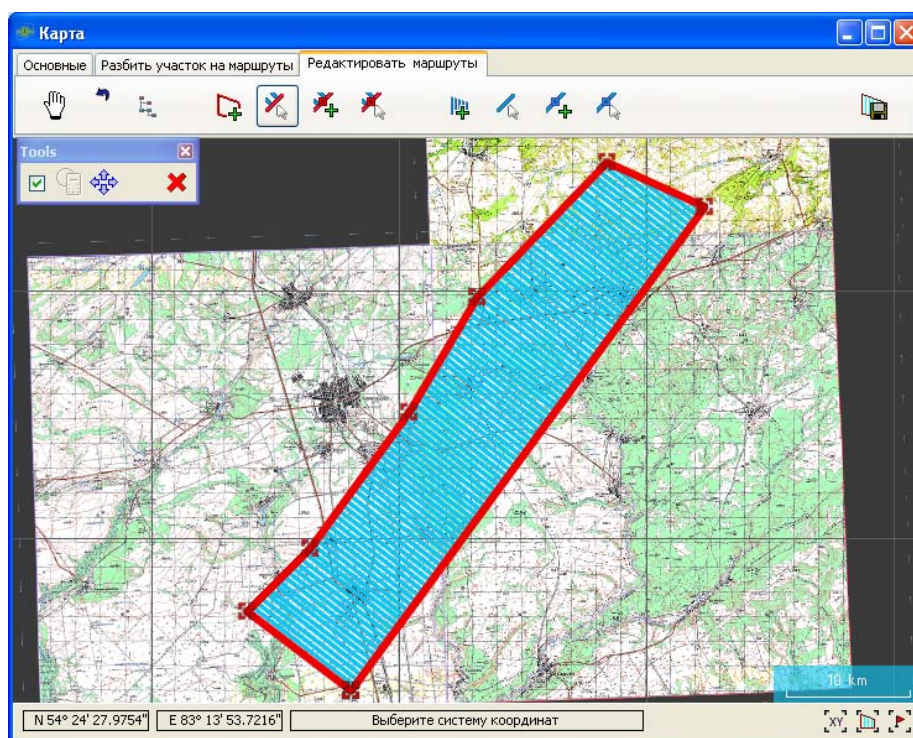


Рис. 2. Утилита автоматического разбиения
съемочного участка на маршруты

- задание параметров прохождения маршрута (порядок автоматической смены маршрутов, шаг и метод смены, максимально допустимая величина уклонов, предельная скорость и пр.);
- настройка связи с дополнительными устройствами (высотомерами и пр.);
- установка допусков выдерживания высот (при наличии высотомеров);
- загрузка растровых подложек – навигационных карт или космоснимков (переводятся в специальный геопривязанный формат с помощью утилиты Raster или загружаются для использования оффлайн из GoogleEarth с помощью утилиты GetMap, рис. 3);

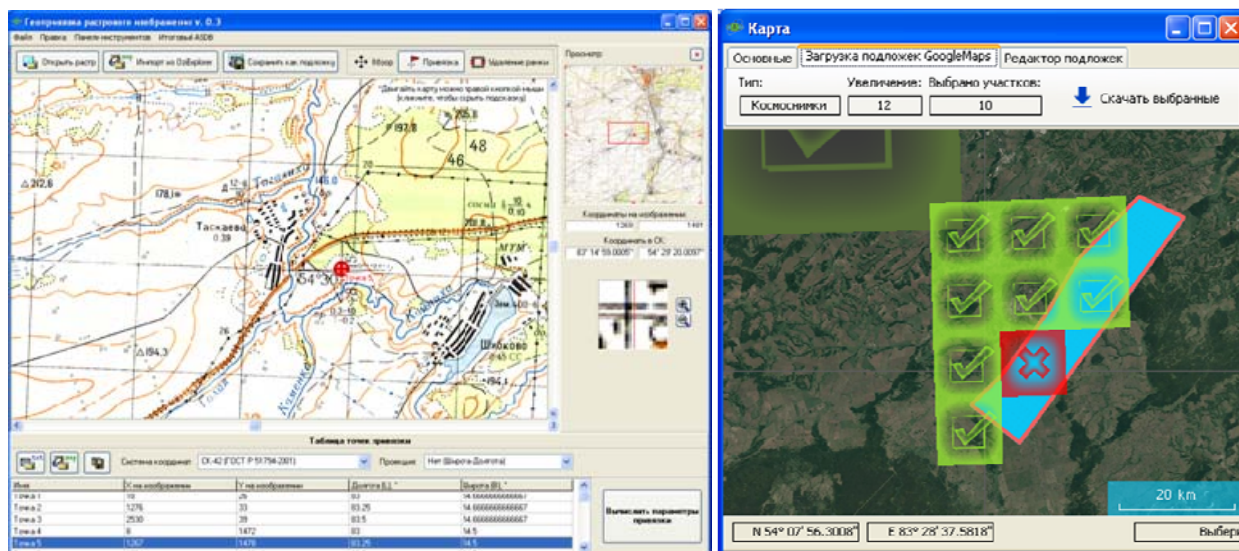


Рис. 3. Встроенные в RouteNav подпрограммы импорта растровых подложек: утилита геопривязки растровых карт Raster (слева) и утилита загрузки снимков сервиса Google Earth (справа)

- настройка параметров управления (автоматическое переключение масштаба и режима съемки, настройки мыши и джойстика);
- настройка оформления карты-схемы (размер и цвет условных знаков; информационные панели;
- ввод координат пункта базирования (при отсутствии координат базы, они будут присвоены от первого принятого измерения).

При создании проекта порядок шагов может быть изменен, а доступ к ним возможен посредством интерактивного меню в левой части окна. Проект полета может быть изменен в дальнейшем, в том числе, непосредственно перед полетом.

Для проверки проекта могут быть выполнены модельные испытания с помощью утилиты, имитирующей полет [13]. Сымитированный полет можно будет воспроизвести для тестирования настроек интерфейса и параметров автоматического масштабирования и смены режима.

Навигационное сопровождение съемки

Непосредственное выполнение съемочных работ может быть условно разбито на несколько процессов каждому из которых соответствует свой режим пилотирования:

- подлет к участку работ;
- заход на маршрут;
- выдерживание маршрута (с контролем уклонений);
- возвращение на пункт базирования.

Выполнение работ максимально автоматизировано. Интерфейс программы в виде карты-схемы с информационной панелью позволяет выполнять пилоти-

рование и контроль без участия отдельного штурмана. На рис. 4 показан интерфейс программы при выполнении различных операций.

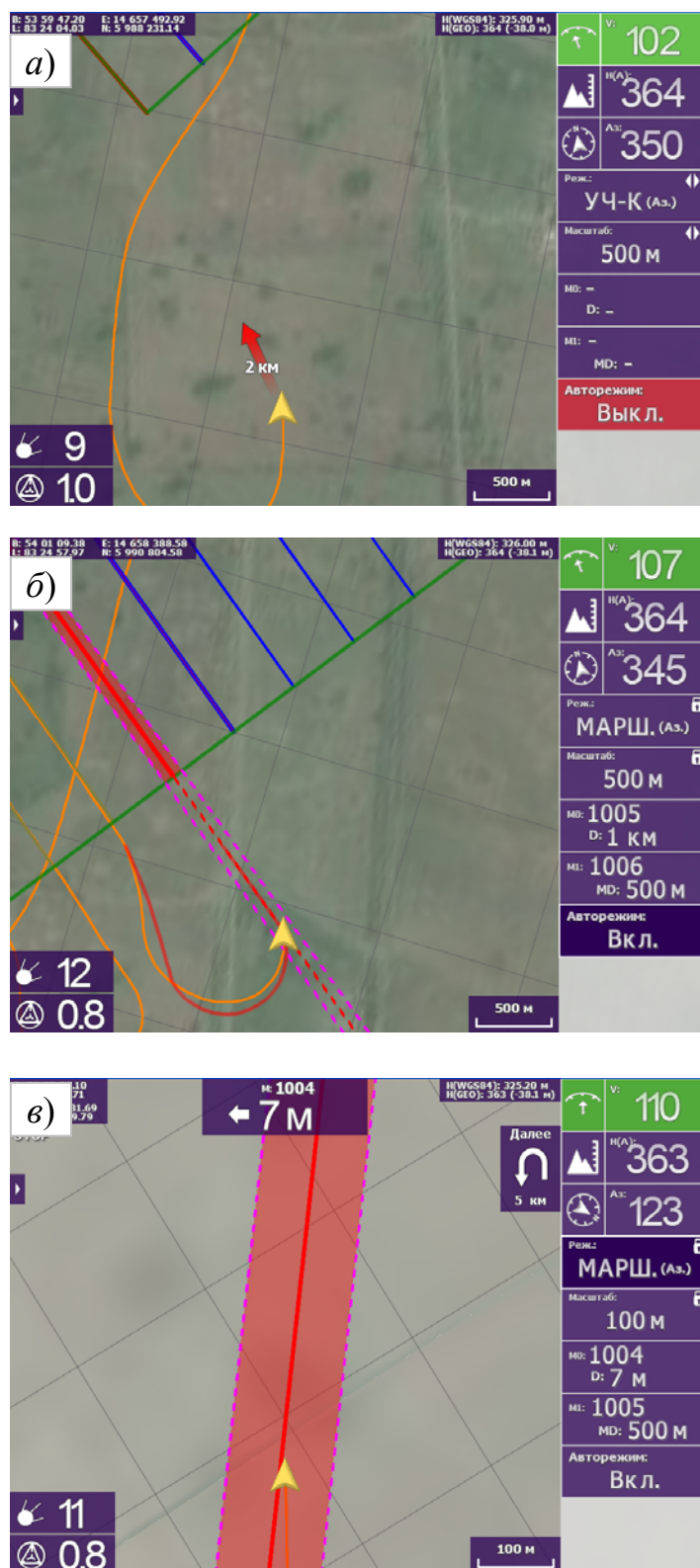


Рис. 4. Визуализация различных режимов пилотирования для одного и того же полета:

а) полет к участку работ; б) заход на маршрут; в) выдерживание маршрута

В зависимости от критериев, заданных в проекте полета, в процессе съемки автоматически изменяется масштаб и режим пилотирования (с возможностью ручного вмешательства), маршруты автоматически сменяются по прохождении, с заданным шагом и по заданному алгоритму, а также предлагается траектория захода на следующий маршрут. Пройденному маршруту дается статистическая оценка качества его выдерживания.

В режиме выдерживания маршрутов, показываются величины боковых уклонений. В зависимости от настроек, в случае уклонений, превышающих заданное предельное значение, программа потребует выполнить повторный залет на маршрут.

При превышении предельных величин навигационных параметров (скорости, боковых уклонений, высот полета), соответствующие индикаторы подсвечиваются с использованием пульсирующей цветовой анимации.

Имеется возможность контроля со стороны оператора-геофизика. В этом случае программа может быть запущена на ПК оператора геофизической съемки. При этом карта-схема и необходимая информация могут выводиться на экран в кабине пилотов, а оператор-геофизик в специальном режиме будет иметь масштабируемую миниатюру или информационную панель с краткой информацией о текущем этапе полета, маршруте, уклонении от него и пр.

Анализ качества навигационного сопровождения

Ошибки пилотирования и навигационного обеспечения могут иметь серьезные последствия при дальнейшей обработке отснятого геофизического материала и значительно повлиять на его качество.

Несмотря на наличие контроля выдерживания навигационных параметров в процессе съемки, иногда может потребоваться контроль и анализ качества выдерживания навигационных параметров для каждого маршрута.

Для этих целей существует встроенная в RouteNav утилита Fly Estimate, позволяющая получить отчет по каждому маршруту, рис. 5.

Оценивание качества пилотирования происходит по критериям, показанным в таблице. В случае оценивания по двум параметрам, из двух оценок берется худшая.

