

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
РАЗДЕЛ
ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА
№ 6

Журнал основан в июле 1957 года

Выходит шесть раз в год

ИЗДАНИЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ГЕОДЕЗИИ И КАРТОГРАФИИ
МОСКВА 2012

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

РАЗДЕЛ ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА

№ 6

Журнал основан в июле 1957 года
Выходит шесть раз в год

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР
чл.-корр. РАН, профессор, доктор техн. наук
В.П. САВИНЫХ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ю.Г. Батраков
Ю.С. Билич
Т.В. Верещака
А.П. Гук
В.Б. Дубиновский
И.Г. Журкин
А.П. Карпик
Е.Б. Ключин
В.А. Коугия
А.А. Майоров
(зам. главного редактора)
В.А. Малинников
Ю.И. Маркузе
Ю.М. Нейман
В.И. Павлов
Ю.И. Пимшин
Ю.Г. Якушенков
Х.К. Ямбаев
С.Н. Яшкин

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Зав. редакцией	Е.А. Евтеева
Бед. редактор	К.В. Любомирова
Оригинал-макет	Б.В. Кузнецов
Графика	А.Ю. Боков

105064, Москва,
Гороховский пер., 4
E-mail: redakcia@miigaik.ru
тел. 8 (499) 261-8286
<http://journal.miigaik.ru>
ISSN 0536-101X

Сдано в набор 03.12.2012
Подписано в печать 19.12.2012
Формат 60×90%. Усл. печ. л. 16,5
Тираж 200 экз. Заказ 217
Отпечатано в типографии МИИГАиК
Индекс в каталоге Роспечать 70365

© Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка», 2012

УДК 528.28; 528.2; 528:629.78

АСТРОНОМИЯ, ГРАВИМЕТРИЯ И КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРАТЕРОВ ПО ИХ ДИАМЕТРАМ

Кандидат техн. наук **Дм.В. Учаев**,
профессор, доктор техн. наук **В.А. Малинников**, профессор **Ю. Оберст**
Московский государственный университет геодезии и картографии,
E-mail: D-Uchaev@yandex.ru

Аннотация. Предложен новый мультифрактальный подход к моделированию распределения кратеров по их диаметрам. Получены мультифрактальные модели распределения диаметров кратеров на антимарсианской и подмарсианской сторонах Фобоса. Установлено, что распределения диаметров кратеров сильно кратерированных участков на подмарсианской и антимарсианской сторонах поверхности Фобоса удовлетворяют логнормальному закону.

Ключевые слова: мультифрактал, распределение кратеров по их диаметрам, логнормальное распределение, Фобос

Abstract. A new multifractal approach for modeling a crater size-frequency distribution was proposed. Multifractal models for size-frequency distributions of craters on the Sub-Mars and Anti-Mars sides of Phobos are obtained. The size-frequency distributions for heavily-cratered areas of Sub-Mars and Anti-Mars sides of Phobos are shown to be lognormal.

Keywords: multifractal, crater size-frequency distribution, lognormal distribution, Phobos

Введение. Ударные кратеры различного размера и степени разрушения являются доминирующими формами рельефа на планетах, их спутниках и астероидах. Анализ распределения кратеров по их размерам позволяет дать ответы на следующие вопросы.

Какова скорость формирования и разрушения кратеров на анализируемом участке небесного тела?

Одинаковы ли темпы образования и разрушения кратеров на анализируемом участке небесного тела?

Какие кратеры сформировались раньше, а какие — позже?

Каков возраст небесного тела и как связано распределение кратеров по их диаметрам с распределением масс метеоритов, бомбардировавших поверхность небесного тела?

Таким образом, особую актуальность имеет разработка теоретически обоснованного подхода к моделированию распределения кратеров на Фобосе по их диаметрам.

В данной работе для количественного описания распределений кратеров по их диаметрам предлагается использовать мультифрактальный подход, представляющий собой естественное обобщение фрактального подхода. Мультифрактальный подход открывает возможность описания распределения кратеров по их диаметрам не одной, а целым спектром фрактальных размерностей, число которых в общем случае может быть бесконечным.

В основу предлагаемого подхода положена следующая гипотеза: распределение кратеров по их диаметрам на поверхности изучаемого небесного тела имеет мультифрактальный характер. Процедура мультифрактального моделирования кратеров по их диаметрам состоит из двух основных шагов.

1. Проверка гипотезы о мультифрактальном распределении кратеров по их диаметрам на анализируемом участке поверхности исследуемого небесного тела.

2. Получение мультифрактальной модели

распределения кратеров по их диаметрам.

Проверка гипотезы о мультифрактальном характере распределения кратеров изучаемого фрагмента небесного тела по их диаметрам. На первом шаге построения мультифрактальной модели распределения кратеров по их диаметрам осуществляется проверка гипотезы о том, что распределение кратеров по их диаметрам имеет мультифрактальный характер. С этой целью проводится мультифрактальный анализ числовых рядов диаметров кратеров анализируемого фрагмента небесного тела. Мультифрактальный анализ числовых рядов осуществляется путем статистического анализа тем или иным способом сформированной по ним меры (как правило, вероятностной).

При мультифрактальном анализе рядов распределения кратеров по их диаметрам рассматриваются фрагменты анализируемого участка небесного тела и каждому кратеру, принадлежащему выбранным фрагментам, приписываются веса, рассчитываемые по формуле $p_i = (d_i - d_{\min}) / D_N$, где d_i — диаметр i -го кратера в выборке размером N , $i = 1, \dots, N$; $d_{\min}$ — диаметр минимального кратера в выборке; $D_N = \sum_{i=1}^N d_i - Nd_{\min}$.

Фактически величины p_i представляют собой нормированные значения диаметров кратеров и отражают вклад каждого из них в общее их распределение. Очевидно, что $\sum_{i=1}^N p_i = 1$.

Зная распределения кратеров по их диаметрам, можно получить распределения кратеров по их площадям или каким-либо другим морфологическим характеристикам.

Далее с целью проверки гипотезы о мультифрактальном характере распределения кратеров рассчитываются статистические моменты

распределения по формуле $M_q(N) = \left\langle \sum_{i=1}^N p_i^q \right\rangle$,

где $q \in R$ — порядки моментов, а угловыми скобками обозначено среднее значение моментов, вычисленных по нескольким выборкам размера N (на практике при вычислении моментов $M_q(N)$ можно ограничиться и рассмотрением только одной выборки размера N).

Гипотеза о мультифрактальном характере распределения кратеров на рассматриваемом

участке изучаемого небесного тела подтверждается, если наблюдается степенное поведение моментов $M_q(N)$ с ростом числа кратеров в выборке N , т.е. $M_q(N) \sim N^{-\tau(q)}$, где величины $\tau(q)$ характеризуют скорость изменения соответствующих моментов.

Тем самым, для проверки гипотезы о мультифрактальном распределении кратеров по их диаметрам для нескольких выборок могут быть вычислены величины по формуле $\tau(q) = \ln M_q(N) / \ln N$.

Тогда, если спектры $\tau(q)$, вычисленные для данных выборок, близки друг к другу, то гипотеза о мультифрактальном характере распределения кратеров по их диаметрам подтверждается.

Мультифрактальная модель распределения кратеров по их диаметрам. На втором шаге моделирования распределения кратеров по их диаметрам осуществляется построение мультифрактальной модели распределения.

Итак, положим, что справедлива гипотеза о мультифрактальном характере распределения кратеров по их диаметрам. Тогда, как легко можно показать, имеет место соотношение $p_i = N^{-\alpha_i}$ при $N \rightarrow \infty$, где показатель α_i демонстрирует, как быстро убывают величины p_i с ростом размера выборки N .

Положим теперь, что α непрерывно и принимает всевозможные значения из отрезка $[\alpha_{\min}, \alpha_{\max}]$. Тогда, если гипотеза о мультифрактальном распределении кратеров по их диаметрам подтверждается, то число кратеров N_α в выборке, характеризуемых одним и тем же значением экспоненты α , с ростом размера выборки N растет по степенному закону, т.е. $N_\alpha \propto N^{f(\alpha)}$, где $f(\alpha)$ — фрактальная размерность подмножества кратеров, характеризуемых α , демонстрирующая как быстро растет с увеличением N число кратеров с одним и тем же α . Нормируя величины N_α на общее число кратеров N в выборке, приходим к выражению для оценки плотности распределения значений параметра α :

$$P(\alpha) \propto N^{f(\alpha) - D_0}, \quad (1)$$

где D_0 — фрактальная размерность подмножества кратеров выборки с диаметром $d \neq d_{\min}$ ($d_{\min}$ — диаметр наименьшего кратера в выборке). Очевидно, что если в выборке кратеров с

диаметром $d = d_{\min}$ крайне мало, то $D_0 \approx 1$.