Критерии оценки выдерживания маршрутов

Оценка	Высоты над земной поверхностью	Уклонения от маршрута
A (ОК)	Вне допусков менее 10%	СКП менее 0,5 заданного допуска
B (удовл.)	Вне допусков 50%, грубый брак менее 10%	СКП менее 0,75 заданного допуска
C (грубо)	грубый брак менее 25%	СКП менее 1 заданного допуска
D (брак)	грубый брак более 25%	СКП больше заданного допуска

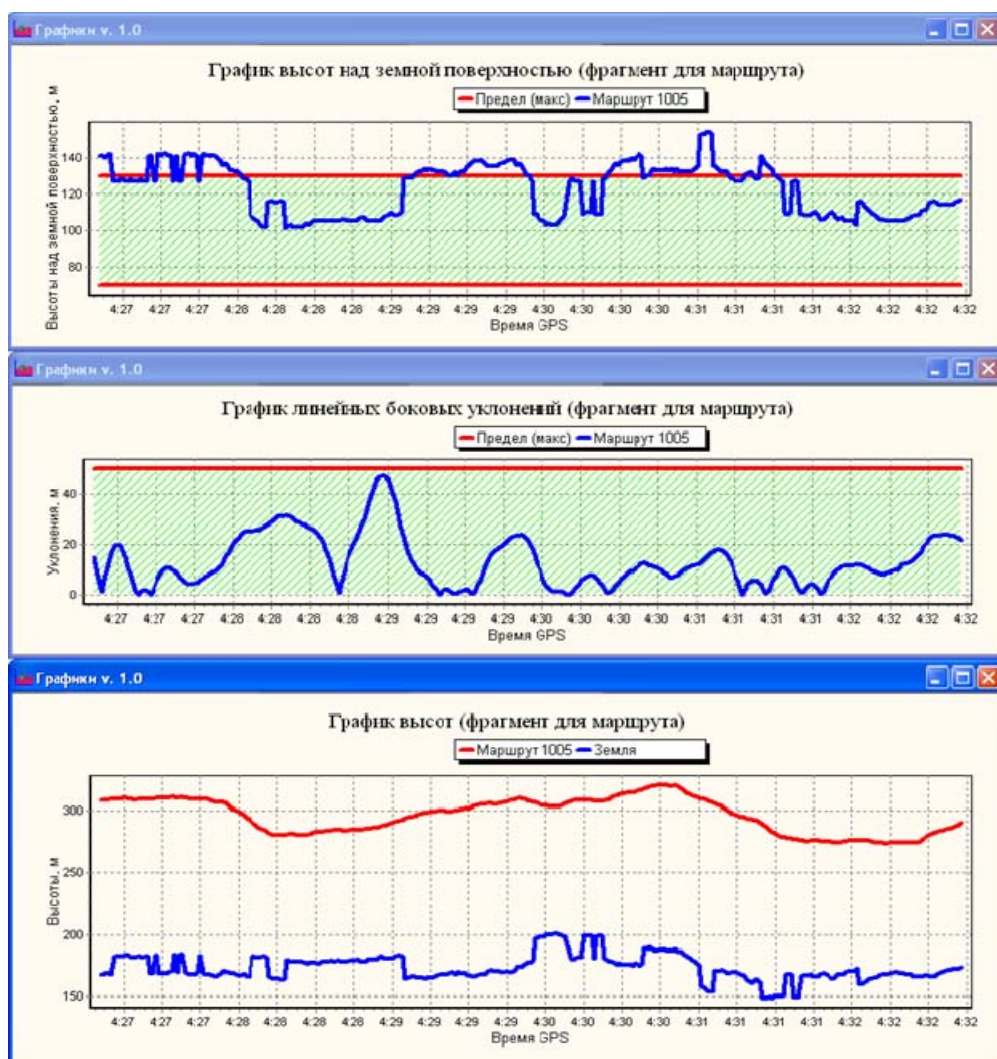
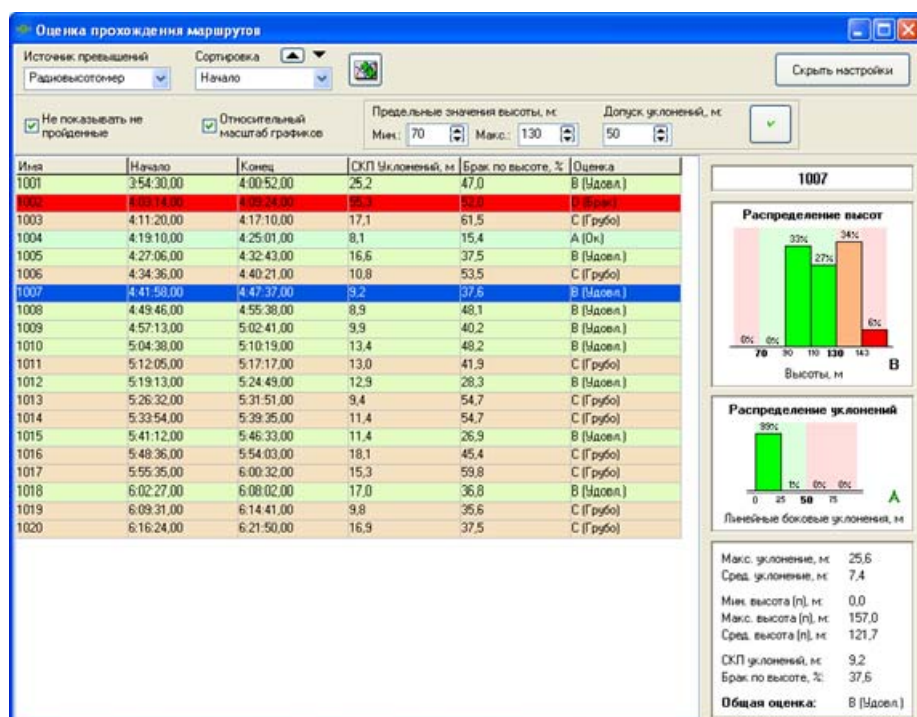


Рис. 5. Утилита контроля качества пилотирования Fly Estimate

Под грубым браком подразумевается процент точек траектории, для которых высота ниже допустимого минимума или выше максимума, умноженного на коэффициент 1,1 (110%). Такой критерий добавлен на основании анализа эмпирических данных, по которым был сделан вывод, что при съемках на сверхмалых высотах большинство измерений берется у верхней границы допустимой высоты.

В настоящее время в разработке находится более продвинутая супервайзерская утилита, имеющая более гибкие настройки критериев оценки.

Выводы

Из выше сказанного можно сделать вывод, что при использовании современных программно-аппаратных навигационных комплексов наибольшая ответственность ложится на исполнителя, в первую очередь на этапе подготовки проекта полета. Процесс навигационного сопровождения максимально автоматизирован, а ошибки пилотирования могут быть выявлены как оперативно в полете, так и при постполетном анализе.

Использование современной аппаратуры и программ в значительной мере повышает удобство и эффективность навигационного обеспечения, позволяет уменьшить вероятность ошибок оператора и количество членов экипажа в кабине пилотов (за счет отсутствия необходимости наличия оператора-штурмана). Перечисленное очевидно должно повысить качество получаемого съемочного материала и снизить процент отбраковываемых данных.

Вместе с этим, существует ряд инноваций, совершенствующих методику геодезического обеспечения наземной и аэрогеофизики (например, рассмотренные в [7, 14-18]). Применение навигационных комплексов совместно с ними суммарно позволит достичь качественно нового уровня навигационно-геодезического обеспечения геолого-геофизических работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
2. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ: Методические рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев / Науч. ред. А. Г. Прихода. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.
3. Глаголев В. А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геофизических измерений в движении. – СПб.: ВИРГ-Рудгеофизика, 2003. – 104 с.
4. Тригубович Г. М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.
5. Kamenetsky F. M., Stettler E. H., Trigubovich G. M. Transient Geo-Electromagnetics / Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. – Munich, 2010. – 296 p., 2010. – 296 с.
6. Шевчук С. О. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2017614500 / Российская Федерация / Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav / С. О. Шевчук, С. В. Барсуков; заявитель и правообладатель

Закрытое акционерное общество «Аэрогеофизическая разведка» (RU); дата поступления 09 янв. 2017 г.; дата регистрации 18 апр. 2017 г.

7. Complex Technology of Navigation and Geodetic Support of Airborne Electromagnetic Surveys / G. M. Trigubovich, S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, and V. N. Nikitin // Gyroscopy and Navigation, 2017, Vol. 8, No. 3, pp. 226–234. – Англ.

8. Шевчук С. О., Барсуков С. В. Навигационное сопровождение аэрогеофизических исследований с использованием программы RouteNav // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 130–137.

9. Шевчук С. О. Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav / Вестник СГУГиТ. – 2017. – № 4. (22). – С. 113–125.

10. CCNS-5 / IGI – Integrated Geospatial Innovations [Electronic Resource] Режим доступа : <http://www.igi-systems.com/ccns-5.html> – Англ.

11. Жодзишский П. Ю., Пухов В. А. Повышение эффективности выполнения аэрогеофизических исследований // Геопрофи. – 2010. – № 2. – С. 23–25.

12. Технологии / ООО «Геолого-геофизическая компания» [Электронный ресурс] Режим доступа : <http://www.geogk.ru/rus/technologies.shtml>.

13. Шевчук С. О., Косарев Н. С., Ганагина И. Г. Применение программы-симулятора в преподавании геодезических и фотограмметрических дисциплин // АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ. Инновационные подходы в образовании. Междунар. науч.-метод. конф. : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 января 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 56–62.

14. Кузин, В. И., Шевчук С. О., Никитин В. Н. Фотограмметрический способ и устройство для определения истинной высоты выносной вертолётной платформы аэрогеофизического комплекса «Импульс-Аэро» // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2013. – № 4/С. – С. 86–92.

15. Шевчук С. О., Косарев Н. С. Применение метода точного точечного позиционирования (PPP) для геодезического обеспечения аэроэлектроразведочных работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 2. – С. 239–244.

16. Вовк И. Г. Геометрическое моделирование движения систем в задачах прикладной геоинформатики // Вестник СГУГиТ. – 2015. – № 2. – С. 72–77.

17. Антонович К. М., Косарев Н. С., Липатников Л. А. Контроль фазовых измерений ГНСС-приемника с атомными часами // Вестник СГУГиТ. – 2014. – № 3. – С. 3–20.

18. Вахрушева А. А. Технологии позиционирования в режиме реального времени // Вестник СГУГиТ. – 2017. – № 1. – С. 170–177.

© С. О. Шевчук, В. Н. Никитин, С. В. Барсуков, 2018

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ ВЫСОТ НАВИГАЦИОННЫХ ГНСС-ПРИЕМНИКОВ

Станислав Олегович Шевчук

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Андрей Хельдурович Мелеск

АО «Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья», 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный пр., 67, ведущий инженер, тел. (383)222-45-86, e-mail: melesk-a-x@rambler.ru

Руслан Игоревич Рындин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, студент, тел. (913) 716-61-30, e-mail: rusya.21.12@mail.ru

В статье рассмотрена проблема определения высот ГНСС-приемниками навигационного класса точности, описан эксперимент с различными моделями ГНСС-аппаратуры на эталонном геодезическом пункте, произведен анализ результатов и сделаны выводы.

Ключевые слова: ГНСС, высота, системы высот, ортометрическая высота, геодезическая высота.

INVESTIGATION HEIGHT SYSTEMS OF NAVIGATION GNSS RECEIVERS

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Engineering Geodesy, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Andrey Kh. Melesk

Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, 67, Krasny Prospect St., Novosibirsk, 630091, Russia, Leading Engineer, phone: (383)222-45-86, e-mail: melesk-a-x@rambler.ru

Ruslan I. Ryndin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Student, phone: (913)716-61-30, e-mail: rusya.21.12@mail.ru

The article considers the problem of determining the altitudes of GNSS receivers of navigation accuracy class. The experiment with various models of GNSS equipment at a reference geodetic point is described. The results are analyzed and conclusions are drawn.