В совокупности величины $f(\alpha)$ отражают скейлинговое поведение всей плотности распределения значений α и, как продемонстрировано, к примеру, в работе [1], могут определяться путем преобразования Лежандра спектра $\tau(q)$, полученного в ходе мультифрактального анализа числовых рядов кратеров анализируемого фрагмента изучаемого небесного тела:

$$f(\alpha) = \inf_{q \in R} \{\alpha q - \tau(q)\}.$$

Как известно [1], вблизи своего максимума функция $f(\alpha)$ может быть аппроксимирована параболой, определяемой параметрами α_0 и $D_0 = f(\alpha_0)$:

$$f(\alpha) = D_0 - \frac{(\alpha - \alpha_0)^2}{4(\alpha_0 - D_0)}. \quad (2)$$

Подставляя тогда (2) в (1) получим $P(\alpha) \propto N^{\frac{(\alpha - \alpha_0)^2}{4(\alpha_0 - D_0)}}$ или в экспоненциальном виде

$$P(\alpha) \propto \exp \left\{ -\frac{(\alpha - \alpha_0)^2}{4(\alpha_0 - D_0)} \ln N \right\}. \quad (3)$$

Воспользовавшись теперь тем, что $\alpha = -\ln p / \ln N$ и $p = (d - d_{\min}) / D_N$, перейдем в выражении (3) от распределения значений показателя α к распределению диаметров кратеров:

$$P[\ln(d - d_{\min})] \propto \exp \left\{ -\frac{\left[\ln \left(\frac{d - d_{\min}}{D_N} \right) + \alpha_0 \ln N \right]^2}{4(\alpha_0 - D_0) \ln N} \right\}. \quad (4)$$

Соотношение (4) можно записать следующим образом:

$$P[\ln(d - \gamma)] \propto \exp \left\{ -\frac{[\ln(d - \gamma) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\}, \quad (5)$$

где

$$\begin{aligned} \mu &= \ln D_N - \alpha_0 \ln N, \\ \sigma^2 &= 2(\alpha_0 - D_0) \ln N, \quad \gamma = d_{\min}. \end{aligned} \quad (6)$$

Следовательно, распределение кратеров по их диаметрам удовлетворяет логнормальному закону с параметрами μ , σ^2 и γ , рассчитываемыми по формулам (6).

Экспериментальная апробация разработанного мультифрактального подхода к моделированию распределения кратеров по их диаметрам. В последнее время внимание исследователей Солнечной системы все больше привлекает ближайший спутник Марса — Фобос. Фобос интересен тем, что это очень малое космическое тело, обладающее рядом интересных особенностей: резко выраженной неправильной формой; достаточно толстым слоем реголита, покрывающим его поверхность; большим количеством ударных кратеров диаметром от 5–10 м до 8 км. Кроме того, Фобос также интересен тем, что на нем нет процессов, присущих большим небесным телам — вулканизма, тектонических процессов, на нем отсутствуют атмосфера и гидросфера. Тем самым, одним из основных процессов, определяющих рельеф Фобоса, является ударное кратерообразование [2, 3].

Аналізу распределения кратеров на Фобосе посвящено большое число работ. Так, в работе [4] показано, что плотность распределения крупных кратеров на Фобосе (диаметром большим одного километра) близка к максимально возможной для космических тел, сопоставимых по размеру с Фобосом. Кроме того, как показано в данной работе, плотность распределения кратеров на Фобосе близка к так называемой равновесной плотности, при которой темп образования кратеров равен темпу их разрушения.

В работе [3] приводится распределение кратеров, дешифрованных по снимку 0756, полученному стереокамерой высокого разрешения (HRSC), установленной на борту космического аппарата «Mars-Express». Как отмечается в данной работе, кумулятивная функция распределения кратеров данного участка имеет следующий вид:

$$N(> d) = 10^{4.9} d^{-2},$$

где $N(> d)$ — интегральное число кратеров диаметром большим d на площади 1 км².

Однако стоит сказать, что полученная в работе [3] функция хорошо описывает распределение только крупных кратеров диаметром больше 1 км. В данной же работе с целью экспериментальной апробации предложенного нами мультифрактального подхода к модели-

рованию распределения кратеров были получены распределения кратеров диаметром меньше 1 км на четырех сильно кратерированных участках поверхности Фобоса на подмарсианской и антимарсианской его сторонах (рис. 1) [5]. Для этого был выполнен мультифрактальный анализ рядов распределения кратеров на анализируемых участках.

Расчет мультифрактальных спектров осуществлялся в среде «Гео-ПК» с помощью разработанного нами программного модуля «DMFA», предназначенного для мультифрактального анализа распределений. Исходными данными при мультифрактальном анализе распределений кратеров на Фобосе в среде «Гео-ПК» служил глобальный каталог кратеров Фобоса, идентифицированных по спутниковым изображениям, полученным космическим аппаратом «Mars-Express».

Полученные в результате мультифрактального анализа спектр $f(\alpha)$ и его параболическая аппроксимация для анализируемых участков приведены на рис. 2. Как хорошо видно из рис. 2, во всех четырех случаях спектр $f(\alpha)$ вблизи его вершины достаточно хорошо аппроксимируется параболической кривой. Следовательно, подтверждается гипотеза о логнормальном распределении кратеров выбранных нами участков.

Кривые плотности распределения кратеров, полученные по формуле (5) через параболическую аппроксимацию спектра $f(\alpha)$ для рассматриваемых нами участков на подмарсианской и антимарсианской сторонах поверхности Фобоса, продемонстрированы на рис. 3. Как видно из данного рисунка, на антимарсианской стороне поверхности Фобоса кратеры диаметром меньшим ста метров на порядок больше, чем на подмарсианской стороне Фобоса. Причиной этого может быть то, что антимарсианская сторона Фобоса в большей степени подвержена метеоритной бомбардировке, чем сторона Фобоса, обращенная к Марсу.

Для проверки полученных нами экспериментально логнормальных кривых распределения кратеров на рассматриваемых участках поверхности Фобоса с помощью критериев согласия Колмогорова–Смирнова и Андерсона–Дарлинга были измерены «расстояния» между экспериментальными и теоретическими кривыми распределения (табл.). Как видно из таблицы, для каждого из анализируемых нами фрагментов поверхности Фобоса расстояние (называемое также тестовой статистикой), измеренное с помощью критерия Колмогорова–Смирнова, меньше порогового его значения (критического значения), вычисленного при

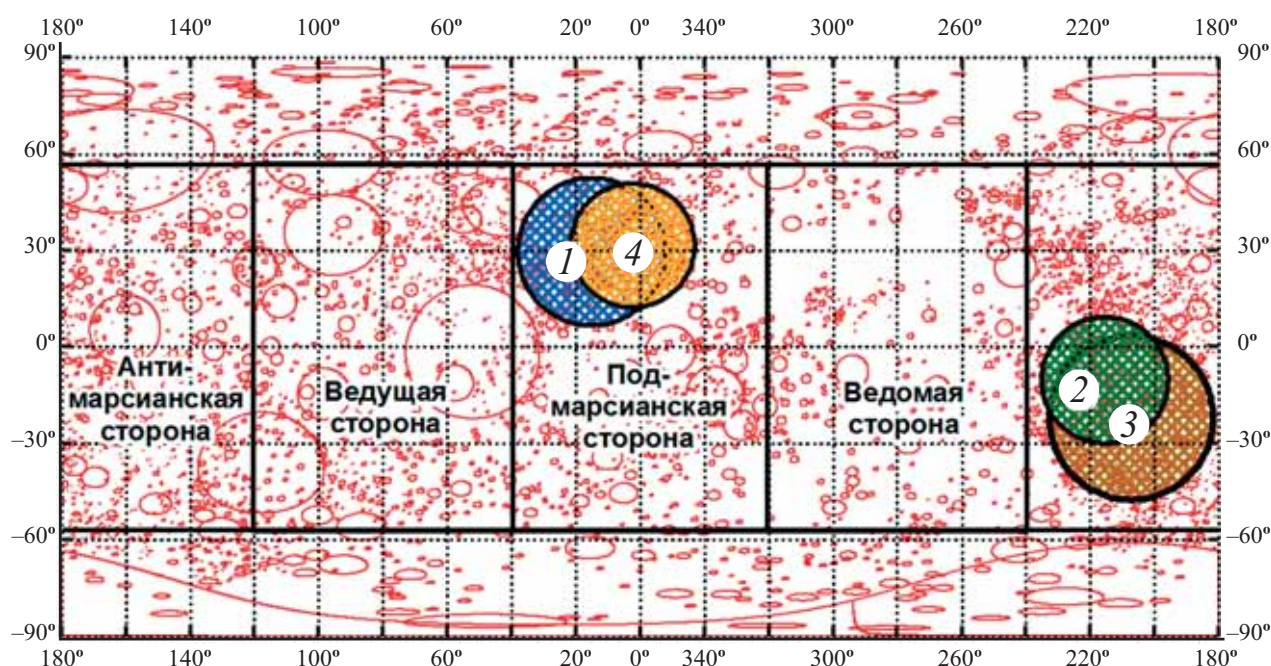


Рис. 1. Глобальный каталог кратеров Фобоса. Анализируемые фрагменты каталога кратеров на подмарсианской и антимарсианской сторонах поверхности Фобоса выделены цифрами

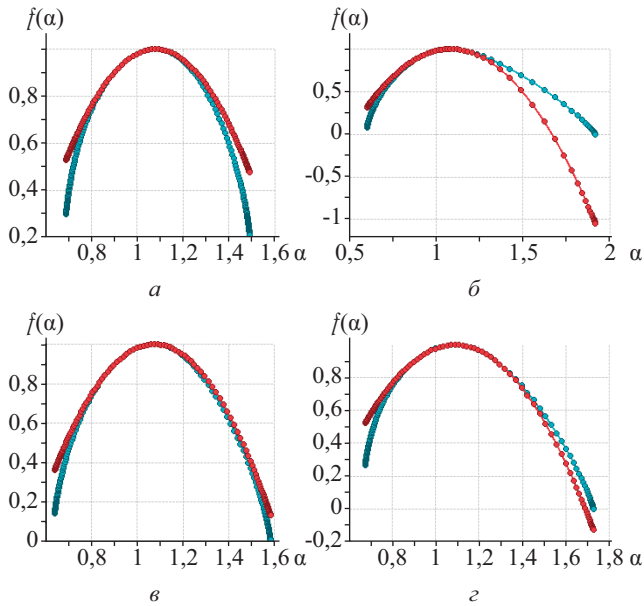


Рис. 2. Спектр $f(\alpha)$ (синяя кривая) и его параболическая аппроксимация (красная кривая), полученные для представленных на рис. 1 участков на подмарсианской и антимарсианской сторонах поверхности Фобоса:

$a, г$ — для участков 1,4 на подмарсианской стороне Фобоса;
 $б, в$ — для участков 2,3 на антимарсианской стороне Фобоса

уровне значимости $\alpha=0,01$. Следовательно, гипотеза о том, что распределения кратеров на анализируемых нами фрагментах Фобоса имеют логнормальный вид, не отвергается.

Заключение. По результатам проведенных исследований были сделаны следующие выводы:

мультифрактальный подход может быть использован для моделирования распределения кратеров по их диаметрам;

распределения кратеров по их диаметрам на рассматриваемых нами участках на подмарсианской и антимарсианской сторонах поверхности Фобоса удовлетворяют логнормальному закону;

мультифрактальный характер распределения кратеров малых диаметров может объясняться тем, что на поверхности Фобоса, так же как и на Марсе, наблюдается дефицит мелких кратеров (диаметром меньшим 30 м). Причиной наблюдаемого дефицита мелких кратеров на Фобосе, вероятно, является их слабая выраженность на использованных для дешифрирования кратеров снимках, сделанных космическим аппаратом «Mars-Express», которые, во-первых, не обладают достаточным

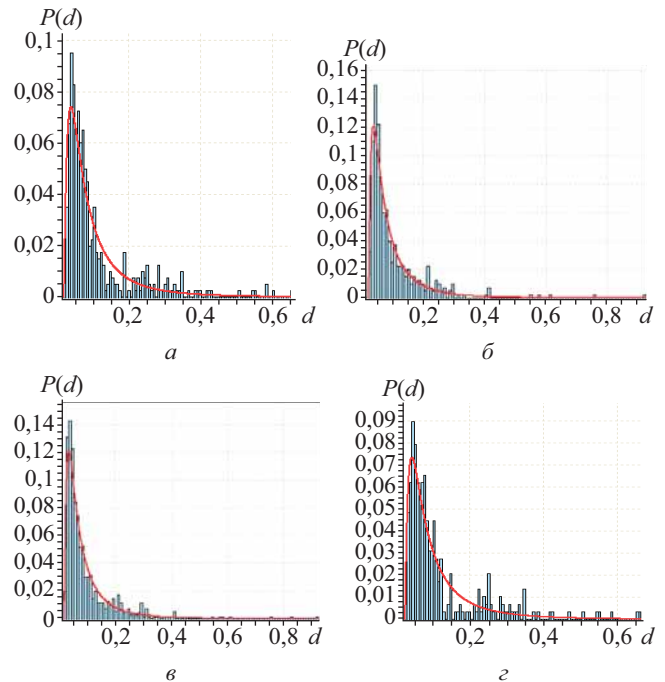


Рис. 3. Кривые плотности распределения кратеров по их диаметрам (красные), полученные для представленных на рис. 1 участков на подмарсианской и антимарсианской сторонах поверхности Фобоса:

$a, г$ — для участков 1,4 на подмарсианской стороне Фобоса;
 $б, в$ — для участков 2,3 на антимарсианской стороне Фобоса

разрешением и, во-вторых, были получены при неблагоприятных условиях освещения. Поскольку поверхность Фобоса, как уже было упомянуто выше, находится в состоянии «насыщения» кратерами, дефицит мелких кратеров на Фобосе может быть также обусловлен и тем, что мелкие кратеры накрываются более крупными;

поскольку кратеры на Фобосе метеоритного происхождения, от распределения их по диаметрам на рассматриваемом участке поверхности Фобоса, можно перейти к распределению масс бомбардировавших эту часть поверхности Фобоса метеоритов. При этом, поскольку подтверждается гипотеза о мультифрактальном распределении кратеров по их диаметрам, мультифрактальный характер, вероятно, будет иметь и распределение масс метеоритов.

Полученная нами мультифрактальная модель распределения кратеров по их диаметрам будет использована для оценки возраста антимарсианского и подмарсианского участков поверхности Фобоса. Предложенный нами подход к моделированию распределения кратеров

Результаты проверки гипотезы о логнормальном распределении диаметров кратеров

Результаты проверки гипотезы о нормальном распределении диаметров критериями Колмогорова–Смирнова и Андерсона–Дарлинга				
Параметры	Критерий Колмогорова–Смирнова		Критерий Андерсона–Дарлинга	
Участок №1				
Размер выборки	400			
Тестовая статистика	0,06615		6,3258	
p-значение	0,05765		—	
α	0,02	0,01	0,02	0,01
Критическое значение	0,0759	0,08145	3,2892	3,9074
Итоговое решение	Гипотеза принимается		Гипотеза отвергается	
Участок №2				
Размер выборки	400			
Тестовая статистика	0,0404		1,1065	
p-значение	0,51794		—	
α	0,02	0,01	0,02	0,01
Критическое значение	0,0759	0,08145	3,2892	3,9074
Итоговое решение	Гипотеза принимается			
Участок №3				
Размер выборки	700			
Тестовая статистика	0,04711		2,7006	
p-значение	0,08662		—	
α	0,02	0,01	0,02	0,01
Критическое значение	0,05738	0,06157	3,2892	3,9074
Итоговое решение	Гипотеза принимается			
Участок №4				
Размер выборки	290			
Тестовая статистика	0,05991		1,584	
p-значение	0,23929		—	
α	0,02	0,01	0,02	0,01
Критическое значение	0,08914	0,09566	3,2892	3,9074
Итоговое решение	Гипотеза принимается			

предполагается также использовать и для разработки эффективного метода генерализации карт кратеров небесных тел.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (Постановление № 220) по договору № 11.G34.31.0021 от 30.11.2010.

ЛИТЕРАТУРА

1. Божокин С.В., Паршин Д.А. Фракталы и мультифракталы. – Москва-Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. –128 с.
2. Жарков В.Н., Козенко А.В. Фобос и Деймос — спутники Марса. –М.: Знание, 1985. –64 с.

3. Шингарева Т.В. Геологическое строение и вещественный состав Фобоса: диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук: 25.00.09.

4. Thomas P., Veverka J. Crater densities on the satellites of Mars // Icarus, 1980. –V. 41. –№ 3. –P. 365–380.

5. Uchaev D.V., Uchaev Dm.V., Malinnikov V.A., Oberst J. Multifractal model for Phobos crater size-frequency distribution // Proc. of the "European Planetary Science Congress 2012". –2012. (<http://meetingorganizer.copernicus.org/EPSC2012/EPSC2012-705-3.pdf>)

Поступила 9 октября 2012 г.

Рекомендована кафедрой прикладной экологии и химии МИИГАиК

НОВАЯ ОПОРНАЯ СЕТЬ, ЦИФРОВАЯ МОДЕЛЬ И ГИПСОМЕТРИЧЕСКАЯ КАРТА СПУТНИКА САТУРНА ЭНЦЕЛАД

Кандидат техн. наук **Е.Н. Лазарев**², младший науч. сотрудник **И.Е. Надеждина**¹,
младший науч. сотрудник **А.Э. Зубарев**¹, кандидат техн. наук **И.П. Карачевцева**¹

¹Московский государственный университет геодезии и картографии

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, г. Москва

E-mail: zhecka@inbox.ru

Аннотация. Представлена новая сеть опорных точек спутника Сатурна Энцелад, созданная на основе фотограмметрической обработки космических изображений КА *Cassini* (104 шт.) и КА *Voyager* (12 шт.). На основе новой опорной сети сформирована цифровая модель рельефа, которая использована для ортотрансформирования космических изображений Энцелада и глобальной ортомозаики. Новые данные: ЦМР и ортомозаика, применены для картографирования Энцелада.