Key words: GNSS, height, height systems, orthometrical height, geodetic height.

Знание высот точек физической поверхности Земли необходимо для решения целого комплекса фундаментальных и практических задач геодезии:

- изучения отступления физической поверхности Земли от поверхности референц-эллипсоида;
- редуцирования измерений на координатную поверхность (эллипсоид);
- изображения рельефа на различных топографических картах способом горизонталей или с помощью цифровой модели местности;
- изыскания, проектирования и эксплуатации сложных инженерно-технических сооружений;
- изучения вертикальных движений земной коры и т. д. [1].

При этом основная сложность при определении высот точек физической поверхности Земли возникает из-за того, что определение высот непосредственно связано со знанием гравитационного поля Земли [2–4]

$$H_A = \frac{W_O - W_A}{g_A}, \quad (1)$$

где H_A – высота точки А;

W_O – значение потенциала в точке О;

W_A – значение потенциала в точке А;

g_A – конкретное ускорение силы тяжести в точке А.

В зависимости от того, какое ускорение силы тяжести будет стоять в знаменателе, в высшей геодезии выделяют четыре типа высот: нормальная, ортометрическая, геодезическая и динамическая [1, 5]. Первые три типа высот активно используются в ГНСС-технологиях.

При выполнении геолого-геофизических работ точность определения плановых координат и высот зависит от масштаба создаваемой отсчётной карты, и зачастую эта точность составляет несколько метров [6–8]. При таких требованиях к точности выполнения работ разницы между ортометрической высотой, отсчитываемой от поверхности геоида, и нормальной, отсчитываемой от поверхности квазигеоида, не возникает. Тогда нормальная высота точки физической поверхности совпадает с ортометрической высотой и может быть вычислена с помощью формулы

$$H^\gamma = H^T + \zeta, \quad (2)$$

где H^γ – нормальная высота точки физической поверхности;

H^F – геодезическая высота точки физической поверхности, отсчитываемая по нормали от точки до поверхности принятого эллипсоида;

ζ – превышение эллипсоида над квазигеоидом (аномалия высоты), которое учитывается, как правило, с помощью модели глобального геоида EGM2008, имеющей ошибку определения аномалии высоты на уровне ± 20 см [9–11].

В практике выполнения геолого-геофизических работ высоты точек физической поверхности определяются навигационными ГНСС-приёмниками, которые определяют пространственные координаты в общеземной координатной системе отсчета WGS-84 абсолютным методом. Точность абсолютного метода определения плановых координат составляет около 5 метров с доверительной вероятностью 95%, при этом ошибка определения высоты в 1,5–2 раза грубее, чем плана [12, 13].

Выбор такой аппаратуры для выполнения геолого-геофизических работ обосновывается их дешевизной и простотой в применении, а также формальным соблюдением требований, определяемых инструкцией [6] к точности геодезического обеспечения.

В навигационных ГНСС-приёмниках для характеристики высоты применяется единый термин «Высота», вследствие чего может возникать путаница в определении значений высот, выдаваемой такой аппаратурой.

Так, например, в навигаторах фирмы Garmin не конкретизируется не только тип высот, но и способ, которым они получают (а в таких приёмниках могут использоваться барометрические альтиметры, акселерометры и другие средства, позволяющие вносить коррективы в данную величину). Не конкретизирует эту величину и программное обеспечение Garmin MapSource/BaseCamp, служащее для приёма и анализа результатов измерений с приёмников указанной фирмы.

При работе с навигационными трекерами и смарт-антеннами, выдающими измерения в виде стандартного протокола NMEA0183, выводятся высоты «над средним уровнем моря» («above mean sea level») [14], однако при этом не конкретизируется принятая система высот и какой средний уровень моря был взят для отсчёта.

В океанологии выделяют следующие характеристики уровней: средний суточный уровень, средний месячный уровень, средний годовой уровень, средний многолетний уровень (СМУ) [15, 16]. Средний многолетний уровень ассоциируют с поверхностью геоида в районе уровня поста. Сведения о СМУ приводятся в «Таблице приливов», в этой таблице положение уровня СМУ даётся над нулём глубин. В разных странах существует свой нуль глубин [17], поэтому при работе с навигационными ГНСС-приёмниками возникает ряд сложностей, связанных с тем, что пользователь навигационной ГНСС-аппаратуры зачастую не имеет информации о том, какой тип высоты он получает и в какой системе высот он при этом работает. В результате, это приводит к тому, что можно получить грубые значения высот, намного превосходящие допуски по ошибкам определения высот точек физической поверхности, приводимые инструкцией [6] при выполнении конкретного вида геолого-геофизических работ.

Целью данной статьи является исследование систем высот в навигационной ГНСС-аппаратуре при её использовании в геолого-геофизических работах.

Исследования навигационной ГНСС-аппаратуры выполнялись на п. «Потанинский» в феврале 2018 года в режиме накоплений. Сеанс измерений составлял 1 час.

Для исследования были выбраны персональные навигаторы («наладонники») фирмы Garmin различного года выпуска, а также две смарт-антенны китайского производства, технические характеристики которых приведены в табл. 1 [18-20].

Таблица 1

Исследуемая навигационная ГНСС-аппаратура

Наименование характеристики	Приёмники					
	GPSMap 76 CSx	GPSMap 60 CSx	GPSMap 64St	Etrex 30	BT-800	BU 353 Glonass
Тип	Персональный навигатор				Смарт-антенна	
Производитель	Garmin Ltd. (США)				Buestues (КНР)	GlobalSat (Тайвань)
Год выпуска	2006	2006	2014	2011	нет данных	2015
Чипсет	SiRF Star III	SiRF Star III	нет данных	ST Micro- electronics STA 8088 Tesseo II	UBlox M8030	MediaTek MTK MT-3333
Год выпуска чипсета	2004	2004	нет данных	2010	2014	2015
Принимаемые ГНСС	GPS	GPS	GPS, ГЛОНАСС	GPS, ГЛОНАСС	GPS, ГЛОНАСС	GPS, ГЛОНАСС
Количество каналов	12	12	24	24	72	99
Барометр (альтиметр)	есть				нет	
Магнитный компас	двухосный		трёхосный		нет	

В технических характеристиках всех исследуемых навигационных ГНСС-приёмников точность позиционирования в плане была заявлена в среднем не грубее 3–5 м, в то время как точность определения высоты не приводилась.

Для сравнения, выполнялись относительные измерения одночастотной геодезической ГЛОНАСС/GPS аппаратурой Sokkia GSR1700 CSX от станции NSKW сети АБС НСО [21, 22], где установлен двухчастотный ГЛОНАСС/GPS приёмник Leica GRX 1200 Pro.

В настройках всех навигационных приёмников была установлена система координат WGS-84 и установлена запись измерений (трека) с периодичностью 1 секунда. Измерения смарт-антенн велись на планшетный ПК и фиксировались программой RouteNav [23–26].

Для всех приёмников обеспечивался «теплый» старт (то есть, известное приблизительное местоположение и свежий спутниковый альманах) [12,13].

Местоположение пунктов и условия приёма обеспечивали величину VDOP для измерений как GPS, так и совместно ГЛОНАСС и GPS менее 2,0 на протяжении всего сеанса измерений.

Размещение исследуемой аппаратуры на пункте показано на рис. 1.

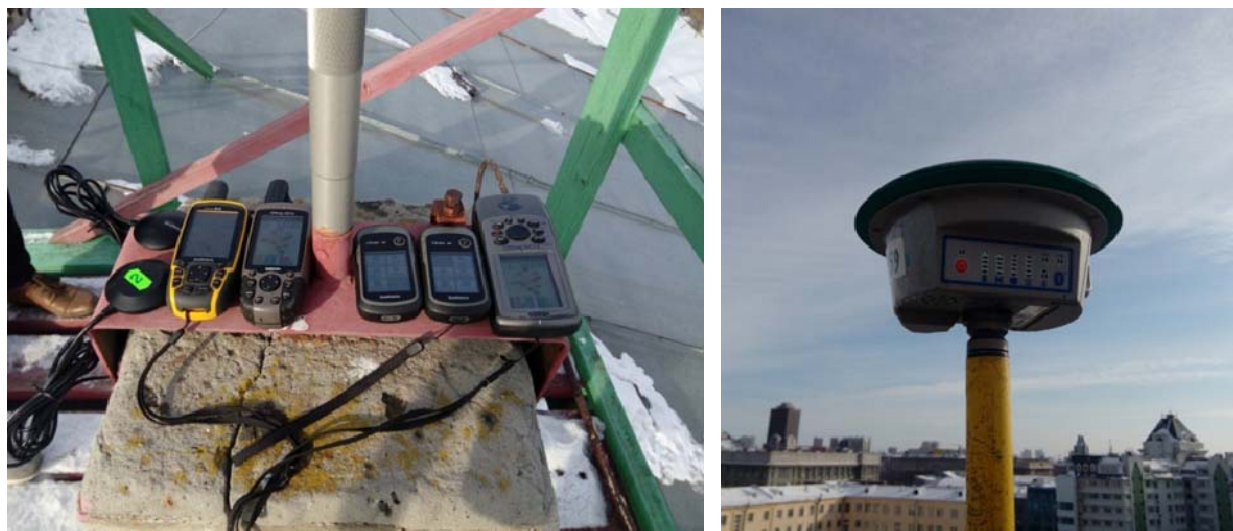


Рис. 1. Размещение навигационных приёмников на п. «Потанинский» (слева), и геодезического приёмника SOKKIA GSR1700 CSX (справа)

Обработка измерений геодезической аппаратурой позволила определить эталонную высоту пункта в Балтийской системе высот (БСВ-77). С учётом превышения антенны над площадкой, на которой размещались приёмники, она составила 175,6 м. Высота над эллипсоидом WGS-84 для пункта составила 139,4 м.

На рисунке 2 приведены графики высот, полученных навигационной аппаратурой в течение часа измерений отдельно для «наладонников» и смарт-антенн. Эталонная высота показана пунктиром.

Из рисунка 2 видна закономерность понижения разброса (дисторсии) измерений у новых двухсистемных (ГЛОНАСС и GPS) моделей наладонников по сравнению с более ранними, принимающими только GPS. Кроме того, можно констатировать, что различным приёмникам необходимо разное время измерений для получения более стабильного решения по высоте.

Приёмник GlobalSat BU 353 Glonass не обновлял значений координат и высот, пока находился в неподвижном состоянии. В процессе эксперимента его положение несколько раз было изменено на 2–3 метра, после чего приёмник возвращался обратно (с 9:32 по 9:38). Такие манипуляции заставляли приёмник обновлять координаты и высоту, однако, как только приёмник становился неподвижным, изменения прекращались.