Ключевые слова: Энцелад, сеть опорных точек, ЦМР, гипсометрическая карта

Abstract. A new control point network for a Saturnian moon Enceladus was computed using photogrammetric techniques of frame space images processing. The network completely encircles the satellite with 796 points measured on 104 Cassini and 12 Voyager pictures. The new basic network is used for formation of digital model of a relief which is used for an ortotransformirovaniye of space images of Entselad, and global optomozaiки. These new data, TsMR and optomozaiка, are applied to Entselad's mapping.

Keywords: Enceladus, control point network, DTM, hypsometric map

Введение. Первая опорная сеть спутника Сатурна Энцелад [1] была построена в результате фотограмметрической обработки данных КА *Voyager 2* (NASA) в начале 80-х годов прошлого века. В ходе своего пролета рядом с Сатурном *Voyager 2* смог получить изображения с разрешением от 1,9 до 8,2 км/пиксел [2]. Следующим космическим аппаратом, исследовавшим Сатурн, стал КА *Cassini* (NASA, ESA), работающий на орбите Сатурна с 2004 г. и выполнивший 16 пролетов мимо Энцелада [3]. С помощью широкоугольной (WAC) и узкоугольной (NAC) камер *Cassini ISS (Imaging Science Subsystem)* были получены изображения с разрешением менее 1 км/пиксел [4]. Всего для создания опорной сети в данной работе использовано 118 изображений Энцелада: NAC (103 шт.), WAC (3 шт.) и *Voyager 2* (12 шт.). Разрешение этих данных дистанционного зондирования варьируется в пределах 62–406,9 м/пиксел; в среднем разрешение составляет 179,6 м/пиксел.

Детальное изучение топографии спутников Сатурна и, в частности, Энцелада стало возможным только с появлением цифровых моделей рельефа (ЦМР), созданных на основе данных КА *Cassini* [5]. В работе [6], опубликованной 2010 г., описана ЦМР, покрывающая 50% поверхности Энцелада, полученная в результате фотограмметрической обработки 38-ми изображений *Cassini* с плановым разрешением 3–10 км и высотной точностью 50–500 м. В настоящей работе представлены

ортотомозаика на всю поверхность спутника и детальная ЦМР, покрывающая 23% поверхности Энцелада, среднее разрешение которой составляет 1,17 км/пиксел.

Опорная сеть Энцелада. Для создания сети опорных точек спутника разработаны и применены новые методы обработки космических изображений, реализованные в программном комплексе PHOTOMOD [7], который был специально адаптирован к созданию опорных сетей малых тел Солнечной системы, таких как спутники планет-гигантов, астероиды и др. В результате блочного уравнивания получены трехмерные координаты 796-ти опорных точек, каждая из которых определена по разным изображениям (около 8–10 измерений на каждую точку, всего выполнено 7030 измерений); средняя ошибка положения опорной точки на Энцеладе составляет 498 м. На карте (рис. 1) видно, что часть поверхности спутника, на которой опорные точки или отсутствуют, или ошибки их положения достаточно велики, находится севернее южной параллели -30° , в интервале от 30 до 150° долготы. Именно для этой области использовались данные *Voyager*, разрешение и углы съемки которых не позволили измерить большее количество опорных точек и уменьшить ошибки.

В табл. 1 представлены характеристики новой опорной сети, созданной в МИИГАиК, а также результаты предшествующих работ. Для каждой из сетей (кроме описанной в работе [1]) показана средняя квадратическая погрешность

Таблица 2

Параметры фигуры Энцелада

Модели	Параметры модели фигуры, км			
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>r</i>
Davies and Katayama (1982) [1]	255,6	249,6	247,6	251±5
Thomas et al. (2007) [8]	256,6	251,4	248,3	252,1
Настоящее исследование	255,2	251,2	248,5	252,3

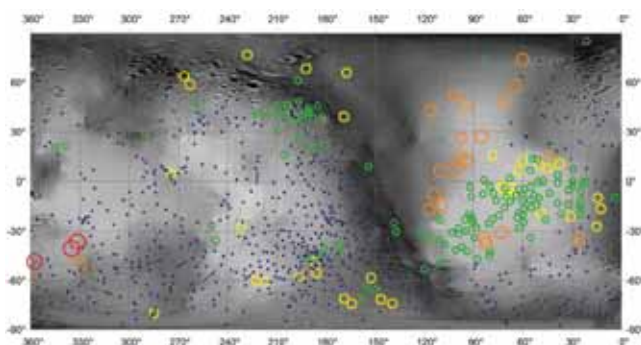


Рис. 1. Распределение опорных точек сети по поверхности Энцелада (простая цилиндрическая проекция). Ошибки положений опорных точек, км:

- — <0,5; ● — 0,5–1,0; ● — 1,0–3,0; ● — 3,0–6,0;
- — >6,0

(СКП) определения каждой координаты точки на поверхности Энцелада. Несмотря на то, что не все параметры приведенных сетей известны, по результатам сравнения можно утверждать, что созданная опорная сеть МИИГАиК более плотная и превосходит по точности имеющиеся аналоги.

На основе полученной опорной сети вычислены параметры сферы и трехосного эллипсоида, наилучшим образом аппроксимирующие поверхность Энцелада (табл. 2), которые хорошо коррелируют с предыдущими моделями.

Наиболее полно вопросы создания опорной сети по космическим изображениям описаны в работах [9, 10].

ЦМР и гипсометрическая карта Энцелада. Для части поверхности, на которую получена наиболее плотная сеть опорных точек с ошибками положения, не превышающими 500 м, и имеются снимки, отвечающие условиям получения стереоизображения, создана ЦМР, охватывающая 23% территории спутника. На основе созданных опорной сети и ЦМР, сформирована ортофотомозаика на всю поверхность Энцелада (рис. 2).

Для создания ЦМР в программном ком-

плексе PHOTOMOD обработаны 30 изображений узкоугольной камеры *Cassini* (NAC), составившие 20 стереопар. Элементы внешнего ориентирования получены по результатам блочного уравнивания. Для формирования ЦМР точки с отметками высот набирались вручную по каждой стереопаре. Для того, чтобы цифровая модель была более полной и точной и отражала характер рельефа, в нее включались отметки высот, набранные вдоль структурных линий поверхности, таких как валы кратеров, тальвеги и бровки борозд (рис. 3). Затем все векторные слои были объединены в одну модель, которая содержит более чем 210 тыс. отметок высот. Полученная таким способом ЦМР Энцелада имеет разрешение 1,17 км/пиксел, точность по высоте составляет 267–400 м.

Новая ЦМР была использована для создания гипсометрической карты Энцелада, составленной в ортографической проекции (рис. 4). Согласно рекомендациям Международного астрономического союза (МАС), для картографирования использована планетографическая система координат, долготы отсчитываются в западном направлении [11]. Высоты даны относительно сферы диаметром 252,3 км, перепад высот при этом составляет около 14 км. Используемая нами поверхность относимости наилучшим образом подходит для рассчитанных параметров фигуры тела и практически не отличается от рекомендаций МАС, которым утверждена сфера радиусом $252,1 \pm 0,2$ км. В работе [12] высоты даны относительно трехосного эллипсоида, и перепад высот составля-

Таблица 1

Результаты уравнивания и параметры опорных сетей Энцелада

Опорная сеть	Davies, Katayama, 1982 [1]	Roatsch et al., 2006 [4]	Giese et al., 2011 [12]	Настоящее исследование
Данные (КА)	22 (Voyager 1)	11 (Cassini, NAC)	38 (Cassini)	118 (Cassini, NACи WAC, Voyager 2)
Число опорных точек	71	88	186	796
Измерения СКП, м:	994	—	1057	7031
<i>X</i>	—	736	323	334
<i>Y</i>	—	335	292	243
<i>Z</i>	—	608	289	197
<i>XYZ</i>	—	—	—	498

ет около 1 км. Рассчитанные нами высоты на трехосном эллипсоиде варьируются от $-1,6$ до $+0,8$ км, что не расходится с результатами предыдущих исследований [6].

Заключение. Разработанная методика фотограмметрической обработки космических изображений небесных тел с использованием программного комплекса PHOTOMOD успешно применена для создания опорной сети, формирования новой ЦМР и ортомозаики Энцелада. На основе этих данных выполнено картографирование рельефа спутника. Полученные результаты в дальнейшем могут применяться для морфометрических исследований этого небесного объекта и сравнительного планетологического анализа. ЦМР Энцелада может быть использована для обработки космических изображений, которые будут получены в ходе будущих пролетов *Cassini* мимо спутника Сатурна. На основе новых данных дистанционного зондирования опорная сеть может быть улучшена и применена для формирования ЦМР на всю поверхность.

Работа выполнена при поддержке Мегагранта правительства Российской Федерации по теме: «Геодезия, картография, изучение планет и спутников», договор № 11.G34.31.0021.

ЛИТЕРАТУРА

1. Davies M.E. and Katayama F.Y. The control network of Mimas and Enceladus. *Icarus*, 1983, 53, 332–340.
2. Smith B.A. et al. A new look at the Saturn system: the Voyager 2 images. *Science*, 1982, 215, 504–537.
3. Ducci M. et al. The geodesy of the main Saturnian satellites from range rate measurements of the Cassini spacecraft. 43rd LPSC Abstracts, 2012, 2200.
4. Roatsch Th. et al. High-resolution Enceladus atlas derived from Cassini-ISS images. *Planet. Space Sci.*, 2008, 56, 109–116.
5. Giese B. et al. Enceladus: An estimate of heat flux and lithospheric thickness from flexurally supported topography. *GRL*, 2008, 35, L24204.
6. Giese B. and the Cassini Imaging Team. The topography of Enceladus, EPSC Abstracts, 2010, Vol. 5, EPSC2010-675.
7. PHOTOMOD: Racurs.ru: Products, 2012. URL: <http://www.racurs.ru/?lng=en&page=634>. Accessed: 07. Aug 2012.
8. Thomas P. et al. Shapes of Saturnian icy satellites and their significance. *Icarus*, 2007, 190, 573–584.
9. Зубарев А.Э., И.Е. Надеждина, А.А. Кононихин. Проблемы обработки данных дистанционного зондирования для моделирования фигур малых тел солнечной системы // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. –2012. –Т.9. –№4. –С. 277–285.
10. Надеждина И.Е., Зубарев А.Э., Рубцова Н.Э., Жаров А.А., Жаров О.А., Шишкина Л.А. Построение сети опорных точек спутников внешних планет на примере Ио и Энцелада // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. –2012. –Т.9. –№4. –С. 286–291.
11. Archinal B.A. et al. Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements: 2009. *Celest. Mech. Dyn. Astron.*, 2011, 109, 101–135.

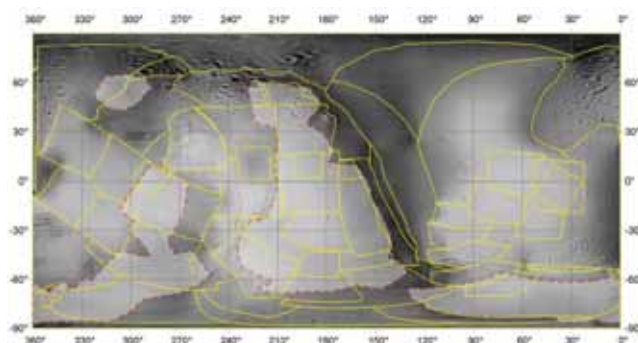


Рис. 2. Ортомозаика на всю поверхность Энцелада, границы использованных космических изображений и область покрытия ЦМР (красная пунктирная линия). Простая цилиндрическая проекция

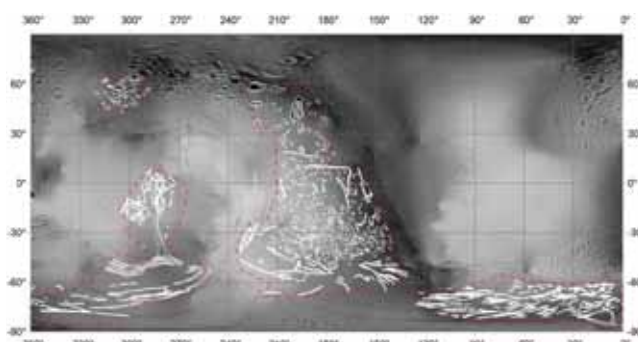


Рис. 3. Структурные линии рельефа Энцелада (простая цилиндрическая проекция)

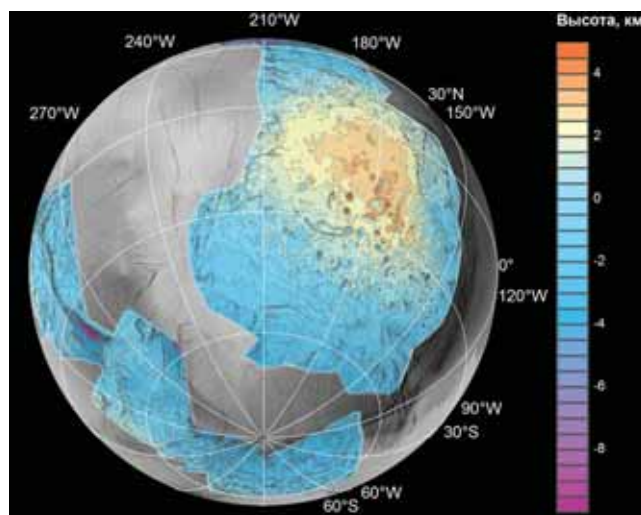


Рис. 4. Гипсометрическая карта Энцелада. Ортографическая проекция с центром в 45° ю.ш. и 210° з.д. (сечение горизонталей 0,5 км)

12. Giese B. et al. Enceladus: Evidence for librations forced by Dione, EPSC Abstracts, 2011, Vol. 6, EPSC-DPS2011-976.

Поступила 4 октября 2012 г.

Рекомендована кафедрой высшей геодезии МИИГАиК

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ОБНАРУЖЕНИЯ КРАТЕРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕБЕСНЫХ ТЕЛ ПО ИХ ОПТИЧЕСКИМ ИЗОБРАЖЕНИЯМ

Профессор, доктор техн. наук **В.А. Малинников**, кандидат техн. наук **Д.В. Учаев**,
профессор **Ю. Оберст**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: D-Uchaev@yandex.ru

Аннотация. Предложены методика и алгоритм автоматизированного обнаружения кратеров на поверхности небесных тел по их оптическим изображениям. На примере тестовых изображений Луны продемонстрирована эффективность предложенного алгоритма при решении задачи детектирования кратеров.

Ключевые слова: преобразование Хафа, ударный кратер, изображение Луны

Abstract. A technique and algorithm for automated detection of craters on a planetary surface using their optical images are proposed. Efficiency of the proposed algorithm for the decision of a problem of detecting of craters is shown on an example of test images of the Moon.

Keywords: Hough transform, impact crater, Moon image

Ударные кратеры являются углублениями, появившимися в результате падения метеоров, астероидов или комет на поверхность небесных тел. Их обнаружение и измерение имеет большое значение в изучении внеземных территорий. Прежде всего по причине того, что в большинстве случаев только методы дистанционного зондирования и последующее изучение распределения кратеров по их диаметрам оказываются единственно результативными при оценке возраста всей поверхности небесного тела или ее самостоятельной единицы, в случае, когда забор грунта непосредственно с поверхности невозможен [1,2]. Другой причиной является то, что центральные пики кратеров могут содержать образцы горных пород из недр небесного тела. И, следовательно, изучение пиков кратеров может помочь в решении задачи изучения поверхности исследуемого тела [3].

В настоящее время в связи с постоянным улучшением сенсоров и систем телеметрии космических аппаратов, запускаемых к различным небесным телам, существенно возрос объем получаемых данных и, в частности, изображений поверхности небесных тел высокого пространственного разрешения. Количество информации о характерных морфологических объектах поверхности исследуемого небесного тела (кратерах, бороздах и т.д.), которая может быть извлечена из космического изображения, зачастую оказывается настолько большим, что на первый план выходит задача автоматизации процедуры по извлечению этой информации.

Данная проблема уже рассматривалась в ряде научных работ, в которых было предложено множество различных алгоритмов, способных упростить эту задачу, путем автоматизации процесса детектирования кратеров на поверхности небесных тел по их цифровым оптическим изображениям (табл.). Но, несмотря на большое внимание к этой проблеме, обнаружение кратеров на космических изображениях по-прежнему по большей части проводится вручную, а применение автоматизированных методик не выходит за рамки научных экспериментов [4, 5].

Существует множество причин, мешающих широкому внедрению разрабатываемых алгоритмов на практике, среди которых, как правило, выделяют следующие [5, 6].

1. *Недостаток распознавательных признаков.* Кратеры как формы рельефа не обладают признаками, резко выделяющими их от других форм рельефа со схожей морфологической структурой. Кроме того, размеры кратеров сильно варьируют и могут отличаться на порядок. Невозможность обнаружения кратеров во многих случаях связана и с тем, что их валы часто эродированы в течение миллионов лет, приводя в итоге к значительному отклонению формы кратеров от окружности. Отдельной проблемой является перекрытие кратеров и формирование сложных форм рельефа из двух и более кратеров (цепочки кратеров, вложенные друг в друга кратеры и т.д.).