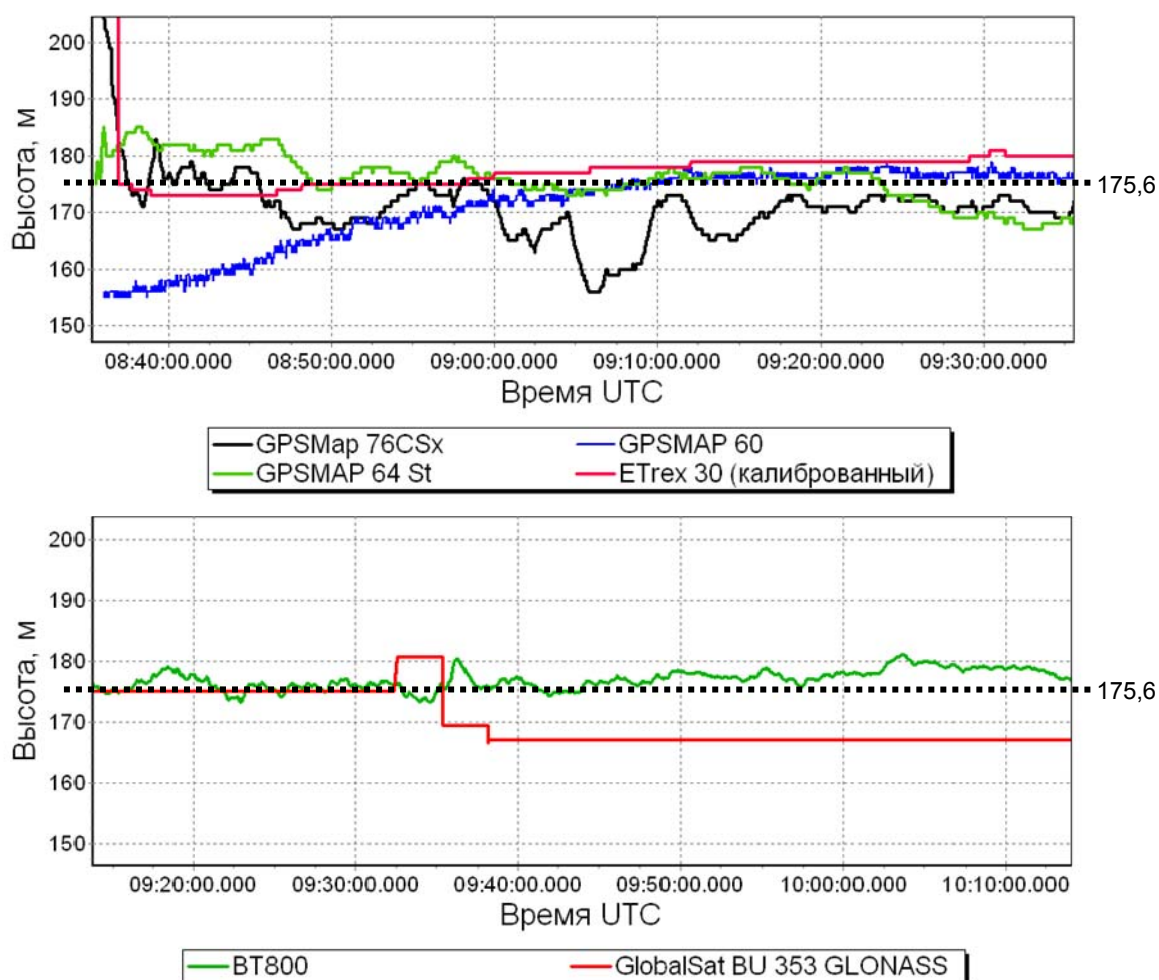


Рис. 2. Результаты измерения высоты навигационными спутниковыми приёмниками на п. «Потанинский»

Это может объясняться наличием дополнительных датчиков в устройстве приёмника, служащих для более точного восстановления траектории движения, однако затрудняющих выполнение статических измерений.

По этой причине, результаты оценки точности для данного приёмника не могут считаться корректными, и в таблицах приводятся в скобках.

В табл. 2 приведены значения средних высот, полученные различными приёмниками с исключением первых 5 минут измерений, когда имели место грубые погрешности измерений.

Очевидно, что высоты выводятся над средним уровнем моря (mean sea level), в системе высот, близкой (в масштабах 5–6 м) к БСВ-77. Это означает, например, что при дальнейшем пересчёте координат и высот, например в СК-42 или СК-95, необходимо учитывать их тип (в различных программах пересчёта, таких как Photomod GeoCalc, как правило, по умолчанию подразумевается геодезическая высота).

Погрешности, полученные в результате эксперимента, приведены в табл. 3.

Таблица 2

Средние высоты п. «Потанинский» в метрах,
полученные навигационными ГНСС-приёмниками

Период измерений	Приёмники					
	GPSMap 76 CSx	GPSMap 60 CSx	GPSMap 64St	Etrex 30	BT-800	BU 353 Glonass
Весь сеанс (60 мин.)	170,8	170,9	175,9	177,7	176,8	(171,7)
Сеанс без учета первых 5 мин.	170,0	172,1	175,7	177,1	176,7	(171,5)

Таблица 3

Погрешности определения высоты п. «Потанинский»
навигационными ГНСС-приёмниками

Приёмник	Погрешности (относительно средней высоты), м			Погрешности (относительно эталонной высоты), м		
	Средняя	Предельная	СКП	Средняя	Предельная	СКП
Персональные навигаторы («наладонники»)						
GPSMap 76 CSx	0,8	-14,6	4,4	-5,6	-19,6	7,1
GPSMap 60 CSx	-0,1	-14,1	5,6	3,2	18,5	6,5
GPSMap 64St	-0,2	-8,6	3,6	0,0	8,5	3,8
Etrex 30	0,1	-4,1	2,3	-1,8	-5,5	2,9
Смарт-антенны						
BT800	0,0	-4,7	1,5	-3,8	-9	1,9
BU 353 Glonass	(0,2)	(9,0)	(3,9)	(1,2)	(5,5)	(5,5)

СКП приводятся для сеанса без первых 5 минут наблюдений, когда для приёмников GPSMap 60, GPSMap 76 CSx и Etrex 30 наблюдались грубые выбросы в измерениях высоты.

В табл. 3 приведены погрешности относительно средней высоты (СКП оценивалась по формуле Бесселя) и относительно высоты, определённой геодезическим спутниковым приёмником и принятой за эталонную (СКП оценивалась по формуле Гаусса). Такие оценки позволяют сделать вывод как относительно погрешностей получения высот исследуемой аппаратурой, так и о соответствии используемой системы высот БСВ-77.

Результаты оценки СКП и погрешностей для приёмника GlobalSat, в силу его непригодности под работу в режиме статики, являются условными. Для более корректной оценки точности в дальнейшем будут проведены дополнительные кинематические испытания.

Кроме того, важно учитывать, что исследуемый пункт находился в условиях открытого радиогоризонта. Дальнейшие исследования будут выполнены в ус-

ловиях залесённости и городских каньонов. Такие условия зачастую имеют место при навигационном обеспечении геолого-геофизических работ.

В целом, на данном этапе исследований могут быть сделаны следующие выводы:

- приёмники Garmin выдают высоты над средним уровнем моря (mean sea level);
- по результатам испытаний для конкретного участка работ, системы высот навигаторов и БСВ-77 могут быть приняты одинаковыми в масштабе точности исследуемой аппаратуры;
- СКП определения высоты для персональных навигаторов в условиях открытого радиогоризонта находится в пределах 7 м для моделей на чипе SiRF Star III, и в пределах 4 м для более современных моделей;
- при обеспечении «тёплого» старта, необходимо выполнять позиционирование не менее 5 минут для исключения грубых погрешностей по высоте;
- не все навигационные приёмники подходят для определения координат статичных пунктов (например, GlobalSat BU 434 Glonass не менял координаты при статических наблюдениях).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Телеганов Н. А., Елагин А. В. Высшая геодезия и основы координатно-временных систем [Текст] : учеб. пособие рекомендовано УМО. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 238 с.
2. Еремеев В. А., Юркина М. И. Теория высот в гравитационном поле Земли. – М. : Недра, 1971. – 144 с.
3. Определение разности потенциалов силы тяжести и высот в геодезии посредством гравиметрических и спутниковых измерений / В. Ф. Канушин, А. П. Карпик, Д. Н. Голдобин и др. // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 3 (31). – С. 45–52.
4. Chronometric measurement of orthometric height differences by means of atomic clocks / S. M. Kopeikin, V. F. Kanushin, A. P. Karpik et al. // Gravitation and Cosmology. – 2016. – Vol. 22, No. 3. – P. 234–244.
5. Мазуров Б. Т. Высшая геодезия : учебник. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 202 с.
6. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
7. Глаголев В. А. Спутниковое навигационно-геодезическое обеспечение геолого-геофизических исследований. – СПб. : ВИРГ-Рудгеофизика, 2000. – 116 с.
8. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ : метод. рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.
9. Pavlis N. K., Holmes S. A., Kenyon S. C., Factor J. K. An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008 / EGU General Assembly 2008. – Vienna, Austria, April 13–18, 2008.
10. Непоклонов В. Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. – 2009. – № 3 (34). – С. 28–35.
11. Карпик А. П., Гиенко Е. Г., Косарев Н. С. Анализ источников погрешностей преобразования координат пунктов спутниковых геодезических сетей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъёмка. – 2014. – № S4. – С. 55–62.
12. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с.

13. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ : метод. рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев / Науч. ред. А. Г. Прихода. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.
14. NMEA Data / GNSS Information [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm> – Англ.
15. Безруков Ю. Ф. Океанология. Ч. II. Динамические явления и процессы в океане. – Симферополь : Таврический национальный университет им. В. И. Вернадского, 2006. – 123 с.
16. Смирнов Г. Н. Океанология : учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1987. – 407 с.
17. Комаровский Ю.А. Использование различных референц-эллипсоидов в судовождении : учеб. пособие. Изд. второе, перераб. и дополн. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2005. – 341 с.
18. Hiking and Handhelds / Garmin [Electronic resource]. – Режим доступа: <https://buy.garmin.com/en-US/US/c12521-p1.html> – Англ.
19. List of Garmin products / Wikipedia – Free encyclopedia [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Garmin_products – Англ.
20. BU 353G User Manual Russian/ GlobalSat Inc [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Garmin_products.
21. Государственное бюджетное учреждение «Центр навигационных и геоинформационных технологий Новосибирской области» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rtk.nso.ru/>.
22. Карпик А. П., Решетов А. П., Струков А. А. Определение координат пунктов сети базовой станций Новосибирской области // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск : СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 9–15.
23. Trigubovich G. M. Complex Technology of Navigation and Geodetic Support of Airborne Electromagnetic Surveys / G. M. Trigubovich, S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, and V. N. Nikitin // Gyroscopy and Navigation, 2017, Vol. 8, No. 3, pp. 226–234. – Англ.
24. Шевчук С. О., Барсуков С. В. Навигационное сопровождение аэрогеофизических исследований с использованием программы RouteNav // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 130–137.
25. Шевчук С. О. Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav // Вестник СГУГиТ. – 2017. – № 4 (22). – С. 113–125.
26. Шевчук С. О., Косарев Н. С. Ганагина И. Г. Применение программы-симулятора в преподавании геодезических и фотограмметрических дисциплин // АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ОБРАЗОВАНИЯ. Инновационные подходы в образовании. Междунар. науч.-метод. конф. : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 23–27 января 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 56–63.

© С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, А. Х. Мелеск, Р. И. Рындин, 2018

ПРОБЛЕМЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Карина Ивановна Малютина

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

Станислав Олегович Шевчук

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Кирилл Владимирович Киселев

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, ул. Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, инженер-геофизик, тел. (913)203-92-41 e-mail: kiselev@aerosurveys.ru

В статье приведен обзор проблем навигационно-геодезического обеспечения электромагнитного геофизического сканирования масштабов крупнее 1: 50 000. Рассмотрены некоторые возможные пути решения указанных вопросов.

Ключевые слова: ГНСС, электромагнитное сканирование, навигация, геодезическое обеспечение, редуцирование, геофизика, многопутность.

PROBLEMS OF GEODETIC SUPPORT OF ELECTROMAGNETIC SCANNING

Karina I. Malyutina

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

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Engineering Geodesy, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Kirill V. Kiselev

CJSC «Aerogeophysical Surveys», 4, Oktyabrskaya Magistral St., of. 1207, Novosibirsk, 630007, Russia, Geophysicist, phone: (913)203-92-41, e-mail: kiselev@aerosurveys.ru

The article considers the problems of navigation and geodetic support of electro-magnetic geophysical scanning with the survey scales higher than 1:50 000. Some of the possible ways of solving the issues are proposed.

Key words: GNSS, electro-magnetic scanning, navigation, geodetic support, reductions, geophysics, multipath.