2. *Различное представление поверхности небесных тел на разных изображениях.*

Алгоритмы обнаружения кратеров на поверхности небесных тел по их оптическим изображениям

Источник (автор/ год публикации)	Исходные данные (оптическое изображение, ЦМР и др.)	Территория (Земля, Луна, Марс, Венера и др.)	Визуальное сопоставление	
Alves (2003)	Оптическое изображение	Марс	Косвенно	
Bandeira et al. (2007a)			Да	
Bandeira et al. (2007b)				
Bandeira et al. (2008a)				
Bandeira et al. (2008b)				
Bandeira et al. (2010)				
Barata et al. (2004)		Венера	Косвенно	
Barata et al. (2010)				
Barni et al. (2000)		Не опр.		
Bierhaus et al. (2001)		Луна		
Bijaoui and Froeschle (1980)				
Brumby et al. (2003)		Марс		Да
Bruzzone et al. (2004)	Оптическое изображение+др.	Земля		
Burl et al. (2001)	Оптическое изображение	Луна		
Cheng et al. (2004)		Земля и Марс	Косвенно	
Chicarro et al. (2003)	Оптическое изображение+др.	Земля, Луна и Марс	Да	
Cintala et al. (1976)	Оптическое изображение	Луна и Марс	Косвенно	
Cooper (2003)		Земля	Да	
Costantini et al. (2002)	Оптическое изображение+др.	Земля, Луна и Марс		
Di Stadio et al. (2002)				
Earl et al. (2005)	Оптическое изображение+ЦМР	Земля и Марс		
Flores-Mendez & Suarez-Cervantes (2009)	Оптическое изображение	Марс		
Furlanello et al., (2003)		Земля	Косвенно	
Hadad et al. (2001)				
Homma et al. (1997)	Не определено	Не опр.		
Honda et al. (2002)	Оптическое изображение	Луна	Да	
Jahn (1994)		Марс	Косвенно	
Johnson et al. (2005)		Земля и Марс		
Krøgli and Dypvik (2010)	Наземные+аэро	Земля и др.	Да	
Leroy et al. (2001)	Оптическое изображение	Марс	Косвенно	
Li et al. (2002)			Да	
Magee et al. (2003)				
Maimone et al. (2004)				
Martins et al. (2007)				
Martins et al. (2008)				
Martins et al. (2009)				
Meng et al. (2009)		Луна	Косвенно	
Pina et al. (2005)				
Plesko et al. (2006)		Марс	Да	
Salamuniccar and Loncaric (2010a)				
Saraiva et al. (2007)		Луна	Косвенно	
Sawabe et al. (2006)				
Smirnov (2002)		Марс	Да	
Urbach and Stepinski (2008)				
Urbach and Stepinski (2009)				
Vinogradova et al. (2002)				
Wetzler et al. (2005)				
Yamamoto et al. (1999)		Луна		
Yue et al.(2008)				

Различия в освещении, пространственном разрешении и качестве снимков могут быть таковыми, что даже близкие по своим морфометрическим характеристикам кратеры могут выглядеть по-разному.

3. *Большое количество кратеров диаметром меньше километра на снимках высокого разрешения.* С увеличением пространственного разрешения снимков число больших кратеров, которые могут быть идентифицированы вручную, становится значительно меньше, а малых кратеров, наоборот, на порядок больше относительно общего числа кратеров.

В статье мы представляем результаты работы по разработке методики и алгоритма автоматизированного обнаружения кратеров на поверхности небесных тел по их оптическим изображениям, работа над которыми началась в 2011 г. и продолжается до сих пор в Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий Московского государственного университета геодезии и картографии.

На этапе постановки задачи были выбраны следующие критерии, определяющие достижение цели.

1. Способность обнаруживать кратеры на изображениях при разном сочетании таких параметров съемки как освещенность, угол возвышения светила, характер рассеивания света поверхностью, а также состояние атмосферы в случае, если она имеется (например, на Марсе).

2. Возможность обнаруживать сильно эродированные кратеры при прочих благоприятных условиях.

3. Высокий процент обнаружения кратеров (более 70%) по изображениям разных небесных тел, получаемых с разных космических аппаратов.

Остаток статьи организован следующим образом. Во втором разделе приводится краткое описание различных подходов к автоматизированному обнаружению кратеров. В третьем разделе приводится описание разработанных методики и алгоритма автоматизированного обнаружения кратеров на поверхности небесных тел по их оптическим изображениям. И наконец, в заключительной третьей части продемонстрированы результаты экспериментальной апробации разработанного программного

обеспечения, реализующего предлагаемый алгоритм на примере космических изображений Луны.

Существующие подходы к автоматизированному (автоматическому) обнаружению кратеров можно разбить на две крупные категории (группы): неконтролируемые (необучаемые) оператором (т.е. полностью автономные, автоматические) и контролируемые (обучаемые), которые предполагают обучение детектора на основе некоторой совокупности тренировочного множества изображений [4, 7].

Необучаемые методы обнаружения кратеров [8–10] основаны на теории распознавания образов и применяются для обнаружения границ (краев) кратеров, имеющих округлую либо эллиптическую форму на космических изображениях. Сущность этих алгоритмов состоит в предварительной обработке цифрового изображения с целью подчеркивания границ кратеров и последующем обнаружении кратеров, используя преобразование Хафа, генетические алгоритмы [11] либо алгоритмы обнаружения участков цифрового изображения, обладающих вращательной симметрией [10].

Обучаемые методы обнаружения кратеров основаны на концепции машинного обучения. На стадии обучения используется обучающая последовательность изображений, содержащая кратеры, обнаруженные экспертом. На стадии обнаружения с помощью обученного раннее алгоритма обнаруживаются кратеры на интересующем пользователя изображении.

Как отмечается в работе [12], в обоих подходах кратеры обнаруживаются путем отбора из множества потенциальных кандидатов в кратеры. В необучаемых алгоритмах отбор производится путем наложения ограничений на параметры кандидатов в кратеры, которые показывают, насколько кандидат в кратеры близок по своей форме и текстурным признакам к реальному кратеру. В обучаемых алгоритмах обнаружения кратеров отбор проводится путем наложения ограничений на вероятность правильного детектирования их тем или иным классификатором. Таким образом, эффективность автоматизированного (автоматического) алгоритма обнаружения кратеров зависит от множества признаков, позволяющих отличить кратеры от других морфологических структур

на поверхности небесного тела, эффективного метода обнаружения всех возможных кандидатов в кратеры, а также набора критериев, позволяющих выделить кратеры из множества кандидатов в кратеры.

Методика автоматизированного обнаружения кратеров по их оптическим изображениям. Предлагаемая в данной работе методика автоматизированного обнаружения кратеров по их оптическим изображениям состоит из двух шагов: обработка тестового фрагмента и всего набора исследуемых изображений. Каждый из данных шагов состоит из следующих этапов:

- 1) предварительная обработка исходных оптических изображений;
- 2) построение контурного изображения, содержащего только пиксели образующие дуговые элементы на исходном изображении;
- 3) обнаружение кандидатов в кратеры;
- 4) классификация кандидатов в кратеры на истинные и ложные кратеры;
- 5) экспертная оценка полученных результатов и формирование итогового набора кратеров.

Первоначально исходное изображение, на котором требуется обнаружить кратеры, подвергается предварительной обработке. Основными процедурами на данном этапе являются яркостная коррекция изображения с целью увеличения контраста между светлыми и затененными участками кратеров, а также извлечение из исходного изображения области интереса, не содержащей неосвещенные участки поверхности небесного тела, а также изображение космического пространства.

Далее на втором этапе методики на основе изображения, подготовленного на предыдущем этапе, происходит построение контурного изображения, содержащего только пиксели, образующие дуговые элементы на исходном изображении. Данный этап является одним из важнейших шагов во всей методике, поскольку качество сформированного контурного изображения определяет потенциальное множество кратеров, которые могут быть обнаружены на исследуемом изображении. Одним из наиболее устойчивых алгоритмов построения контурного изображения является алгоритм, предложенный в работах [13, 14] и реализованный

в компьютерной программе «Гео-ПК». Данный алгоритм уже доказал свою эффективность на практике при обнаружении линейных элементов и кольцевых объектов на аэрокосмических изображениях разного пространственного и яркостного разрешения. В данной работе на базе упомянутого выше алгоритма предложен алгоритм построения контурного изображения, адаптированный для выявления штриховых «образов» дуговых элементов границы кратеров на цифровых изображениях. Ключевой особенностью данного алгоритма является формирование набора бинарных масок, каждая из которых предназначена для обнаружения участков границы кандидата в кратеры только одного типа (рис. 1, а).

На третьем этапе методики происходит формирование набора кандидатов в кратеры на основе анализа полученного на предыдущем этапе контурного изображения. Для этих целей в нашем алгоритме используется преобразование Хафа, позволяющее обнаруживать на монохромном изображении окружности разного диаметра [15, 16]. Суть данного алгоритма состоит в следующем: исходное контурное изображение из плоскости (x, y) переводится в плоскость (ρ_x, ρ_y, τ) , в которой все точки окружности $(x - \rho_x)^2 + (y - \rho_y)^2 = \tau^2$ изображаются одной точкой с координатами (ρ_x, ρ_y, τ) , где ρ_x, ρ_y — координаты центра окружности, а τ — радиус окружности. При этом в качестве исходных параметров задаются следующие величины: шаг по координатам $\rho_{\text{ш}}$ и радиусу $\tau_{\text{ш}}$ в преобразовании Хафа, а также допустимый диапазон диаметров кандидатов в кратеры $[d_{\text{min}}, d_{\text{max}}]$.