Введение. Электромагнитное сканирование (ЭМС) представляет собой разновидность геофизических исследований, которое широко применяется для решения задач, возникающих в инженерных, изыскательных и археологических работах. ЭМС осуществляется специальными измерительными комплексами, имеющими различные размеры, как правило, методом становления электромагнитного поля [1–2].

На рис. 1 приведены примеры измерительных комплексов ЭМС.



Рис. 1. Примеры генераторно-измерительных комплексов:

а) буксируемая приемно-генераторная конструкция; б) переносная платформа

На рис. 1, а показан генераторно-измерительный комплекс (ГИК) 2×10 м, закрепленный на пневматическом надувном каркасе. ГИК применяется для выполнения электромагнитных съемок вплоть до масштаба 1:5000. На рис. 1, б

показан переносной 1,5×1,5 м ЭМС-комплекс для детального сканирования масштаба 1:2000 и крупнее.

Навигационно-геодезическое обеспечение является важным и необходимым компонентом при выполнении электромагнитного сканирования.

Исходя из специфики ЭМС, могут быть выделены следующие основные задачи навигационно-геодезического обеспечения генераторно-измерительных комплексов:

- топографо-картографическое обеспечение (подбор необходимых навигационных карт и топографической основы, выбор пунктов ГГС для точного позиционирования и т.п.);

- навигационное обеспечение ЭМС (контроль выдерживания профилей в реальном времени по определяемым координатам измерителя и проектным координатам точек профилей);

- геодезическое обеспечение (апостериорное получение точных координат пунктов измерений – фактического местоположения измерителя для обработки геофизических измерений).

В настоящее время, в силу совершенствования измерительной и вычислительной аппаратуры, к ЭМС ставятся все новые жесткие требования, которые в свою очередь приводят к необходимости повышения точности навигационно-геодезического обеспечения данных работ и к проблемам, требующим решений на современном уровне развития науки и техники.

Целью данной статьи является освящение ряда проблем, которые возникают при навигационно-геодезическом обеспечении электромагнитного сканирования.

Первая проблема. *Неопределенность требований к точности измерения координат при геодезическом обеспечении ЭМС*, которая заключается в следующем.

Критерии к допустимым погрешностям геофизической съемки могут быть заданы двумя путями – в соответствии с действующими инструкциями или по требованиям технического задания на съемку.

В соответствии с Инструкцией [3], погрешность электроразведочных работ, проводимых методом становления электромагнитного поля должны выполняться со среднеквадратичной погрешностью (СКП), показанной в таблице.

Требования к точности определения пунктов геофизических наблюдений
при электроразведочных работах, проводимых методом
становления электромагнитного поля

Масштаб отчетной карты	СКП определения положения пунктов наблюдений, м		
	В плане		По высоте
	равнина	горные районы	
1: 200 000	160	200	1/50 от глубины опорного горизонта
1: 100 000	80	100	
1: 50 000	40	50	

Важно отметить, что глубина опорного горизонта зачастую неизвестна заранее, поэтому требования к высотным измерениям обычно задаются техническим заданием (ТЗ). Глубина опорного горизонта при выполнении ЭМС варьируется от единиц до десятков метров, как следствие СКП определения высот при такой глубине опорного горизонта находится в пределах первых дециметров, а при глубинах менее 10 м – в пределах первых сантиметров.

В инструкции [3] приведены требования к масштабам съемки не крупнее 1:50 000. Для более крупных масштабов таблица 1 может быть дополнена с соблюдением очевидной закономерности 0,8 мм и 1 мм масштаба отчетной карты для равнинной и горной местности соответственно, однако следует учитывать, что эти закономерности не регламентированы существующими инструкциями.

Кроме того, требования к точности определения координат и высот могут быть рассчитаны по эмпирическим и модельным исследованиям влияния погрешностей на результат измерений. Пример такого моделирования показан в публикациях [4, 5].

Вторая проблема. *Обеспечение точности геодезического обеспечения в условиях проведения ЭМС.*

В настоящее время геодезическое обеспечение ЭМС проводится с использованием ГНСС-аппаратуры различного класса. Так как процесс электромагнитного сканирования производится в движении, то ГНСС-аппаратура должна функционировать в кинематическом режиме. Для съемок масштаба мельче 1:10 000 с опорным горизонтом глубже 500 м используются, как правило, навигационные ГНСС-приемники, имеющие СКП определения координат около 5 м в плане и 10 м по высоте при доверительной вероятности 95% [6–9]. Для детальных съемок в масштабе 1:10 000 и крупнее должна применяться кодовом-фазовая ГНСС-аппаратура геодезического класса, заявленная точность которых в относительном режиме составляет первые единицы сантиметров в кинематическом режиме [6–9]. В условиях отсутствия объектов, загораживающих прием спутниковых сигналов для ГНСС-приемника, а также объектов, вызывающих переотражения спутниковых сигналов, указанные точности выдерживаются.

Однако ЭМС зачастую выполняется в залесенной местности и в условиях «городских каньонов», что в свою очередь влечет за собой значительное понижение точности определения координат [6–12]. Причем в аппаратуре геодезического класса зачастую происходят срывы за слежение фаз несущих сигналов. Эти срывы приводят к появлению неконтролируемых погрешностей, вплоть до полного отсутствия решений [10–12]. Вопросам минимизации влияния срывов слежения за фазами несущих сигналов и наличия переотраженных сигналов при ГНСС-измерениях посвящен ряд исследований и разработок [14–17].

Кроме инструментальных погрешностей и погрешностей среды распространения сигналов существенное влияние на результаты определения координат оказывает используемое при обработке ГНСС-измерений программное обеспечение [18, 19].

Третья проблема. *Понижение точности за счет неучета или частичного учета элементов редукации.* Данная проблема связана с необходимостью введе-

ния поправок в координаты и высоту антенны ГНСС-приемника для перехода к координатам и высотам измеряемой точки.

Так как разместить ГНСС-антенну непосредственно в центре приемной антенны ПГК не представляется возможным, то она закрепляется на некотором расстоянии, величина которого будет приводить к ошибкам в плане и по высоте при неучете элементов редукции. Причем ГНСС-антенна должна быть максимально приподнята над остальной конструкцией для обеспечения лучшей видимости спутников и меньшего влияния переотраженных сигналов.

На рис. 2 показан пример размещения ГНСС-антенны на приемно-генераторной конструкции.

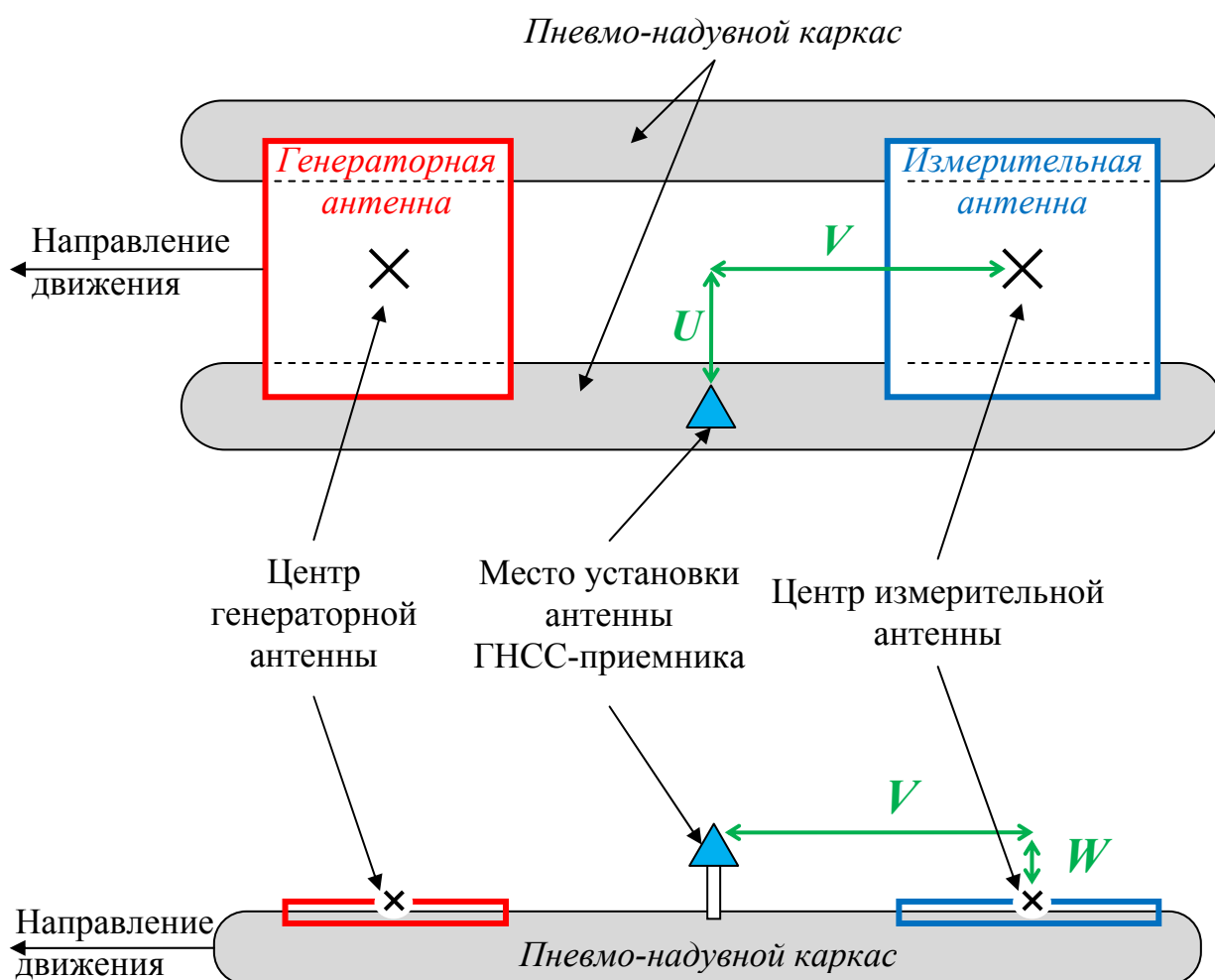


Рис. 2. Схема установки приемника ГНСС на ГИК (вид сверху и сбоку)

На рис. 2 показаны плановые элементы редукции U , V , измеряемые поперек и вдоль продольной оси конструкции. Третий элемент редукции W измеряется по высоте как разность высоты антенны спутникового приемника и высоты приемной антенны электромагнитной системы при ее горизонтальном положении.

Связь координат и высот точки центра измерительной антенны и координат и высот точек антенны ГНСС-приемника определяется формулой

$$X_{Ц} = X_A + \Delta X; Y_{Ц} = Y_A + \Delta Y; H_{Ц} = H_A + \Delta H,$$

где $X_{Ц}, Y_{Ц}, H_{Ц}$ – координаты и высоты точки центра измерительной антенны,
 X_A, Y_A, H_A – координаты и высоты точек антенны ГНСС-приемника,
 $\Delta X, \Delta Y, \Delta H$ – поправки за линейные элементы редукции (смещения).

Поправки за линейные элементы редукции U, V, W с учетом углов крена η , тангажа Θ и курса ε , от точки A фазового центра антенны к точке редуцирования рассчитываются как

$$\begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} = A_{\varepsilon\eta\theta} \begin{bmatrix} U \\ V \\ W \end{bmatrix},$$

где $A_{\varepsilon\eta\theta}$ – матрица направляющих косинусов, образованная углами крена η , тангажа Θ и курса ε .

Углы крена, тангажа и курса могут быть получены с помощью инерциальных навигационных систем (ИНС) или трехатенной аппаратуры (например, Javad Sigma) [20].

Полный неучет элементов редукции даст абсолютную погрешность в пределах от $-\Delta_{XY}$ до $+\Delta_{XY}$ в плане и от $-\Delta_H$ до $+\Delta_H$ по высоте. Если считать, что углы крена и тангажа не превысят 45° , то эти погрешности могут быть оценены по формулам

$$\Delta_{XY} \approx \sqrt{U^2 + V^2}; \Delta_H \approx \frac{\sqrt{2}}{2} W.$$

Четвертая проблема. *Отсутствие регламентирующей документации по навигационному обеспечению ЭМС и супервайзерской оценке результатов ЭМС.*

Главной задачей навигационного обеспечения ЭМС является выдерживание движения вдоль заданного профиля, что может выполняться различными методами.

В некоторых случаях выполняется предварительное вешение и прорубка просек, что значительно облегчает навигацию при ЭМС, однако, существуют ситуации, когда линия профиля не задана однозначно на местности. Тогда могут использоваться навигационные ГНСС-приемники или, в редких случаях, буссоли.

Для повышения удобства навигации посредством кодовой ГНСС-аппаратуры могут использоваться специализированные навигационные комплексы. В частности, может быть адаптирован под наземные работы навигаци-

онный комплекс RouteNav, позволяющий оценивать отклонения от проектных маршрутов, автоматически изменять выбранный маршрут и проводить оценку качества выдерживания маршрутов [21–23].

Выводы: Таким образом, можно констатировать, что технология навигационно-геодезического обеспечения ЭМС требует усовершенствования как минимум по четырем обширным направлениям:

- определение и регламентация требований к точности геодезических измерений для съемки масштабов крупнее 1:50 000;
- выбор аппаратуры и метода получения координат и высот пунктов измерений, адаптированной под измерения в условиях многопутности;
- усовершенствование методов учета редуций;
- разработка автоматизированного навигационного комплекса.

Все указанные направления требуют дополнительных исследований и выбора решений, которые позволят выполнять качественное определение навигационных и геодезических параметров ЭМС крупных масштабов, и, как следствие, получать более качественный материал.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kamenetsky F. M. Transient Geo-Electromagnetics / F. M. Kamenetsky, E. H. Stettler, G.M. Trigubovich. – Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. – Munich, 2010. – 296 p., 2010. – 296 с.
2. Тригубович Г. М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.
3. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
4. Навигационно-геодезическое обеспечение аэрогеофизических исследований / Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, А. А. Белая [и др.] // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2013. – № 2. – С. 61–69.
5. Шевчук С. О. Навигационное и геодезическое обеспечение аэроэлектромагнитных исследований с подвесной вертолётной платформой // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2012. – № 2. – С. 72–75.
6. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с.: ил.
7. Hofmann-Wellenhof B. GNSS - Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle – Wien, New-York: Springer. – 2008. – 516 p. – Англ.
8. El-Rabbany, Ah. Introduction to GPS / Ah. El-Rabbany. – British Library Cataloguing in Publication Data. – 2002. – 176 p. – Англ.
9. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ: Методические рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев / Науч. ред. А. Г. Прихода. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.
10. Михайлов С. В. Влияние многолучевости распространения радиоволн от навигационного космического аппарата на точность определения координат GPS-приемником // Беспроводные технологии. – 2006. – № 2. – С. 60–71.
11. Weil L R. Conquering multipath: GPS Accuracy Battle [Text] GPS World. – 1997. – № 4. – P. 59–66. – Англ.

12. Groves P. D. Multipath vs NLOS signals [Text] Inside GNSS. – 2013. – № 6. – P. 40–44. – Англ.
13. ГОСТ 32453-2013 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М. : Стандартинформ, 2013. – 19 с.
14. Антонович К. М., Косарев Н. С., Липатников Л. А. Контроль фазовых измерений ГНСС-приемника с атомными часами // Вестник СГУГиТ. – 2014. – № 3. – С. 3–20.
15. Xia L. Approach for multipath reduction using wavelet algorithm [Text] Proceedings of International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. – P. 2134–2143. – Англ.
16. Liu H. Variable length LMS adaptive filter for carrier phase multipath Mitigation / H. Liu, X. Li, L. Ge, C. Rizos, and F. Wang // GPS Solutions. – 2011. – Vol. 15. – P. 29–38. – Англ.
17. Косарев Н. С. Восстановление фазы несущей: проблемы и пути решения // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 53–60.
18. 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.
19. Малютина К. И., Шевчук С. О. Сравнение бесплатной программы RTKLib с коммерческим программным обеспечением для постобработки ГНСС-измерений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 113–124.
20. Шевчук С. О., Косарев Н. С. Алгоритм определения пространственных углов аэрогеофизической платформы // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 24. – С. 37–47.
21. Шевчук С. О., Барсуков С. В. Навигационное сопровождение аэрогеофизических исследований с использованием программы RouteNav // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 130–137.
22. Шевчук С. О. Программа для навигационного обеспечения аэрогеофизических работ RouteNav // Вестник СГУГиТ. – 2017. – № 4 (22). – С. 113–125.
23. Complex Technology of Navigation and Geodetic Support of Airborne Electromagnetic Surveys / G. M. Trigubovich, S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, and V. N. Nikitin // Gyroscopy and Navigation, 2017, Vol. 8, No. 3, pp. 226–234. – Англ.

© К. И. Малютина, С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, К. В. Киселев, 2018

ВЛИЯНИЕ МНОГОПУТНОСТИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Станислав Олегович Шевчук

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры космической и физической геодезии, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Карина Ивановна Малютина

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

Кирилл Владимирович Киселев

ЗАО «Аэрогеофизическая разведка», 630007, Россия, г. Новосибирск, ул. Октябрьская магистраль, 4, оф. 1207, инженер-геофизик, тел. (913)203-92-41 e-mail: kiselev@aerosurveys.ru

Виталий Михайлович Жидов

Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, Россия, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, кандидат технических наук, доцент кафедры «Инженерная геодезия», тел. (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

В статье приведен обзор проблемы многопутности при геодезическом обеспечении электромагнитного сканирования посредством фазовой ГНСС-аппаратуры, показаны результаты эксперимента, даны возможные варианты решения.

Ключевые слова: ГНСС, электромагнитное сканирование, геодезическое обеспечение, геофизика, многопутность.

INFLUENCE OF MULTIPATH EFFECTS ON GEODETIC SUPPORT OF ELECTROMAGNETIC SCANNING

Stanislav O. Shevchuk

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Engineering Geodesy, phone: (903)936-78-53, e-mail: staspp@211.ru

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Space and Physical Geodesy, phone: (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Karina I. Malyutina

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

Kirill V. Kiselev

CJSC «Aerogeophysical Surveys», 4, Oktyabrskaya Magistral St., of. 1207, Novosibirsk, 630007, Russia, Geophysicist, phone: (913)203-92-41, e-mail: kiselev@aerosurveys.ru

Vitaly M. Zhidov

Siberian Transport University, 191, Dusi Kovalchuk St., Novosibirsk, 630049, Russia, Ph. D., Associate Professor at the Department of Engineering Geodesy, phone: (913)898-41-95, e-mail: zhidov@mail.ru

The article considers the problems of geodetic support of electro-magnetic geophysical scanning with phase GNSS receivers because of multipath effects. The results of the experiments are given. Some of the possible ways of solving the issues are proposed.

Key words: GNSS, electro-magnetic scanning, geodetic support, geophysics, multipath.

Электромагнитное сканирование (ЭМС) – это разновидность геофизических исследований, широко применяемая при инженерных, изыскательных и археологических работах.

ЭМС осуществляется специальными измерительными комплексами различных размеров методом становления электромагнитного поля [1–2].

Навигационно-геодезическое обеспечение электромагнитного сканирования (ЭМС) включает в себя ряд мероприятий по обеспечению картографическими материалами, подготовке на местности точек геологоразведочных наблюдений, определению планово-высотного положения измеряемых пунктов.

Если рассматривать задачи геодезического обеспечения ЭМС отдельно от задач навигации, то их решение сводится к определению координат измерительной антенны приемно-генераторной конструкции (ПГК) с заданной (в зависимости от масштаба съемки) точностью. Причем требования к точности определяются техническим заданием, и не могут быть грубее требований, определенных инструкцией [3].

В настоящее время геодезическое обеспечение ЭМС проводится с использованием аппаратуры глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), функционирующей в кинематическом режиме. При этом для съемок масштаба мельче 1:10 000 с опорным горизонтом глубже 500 м используются, как правило, навигационные ГНСС-приемники, имеющие погрешность (СКП) в среднем на уровне 5 м в плане и 10 м по высоте [4–7].

Для детальных ЭМС масштабов 1:10 000 и крупнее должна применяться кодово-фазовая аппаратура ГНСС геодезического класса точности, заявленная точность которых в относительном режиме заявлена на уровне единиц сантиметров [4–7].

В условиях отсутствия объектов, загораживающих прием спутниковых сигналов для ГНСС-приемника, а также объектов, вызывающих переотражения спутниковых сигналов, указанные точности при прочих равных условиях могут выдерживаться.

Однако ЭМС зачастую выполняется в залесенной местности и в условиях «городских каньонов», что влечет за собой значительное понижение точно-

сти [4–10], причем аппаратура геодезического класса точности более чувствительна к данным явлениям за счет необходимости постоянного слежения за фазами несущих спутников.

При испытаниях комплекса ЭМС, проводившихся в ноябре 2017 г., были получены данные, наглядно демонстрирующие данное утверждение.

Испытания проводились в черте г. Новосибирска на тестовом участке 500×700 м, разбитым на профили через 10 м. Особенность участка заключалась в том, что на началах и концах профилей располагались границы лесополос (высота деревьев 15–20 м). Сканирование производилось переносной платформой, предназначенной для детальной съемки методом ЭМС. Примерные габариты переносной платформы составляют $1,5 \times 1,5$ м, которая показана на рис. 1.



Рис. 1. Переносная приемно-генераторная конструкция

На переносной ППК размещался двухчастотный GPS/ГЛОНАСС приемник NovAtel DL-V3 с авиационной ГНСС-антенной. На п. «Потанинский» (АО «СНИИГТиМС») устанавливалась базовая станция Leica Viva GS10. После размещения ГНСС-аппаратуры на переносной ППК выполнено сканирование по заранее разбитым профилям на тестовом участке. По результатам сканирования были получены кинематические измерения, которые затем обрабатывались относительным методом и методом PPP в программах Topcon Tools и Waypoint GrafNav, соответственно. На рис. 2 показаны результаты обработки кинематических данных.

Из рис. 2 видно, что на началах и концах профилей, где располагается граница лесополос, ГНСС-измерения обрабатывались менее качественно, чем в местах с открытым радиогоризонтом.

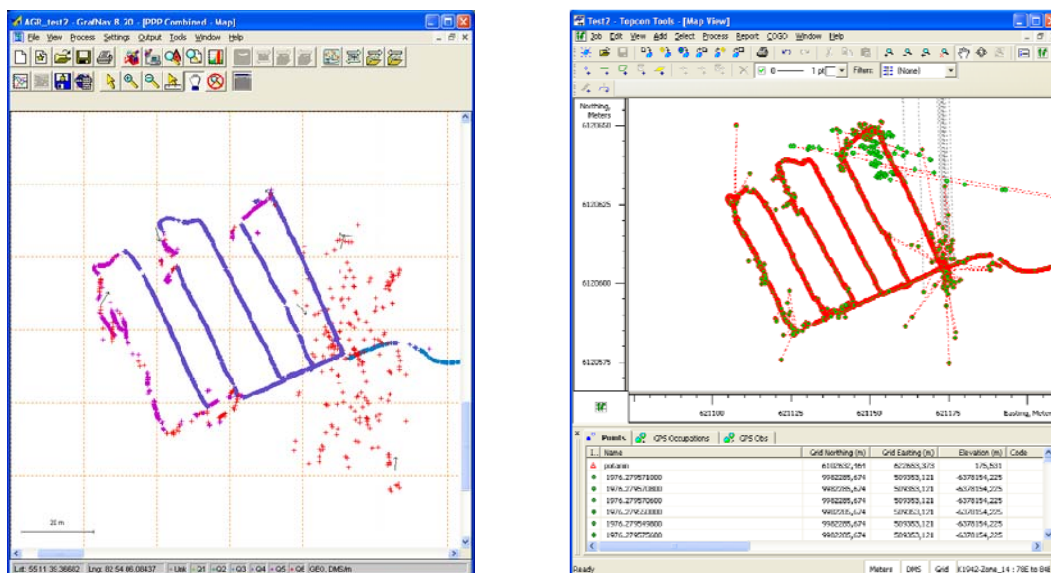


Рис. 2. Обработка ГНСС-измерений на тест-объекте в различных программных продуктах

Одновременно с высокоточными ГНСС-измерениями дополнительно велась запись кодовым навигационным ГЛОНАСС/GPS приемником. Его измерения оказались менее подверженными влиянию закрытого радиогоризонта и многопутности.