На основе указанных выше параметров формируется матрица $h(\rho_{x_k}, \rho_{y_l}, \tau_m)$, где $k = 1, \dots, N_k$; $l = 1, \dots, N_l$; $m = 1, \dots, N_m$; $N_k = \lfloor A/\rho_{\text{ш}} \rfloor$; $N_l = \lfloor B/\rho_{\text{ш}} \rfloor$; $N_m = (d_{\text{max}} - d_{\text{min}})/\tau_{\text{ш}}$. Заполнение данной матрицы производится по формуле $h(\rho_{x_k}, \rho_{y_l}, \tau_m) = h(\rho_{x_k}, \rho_{y_l}, \tau_m) + 1$ для всех контурных точек, для которых тройка значений $(\rho_{x_k}, \rho_{y_l}, \tau_m)$, определяющих положение кандидата в кратеры в параметрической плоскости, удовлетворяет соотношениям

$$\begin{aligned}\rho_{x_k} &= (i + \tau_m \cos \alpha') / \rho_{\text{ш}}; \\ \rho_{y_l} &= (j - \tau_m \sin \alpha') / \rho_{\text{ш}}; \\ \tau_m &= d_{\text{min}} + \lfloor (d_{\text{max}} - d_{\text{min}}) / \tau_{\text{ш}} \rfloor,\end{aligned}$$

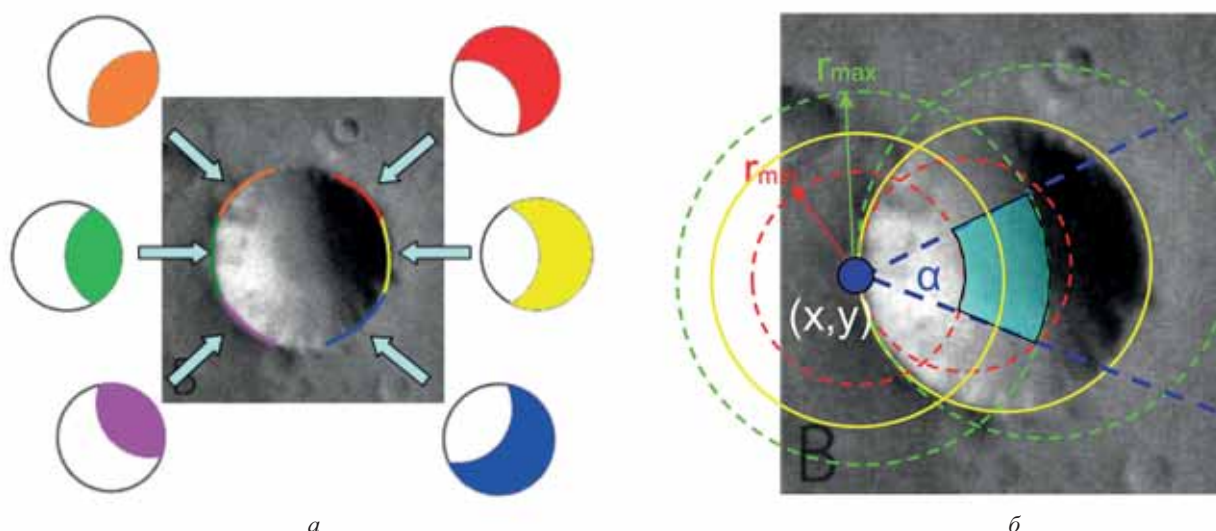


Рис. 1. Пример множества бинарных масок шести различных направлений, которые могут быть использованы для обнаружения дуговых фрагментов границы кандидата в кратеры — белым цветом обозначены темные области маски, остальными цветами — светлые области маски (а) и схема, демонстрирующая положение региона (закрашен голубым цветом), в котором происходит поиск центра кратера для каждой точки контурного изображения (б)

где α' — угол, задающий направление на центр предполагаемого кандидата в кратеры на изображении. Поиск центров кандидатов в кратеры осуществляется в направлении угла α : $\alpha \in [\alpha'(i, j) - C/2; \alpha'(i, j) + C/2]$, $C \approx 10^\circ$ (рис. 1, б).

После того как матрица Хафа сформирована, проводится ее фильтрация, в результате которой ненулевыми остаются лишь те ячейки матрицы, которые образованы пикселями контурного изображения двух типов: пикселями, полученными в результате отклика исходного изображения с масками, предназначенными для обнаружения фрагментов границы освещенной части кратеров, и пикселями, полученными в результате отклика исходного изображения с масками, предназначенными для обнаружения фрагментов границы затененной части кратеров. Соответствующие маски изображены на рис. 1, а соответственно слева и справа от кратера.

Следующим шагом классификации кандидатов в кратеры на истинные и ложные кратеры является пороговая фильтрация всего набора кандидатов в кратеры на основе параметра «выраженность», оцениваемого как отношение числа пикселей, дающих вклад в ненулевую ячейку матрицы Хафа, к длине соответствующей окружности. Опыт показывает, что высо-

кие значения параметра «выраженность» могут служить надежным индикатором высокой степени достоверности обнаруживаемого кратера. Пороговые значения данного параметра определяются, как правило, эмпирически на основе обработки тестового фрагмента исходного изображения и последующей экспертной оценки полученного результата и для разных снимков могут принимать разные значения.

Экспериментальная апробация разработанной методики и алгоритма на примере изображений Луны. С целью экспериментальной апробации разработанной методики и алгоритма были обработаны космические изображения поверхности Луны: дна кратера Менделеев и фрагмента территории, пройденной Луноходом-1 [17, 18].

Менделеев — большой ударный кратер на обратной стороне Луны, названный в честь выдающегося русского химика Д.И. Менделеева. Кратер расположен на материке южнее Моря Москвы рядом с лунным экватором. Дно кратерного бассейна практически плоское (в сравнении с окружающей кратер пересеченной местностью) и не имеет следов лавы. Однако его поверхность всё же относительно неровная и при ближайшем рассмотрении содержит множество мелких кратеров. В западной поло-

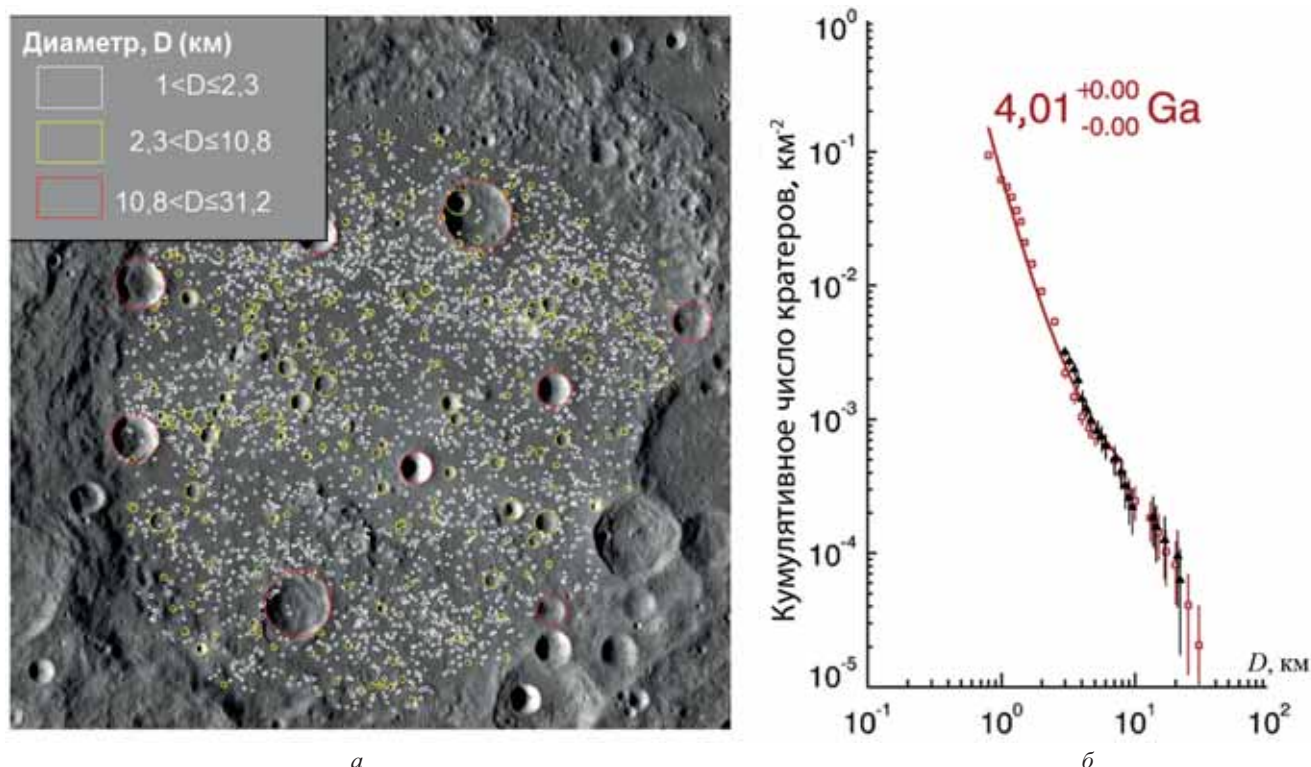


Рис. 2. Монохромная мозаика LROC WAC (Lunar Reconnaissance Orbiter Camera Wide Angle Camera) лунного кратера Менделеев (среднее пространственное разрешение 100 м/пикс.) с наложенными на него кратерами, обнаруженными разработанным автоматизированным алгоритмом (а) и кумулятивные функции распределения визуально (▲) и автоматизировано (□) обнаруженных кратеров на данной территории по их диаметрам (б)

вине бассейна находится цепочка расположенных на одной линии мелких кратеров (цепь Менделеев), которая начинается в юго-западной части и заканчивается у кратера Ричардс, проходя по касательной у его западного вала.