На рис. 3 приведены результаты сравнений траекторий, полученных кодовым навигатором и геодезической ГНСС-аппаратурой.

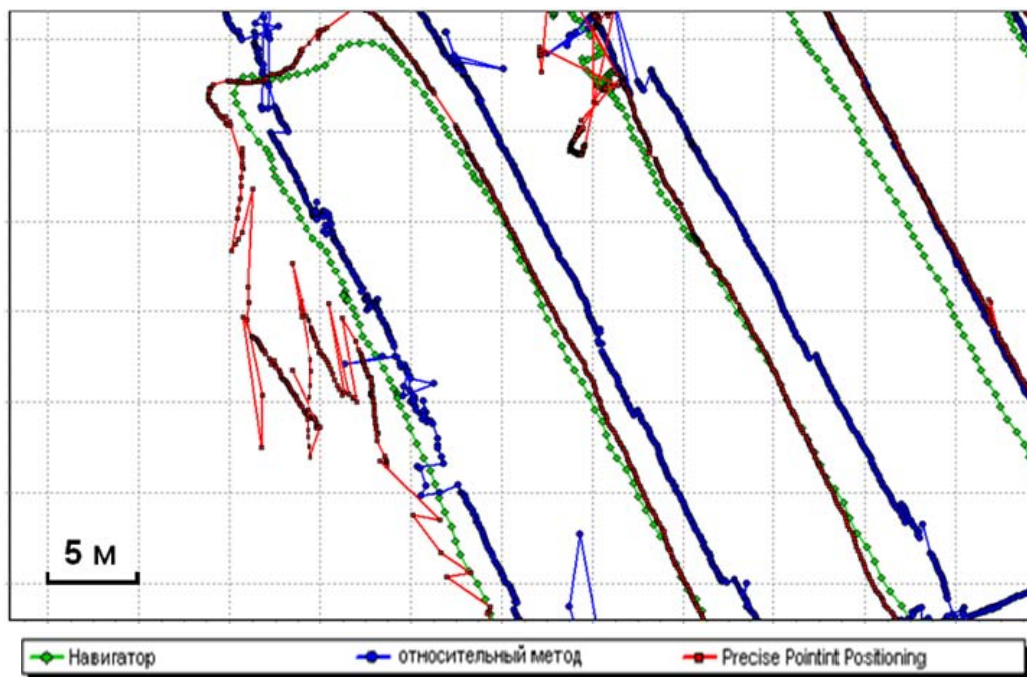


Рис. 3. Сравнение траекторий, полученных кодовым навигатором и геодезической ГНСС-аппаратурой с обработкой различными методами

Наличие грубых выбросов в решениях, полученных ГНСС-приемником геодезического класса, объясняется наличием срывов в наблюдениях фазы несущей вследствие низкого расположения антенны, многопутности и наличия объектов местности, заслоняющих радиогоризонт [8–10]. Вопросам минимизации влияний срывов слежения фазы и наличия переотражённых сигналов при ГНСС-измерениях посвящен ряд исследований и разработок [11–17].

Другой возможной причиной наличия грубых выбросов являются плохие результаты обработки, полученные в коммерческих программных продуктах [18–19].

Систематический сдвиг траекторий, полученных относительным методом, объясняется несоответствием параметров пересчета из WGS-84 в СК-95 по ГОСТ [20]. При использовании локальных параметров, данный систематический сдвиг полностью устраняется.

Выводы: Аппаратура геодезического класса точности при отсутствии программно-аппаратных средств минимизации влияния срывов слежения фазы и при наличии многопутности, не обеспечивает точности, заявленной в ее характеристиках.

Для получения заявленной точности ГНСС-аппаратурой геодезического класса необходимо:

- выбрать ГНСС-аппаратуру, оснащенную специальными антеннами, подавляющими многопутность [11];
- комплексовать ИНС/ГНСС с использованием специальных алгоритмов восстановления срывов наблюдения фазы [12, 13];
- использовать специальные математические алгоритмы при постобработке, основанные на различных фильтрах и анализе данных [14–17, 21];
- фильтровать данные, полученные ГНСС-аппаратурой геодезического класса, данными с кодового ГНСС-приемника.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kamenetsky F. M. Transient Geo-Electromagnetics / F.M. Kamenetsky, E.H. Stettler, G.M. Trigubovich. – Англ. – Ludwig-Maximilian-University of Munich. Dept. of the Earth and Environmental Sciences. Section Geophysics. - Munich, 2010. - 296 p., 2010. – 296 с.
2. Тригубович Г. М. Инновационные поисково-оценочные технологии электроразведки становлением поля воздушного и наземного базирования // Разведка и охрана недр. – 2007. – № 8. – С. 80–87.
3. Инструкция по топографо-геодезическому и навигационному обеспечению геологоразведочных работ. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 1997. – 106 с.
4. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии : монография. В 2 т. Т. 2. – М. : Картгеоцентр, 2006. – 360 с.: ил.
5. Hofmann-Wellenhof, B. GNSS - Global Navigation Satellite Systems GPS, GLONASS, Galileo and more / B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger, E. Wasle – Wien, New-York: Springer. – 2008. – 516 p. – Англ.
6. El-Rabbany, Ah. Introduction to GPS / Ah. El-Rabbany. – British Library Cataloguing in Publication Data. – 2002. – 176 p. – Англ.
7. GPS-технология геодезического обеспечения геологоразведочных работ: Методические рекомендации / А. Г. Прихода, А. П. Лапко, Г. И. Мальцев, И. А. Бунцев / Науч. ред. А. Г. Прихода. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2008. – 274 с.

8. Михайлов С. В. Влияние многолучевости распространения радиоволн от навигационного космического аппарата на точность определения координат GPS-приемником // Беспроводные технологии. – 2006. – № 2. – С. 60–71.
9. Weil L. R. Conquering multipath: GPS Accuracy Battle [Text] GPS World. – 1997. – № 4. – Р. 59–66. – Англ.
10. Groves P.D. Multipath vs NLOS signals [Text] Inside GNSS – 2013. – № 6. – Р. 40–44. – Англ.
11. Антонович К. М., Косарев Н. С., Липатников Л. А. Контроль фазовых измерений ГНСС-приемника с атомными часами // Вестник СГУГиТ. – 2014. – Вып. 3. – С. 3–20.
12. Yang, H. Global Navigation Satellite System Multipath Mitigation Using a Wave-Absorbing Shield [Text] H. Yang, X. Yang, B. Sun, H. Su // Sensors. - 2016. - 16. 1332. – Англ.
13. Solovyev, A. Assessment of GPS Signal Quality in Urban Environments Using Deeply Integrated GPS/IMU [Text] A. Soloviev, D. Bruckner, F. v. Graas, L. Marti // Proceedings of the ION NTM 2007. San Diego. – Р. 815–828. – Англ.
14. Ford, T. MEMS Inertial on an RTK GPS Receiver: Integration Options and Test Results [Text] T. Ford, J. Hamilton, M. Bobye, J. R. Morrison, B. Kolak // Proceedings of the ION NTM 2003. – Р. 466–477. – Англ.
15. Xia L. Approach for multipath reduction using wavelet algorithm [Text] Proceedings of International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation. – Р. 2134–2143. – Англ.
16. Liu, H., Variable length LMS adaptive filter for carrier phase multipath Mitigation / H. Liu, X. Li, L. Ge, C. Rizos, and F. Wang // GPS Solutions. – 2011. – Vol. 15. – Р. 29–38. – Англ.
17. Yedukondalu, K. Estimation and mitigation of GPS multipath interference using adaptive filtering [Text] K. Yedukondalu, A. D. Sarma, V. Satya Srinivas // Progress In Electromagnetics Research M, 2011. - Vol. 21. - Р. 133–148. – Англ.
18. 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.
19. Малютина К. И., Шевчук С. О. Сравнение бесплатной программы RTKLib с коммерческим программным обеспечением для постобработки ГНСС-измерений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 113–124.
20. ГОСТ 32453-2013 Глобальная навигационная спутниковая система. Системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек. – М. : Стандартинформ, 2013. – 19 с.
21. Косарев Н. С. Восстановление фазы несущей: проблемы и пути решения // Вестник СГГА. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 53–60.

© С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, К. И. Малютина, К. В. Киселев, В. М. Жидов, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

1. <i>А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Н. М. Рябова.</i> Разработка программы геодезического мониторинга деформаций гидротехнического сооружения ГРЭС – двухступенчатого перепада	3
2. <i>С. Р. Горобцов, К. А. Функ.</i> Изучение рельефа дна акваторий геодезическими методами	13
3. <i>В. А. Скрипников, М. А. Скрипникова, Д. А. Бирюкова, В. В. Танюхин.</i> Анализ точности методов определения геометрических параметров технологического оборудования.....	18
4. <i>Н. А. Зуев, А. А. Кобзев.</i> Использование беспилотных авиационных систем при проведении маркшейдерских работ на разработках открытого типа	26
5. <i>В. С. Писарев, Б. Н. Ахмедов, А. Т. Нурмухаметова, А. И. Тарабукин.</i> Построение цифровой модели временных отвалов карьера Борок в программе Agisoft PhotoScan	34
6. <i>А. В. Мареев.</i> Линейная интерполяция топографических поправок к аномалиям силы тяжести за влияние масс внешней области	41
7. <i>В. Г. Сальников, А. С. Горилько, А. М. Астапов, Б. Д. Чебаков.</i> О выборе конструкции пунктов высотной основы на промплощадке тепловых электростанций.....	47
8. <i>В. В. Щербаков, И. А. Бунцев, И. В. Щербаков, В. Д. Астраханцев.</i> Системы автоматизированного управления строительной техникой (САУ-3D)	57
9. <i>В. В. Щербаков, А. А. Земерова, С. А. Комягин, И. А. Попов.</i> Контроль геометрических параметров в процессе строительства и ремонта железных дорог	64
10. <i>В. Д. Астраханцев, И. И. Золотарев.</i> Геосистемы и ВІМ как элементы цифровой экономики	71
11. <i>Л. С. Любивая, К. Г. Квиткевич.</i> Совершенствование технологии создания и использования ортофотоснимков при обновлении цифровых навигационных карт	75
12. <i>О. В. Старостина, В. Н. Долгоносков, Е. В. Ситникова, А. В. Михнев.</i> Оценка рисков возможных обрушений уступов стационарного борта разреза «Богатырь» при проектировании усреднительного угольного склада.....	78
13. <i>М. А. Алтынцев, М. А. Интышева.</i> Совместная обработка данных мобильного лазерного сканирования и цифровой наземной фотосъемки для построения единого массива точек.....	87

14. М. А. Алтынцев, А. М. Макаров. Проблемы автоматизированного определения характерных линий автомобильных дорог по данным лазерного сканирования.....	96
15. А. В. Дубровский, О. О. Симонова. Геодезический мониторинг зданий как инструмент контроля безопасности объекта и обеспечения стабильности кадастровой стоимости.....	105
16. В. М. Гридчин, В. И. Обиденко, Д. А. Чалков, Н. Н. Кобелева. Построение локальной модели геоида с использованием спутниковых и наземных измерений.....	111
17. И. Е. Дорогова, А. И. Мелкова. Сравнение существующих моделей движения Амурской литосферной плиты.....	116
18. И. Е. Дорогова, А. С. Саркисян. Изучение и моделирование вертикальных движений земной коры в районе действующего вулкана.....	123
19. Н. Н. Кобелева, В. С. Хорошилов. Результаты практических исследований прогнозирования перемещений контролируемых точек плотины Саяно-Шушенской ГЭС после аварии 2009 года.....	131
20. Е. А. Селютина, В. С. Хорошилов. Особенности построения математических моделей для изучения процессов деформации оползневых явлений.....	138
21. Д. Н. Голдобин, В. Ф. Канушин, И. Г. Ганагина, Н. С. Косарев, Н. Н. Федотова. Определение допустимой погрешности планового положения пунктов гравиметрической съемки.....	146
22. В. А. Калюжин, Б. Т. Мазуров, В. И. Обиденко, В. В. Черников. Определение географического центра территории в программном обеспечении геоинформационных систем (на примере озера Байкал).....	154
23. В. Г. Колмогоров, Б. Т. Мазуров. Определение дивергенции векторных полей движений земной поверхности.....	165
24. Е. С. Утробина, И. П. Кокорина. Мобильная картография для охотников и рыболовов.....	171
25. А. П. Белоусова, А. В. Тарасов, С. А. Герасимова. Особенности создания земельной информационной системы объектов добывающей промышленности Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции.....	179
26. Г. И. Загребин, С. А. Крылов. Исследование функциональных возможностей геоинформационных систем для создания атласов.....	188
27. Е. Л. Касьянова, М. В. Черкас. Становление отечественного геоморфологического картографирования.....	193
28. Е. Л. Касьянова. История кафедры картографии и геоинформатики. Период 1933–1994 гг.	200
29. И. И. Кищенко, К. В. Красникова. Имитационное моделирование транспортно-пересадочных узлов (на примере г. Новосибирска).....	209
30. А. Д. Савельева, А. К. Оразаева, Ю. Д. Гусаренко. Анализ потенциала ветровой энергии территории Восточно-Казахстанской области с применением цифрового картографирования.....	215

31. В. П. Ступин, Л. А. Пластинин, Б. Н. Олзоев. Морфодинамическое исследование и геоинформационное картографирование зоны влияния Иркутского водохранилища	221
32. Е. С. Черепанова, Л. Н. Ермакова, А. Н. Шихов. Разработка карт распределения биоклиматических индексов на основе данных WorldClim 2.0 (на примере территории Пермского края).....	230
33. А. В. Шевин. Разработка прототипа геопортала кафедры картографии и геоинформатики СГУГиТ	238
34. М. В. Карманова. Многоуровневая кросс-кластерная информационная модель как основа цифровой системы картографического обеспечения региональных органов управления чрезвычайными ситуациями.....	243
35. Д. Ш. Фазилова, А. Ш. Фазилов. Исследование основных составляющих временных рядов изменения координат опорного пункта Майдантал	253
36. Г. М. Тригубович, С. О. Шевчук, А. С. Сверкунов, С. В. Барсуков, Н. С. Косарев. Автоматизированный навигационно-измерительный аэрогеофизический комплекс	257
37. С. О. Шевчук, В. Н. Никитин, С. В. Барсуков. Выполнение навигационного обеспечения наземных и аэрогеофизических работ с использованием современного программно-аппаратного обеспечения	266
38. С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, А. Х. Мелеск, Р. И. Рындин. Исследование систем высот навигационных ГНСС-приемников	276
39. К. И. Малютина, С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, К. В. Киселев. Проблемы геодезического обеспечения электромагнитного сканирования	285
40. С. О. Шевчук, Н. С. Косарев, К. И. Малютина, К. В. Киселев, В. М. Жидов. Влияние многопутности на результаты геодезического обеспечения электромагнитного сканирования.....	293

CONTENTS

1. <i>A. V. Nikonov, I. N. Chesheva, N. M. Ryabova.</i> Development of the Program of Geodesic Monitoring of Deformations of Hydraulic Engineering Structure – a Two-Stage Fall.....	3
2. <i>S. R. Gorobtsov, K. A. Funk.</i> Study of the Relief of the Bottom of Aquatories by Geodesic Methods	13
3. <i>V. A. Skripnikov, M. A. Skripnikova, D. A. Birjukova, V. V. Tanjuhin.</i> Accuracy Determination Analysis of Technological Equipment Geometric Parameters.....	18
4. <i>N. A. Zuev, A. A. Kobzev.</i> Use of Unmanned Aerial Vehicle When Carrying out Mine Works in Open Quarry	26
5. <i>V. S. Pisarev, B. N. Akhmedov, A. T. Nurmukhametova, A. I. Tarabukin.</i> Construction of a Digital Model of the Temporary Dumps of the Borok Open-Pit in the Program Agisoft PhotoScan	34
6. <i>A. V. Mareev.</i> Linear Interpolation of Topographic Corrections to Gravity Anomalies	41
7. <i>V. G. Sal'nikov, A. S. Goril'ko, A. M. Astapov, B. D. Chebakov.</i> About Variants of Altitude Geodetic Base on Industrial Sites of Power Stations.....	47
8. <i>V. V. Shcherbakov, I. A. Buncev, I. V. Shcherbakov, V. D. Astrahancev.</i> Systems of Automated Control of Construction Equipment (ACS-3D)	57
9. <i>V. V. Shcherbakov, A. A. Zemerova, S. A. Komyagin, I. A. Popov.</i> Control of Geometric Parameters in the Process of Construction and Repair of Railways.....	64
10. <i>V. D. Astrakhantsev, I. I. Zolotarev.</i> Geosystems and BIM-Technologies as Digital Economy Elements	71
11. <i>L. S. Ljubivaja, K. G. Kvitkevich.</i> Improvement of Technology of Creation and Use of Orthophotos in the Updating of Digital Navigation Maps.....	75
12. <i>O. V. Starostina, V. N. Dolgonosov, E. V. Sitnikova, A. V. Mikhnev.</i> Evaluation of Possible Collapse Risks of the Stationary Side Bench of the Open Pit "Bogatyr" in Designing Coal Storage.....	78
13. <i>M. A. Altyntsev, M. A. Iptisheva.</i> Combined Processing of Mobile Laser Scanning and Digital Terrestrial Photography Data for Generating United Point Cloud.....	87
14. <i>M. A. Altyntsev, A. M. Makarov.</i> Challenges of Semi-Automatic Road Breakline Detection Using Laser Scanning Data	96
15. <i>A. V. Dubrovsky, O. O. Simonova.</i> Geodetic Monitoring of Buildings as the Control Tool Providing Object Safety and Stable Cadastral Cost.....	105

16. <i>V. M. Gridchin, V. I. Obidenko, D. A. Chalkov, N. N. Kobeleva.</i> Building of the Local Geoid Model Using Satellite and Ground Measurements.....	111
17. <i>I. E. Dorogova, A. I. Melkova.</i> Comparison of Existing Models of Amur Lithospheric Plate Movement.....	116
18. <i>I. E. Dorogova, A. S. Sarkisjan.</i> Studying and Modelling of Ver- tical Crust Movements in the Area of Active Volcano.....	123
19. <i>N. N. Kobeleva, V. S. Khoroshilov.</i> Results of Empirical Research of Reference Points Movement Forecast of the Sayano-Shushenskaya Wa- ter Power Station Dam After Accident in 2009.....	123
20. <i>E. A. Selyutina, V. S. Khoroshilov.</i> Peculiar Features of Mathe- matical Models for Studying Landslide Development Deformation Processe	138
21. <i>D. N. Goldobin, V. F. Kanushin, I. G. Ganagina, N. S. Kosarev,</i> <i>N. N. Fedotova.</i> Determination of Limiting Error of the Horizontal Position Points of Gravimetric Survey.....	146
22. <i>V. A. Kalyuzhin, B. T. Mazurov, V. I. Obidenko, V. V. Chernikov.</i> Localization of Geographic Center of the Territory in Gis Software (on the Example of Baikal).....	154
23. <i>V. G. Kolmogorov, B. T. Mazurov.</i> Determination of the Diver- gence Vector Fields in the Frame Earth Surface.....	165
24. <i>E. S. Utrobina, I. P. Kokorina.</i> Mobile Cartography for Hunters and Fishermen	171
25. <i>A. P. Belousova, A. V. Tarasov, S. A. Gerasimova.</i> Especially in the Creation of a Land Information System Objects of the Mining Industry Timan-Pechora Oil and Gas Province.....	179
26. <i>G. I. Zagrebin, S. A. Krylov.</i> Study of the Functional Possibilities of Geoinformation Systems for the Creation of Atlases	188
27. <i>E. L. Kasyanova, M. V. Cherkas.</i> Formation of Domestic Cartog- raphy in the Field of Geological Geomorphology	193
28. <i>E. L. Kasyanova.</i> History of the Department of Cartography and Geoinformatics from 1933 to 1994.....	200
29. <i>I. I. Kischenko, K. V. Krasnikova.</i> Imitational Modeling of Trans- portation and Interchange Units (on the Example of the City of Novosibirsk).....	209
30. <i>A. D. Savelyeva, A. K. Orzaeva, Yu. D. Gusarenko.</i> Analysis of the Possibilities of Wind Energy in the Territory of the East Kazakhstan Region Using Digital Mapping	215
31. <i>V. P. Stupin, L. A. Plastinin, B. N. Olzoev.</i> Morphodynamic Re- search and Gis Mapping of the Zone of Influence of the Irkutsk Reservoir.....	221
32. <i>E. S. Cherepanova, L. N. Ermakova, A. N. Shikhov.</i> The Devel- opment of the Maps of Bioclimatic Indices Based on Worldclim 2.0 Data (on the Example of the Territory of Perm Krai)	230
33. <i>A. V. Shevin.</i> Development of Prototype of the Geoportal of the Siberian State University of Geosystem and Technology	238

34. <i>M. V. Karmanova</i> . Multilevel Cross-Cluster Information Model as the Basis of Digital Cartographic Support of Regional Authorities Emergency Management.....	243
35. <i>D. Sh. Fazilova, A. Sh. Fazilov</i> . Investigation of Maidantal Reference Station Time Series Main Components	253
36. <i>G. M. Trigubovich, S. O. Shevchuk, A. S. Sverkunov, S. V. Barsukov, N. S. Kosarev</i> . Automatic Navigation and Measurment Aerogeophysical Complex	257
37. <i>S. O. Shevchuk, V. N. Nikitin, S. V. Barsukov</i> . Providing the Navigation Support of Ground and Aerial Geophysical Works with Modern Devices and Software	266
38. <i>S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, A. Kh. Melesk, R. I. Ryndin</i> . Investigation height systems of navigation GNSS receivers.....	276
39. <i>K. I. Malyutina, S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, K. V. Kiselev</i> . Problems of Geodetic Support of Electromagnetic Scanning.....	285
40. <i>S. O. Shevchuk, N. S. Kosarev, K. I. Malyutina, K. V. Kiselev, V. M. Zhidov</i> . Influence of Multipath Effects on Geodetic Support of Electromagnetic Scanning	293

Научное издание

ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ

XIV Международный научный конгресс

Международная научная конференция

**«ГЕОДЕЗИЯ, ГЕОИНФОРМАТИКА, КАРТОГРАФИЯ,
МАРКШЕЙДЕРИЯ»**

Сборник материалов

Материалы публикуются в авторской редакции

Компьютерная верстка *К. В. Ионко*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 17.08.2018. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 17,72. Тираж 100 экз. Заказ 120.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

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

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