Спутниковое изображение тестового участка дна кратера Менделеев с наложенными на него контурами выделенных автоматизированно кратеров продемонстрировано на рис. 2, а. В результате анализа было обнаружено более 90% кратеров диаметром 800 м, детектированных визуально, при том, что число ложных кратеров составило приблизительно 5%. На рис. 2, б приведены кумулятивные функции распределения визуально и автоматизировано обнаруженных кратеров по их диаметрам [1].

Из сравнения двух распределений видно, что распределения кратеров, дешифрованных визуально и автоматизировано, практически не отличаются друг от друга. Данный результат может служить косвенным подтверждением достоверности выделенных автоматизировано кратеров.

Другим тестовым изображением, используемым нами при экспериментальной апробации, было изображение территории, пройденной Луноходом-1 (фрагмент данного изображения приведен на рис. 3). При данной

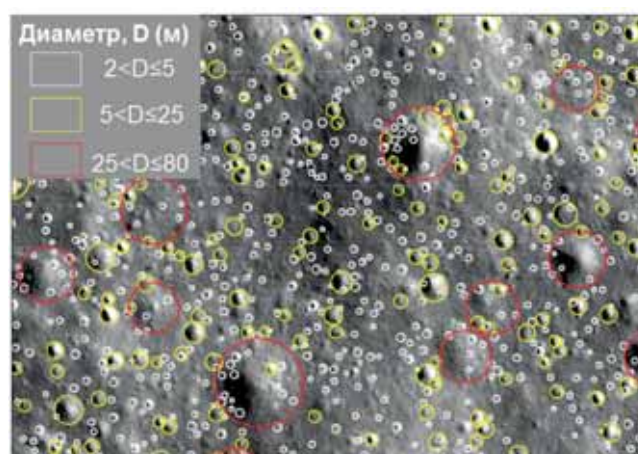


Рис. 3. Фрагмент монохромной мозаики LROC NAC (Lunar Reconnaissance Orbiter Camera Narrow Angle Camera) территории, пройденной Луноходом-1 (пространственное разрешение 0,5 м/пикс.)

обработке целью являлось обнаружение кратеров диаметром от 2 до 80 м. При сравнении с результатами визуального детектирования было обнаружено, что около 75% кратеров, детектированных вручную, находят соответствие в наборе кратеров, обнаруженных автоматизировано. При этом ошибка обнаружения растёт с увеличением диаметров обнаруживаемых кратеров (>25 м) и может достигать 30% для территории с большим числом неглубоких или сильно разрушенных кратеров. Вместе с тем экспертный анализ показывает, что предлагаемый алгоритм автоматизированного детектирования кратеров способен обнаружить большое число малых кратеров диаметром от 2 до 25 м, не обнаруживаемых при визуальном анализе.

Полученные в ходе апробации разработанной методики результаты, могут служить экспериментальным подтверждением возможности использования ее для автоматизированного обнаружения кратеров разного диаметра по космическим изображениям. В будущем планируется усовершенствование разработанной методики и алгоритма с целью повышения процента обнаружения истинных кратеров и сокращения числа ложных обнаружений. Кроме того, одним из первоочередных направлений развития разработанной методики является исследование возможности применения преобразования Хафа для обнаружения кратеров эллиптической формы на изображениях малых небесных тел высокого разрешения. Данное направление развития является особенно востребованным при изучении малых тел Солнечной системы, таких как Фобос или астероид Веста.

Работа выполнена при поддержке гранта Правительства РФ (Постановление №220) по договору № 11.G34.31.0021 от 30.11.2010.

ЛИТЕРАТУРА

1. Neukum G., König B., Arkan-Hamed J. A study of lunar impact crater size-distributions // *The Moon*. –1975. –Vol. 12, –№2. –P. 201–229.
2. Hartmann W.K., Neukum G. Cratering Chronology and the Evolution of Mars // *Space Science Reviews*. –2001. –Vol. 96, –№1. –P. 165–194.
3. Tompkins S., Pieters C.M. Mineralogy of the lunar crust: Results from Clementine // *Meteoritics and Planetary Science*. –1999. –Vol. 34. –P. 25–41.
4. Salamunićcar G. et al. MA130301GT catalogue of Martian impact craters and advanced evaluation of crater detection algorithms using diverse topography and image datasets // *Planet. Space Sci.* –2011. –Vol. 59, –№1. –P. 111–131.
5. Kim J.R. et al. Automated crater detection, a new tool for Mars cartography and chronology // *Photogrammetric Engineering And Remote Sensing*. –2005. –Vol. 71, –№10. –P. 1205–1217.
6. Ding W. et al. Sub-kilometer crater discovery with boosting and transfer learning // *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.* –2011. –Vol. 2, –№4. –P. 39:1–39:22.
7. Salamunićcar G., Lončarić S. Open framework for objective evaluation of crater detection algorithms with first test-field subsystem based on MOLA data // *Advances in Space Research*. –2008. –Vol. 42, –№1. –P. 6–19.
8. Barata T. et al. Automatic Recognition of Impact Craters on the Surface of Mars // *Image Analysis and Recognition* / ed. Campilho A., Kamel M. Springer Berlin / Heidelberg. –2004. –Vol. 3212. –P. 489–496.
9. Cheng Y. et al. Optical landmark detection for spacecraft navigation // *Proc. of the 13th Annual AAS/AIAA Space Flight Mechanics Meeting*. –2003. –P. AAS 03–225.
10. Honda R., Iijima Y., Konishi O. Mining of Topographic Feature from Heterogeneous Imagery and Its Application to Lunar Craters // *Progress in Discovery Science* / ed. Arikawa S., Shinohara A. Springer Berlin / Heidelberg. –2002. –Vol. 2281. –P. 27–44.
11. Earl J. et al. Automatic Recognition of Crater-like Structures in Terrestrial and Planetary Images // *Workshop on the Role of Volatiles and Atmospheres on Martian Impact Craters*. LPI Contribution. Laurel, Maryland. –2005. –Vol. 1273. –P. 36–37.
12. Bandeira L., Ding W., Stepinski T.F. Detection of sub-kilometer craters in high resolution planetary images using shape and texture features // *Adv. Space Res.* –2012. –Vol. 49, –№1. –P. 64–74.
13. Фам Суан Хоан и др. Разработка алгоритмов и программ линейного анализа цифровых изображений земной поверхности // *Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка»*. –2011. –№1 –С. 67–73.
14. Фам Суан Хоан и др. Разработка алгоритма линейного анализа аэрокосмических изображений с целью решения геологических задач // *Приложение к журналу Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка»*. –2011. –Вып. 4. –С. 81–86.
15. Hough V. P. C. Method and means for recognizing complex patterns: letter 3069654 USA. –1962.
16. Yuen H.K. et al. A comparative study of Hough Transform methods for circle finding // *Proc of 5th Alvey Vision Club Conference*, Reading University. –1989. –P. 169–174.
17. Uchaev D.V. et al. Automated detection of lunar craters in planetary images their texture features // *Proc. of conf. “The golden age of the solar system exploration: 1970-2010.”* –Rome, 2012
18. Uchaev D.V., Uchaev D.V., Malinnikov V.A. A texture-based algorithm for automated crater detection // *Proc. of “European Planetary Science Congress 2012.”* –Madrid, Spain, 2012.

Поступила 9 октября 2012 г.

Рекомендована кафедрой прикладной экологии и химии МИИГАиК

ГЕОДЕЗИЯ

СРАВНЕНИЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ГЛОБАЛЬНОЙ МОДЕЛИ EGM 2008
С НАЗЕМНЫМИ ДАННЫМИПрофессор, кандидат техн. наук **А.П. Юзефович**, бакалавр **И.А. Ощепков***Московский государственный университет геодезии и картографии**E-mail: ilya.oshchepkov@gmail.com*

Аннотация. Гравиметрические аномалии высоты глобальной модели EGM2008 сравниваются с астрономо-геодезическими, полученными в НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК по GPS-определениям на реперах нивелирования. Среднее расхождение $+0,14$ м (гравиметрические аномалии высоты больше), а среднее квадратическое — $\pm 0,06$ м. Результаты подтверждаются сравнением аномалий силы тяжести EGM 2008 с наземной гравиметрической съемкой.

Ключевые слова: глобальные модели геопотенциала, аномалия высоты, аномалия силы тяжести

Abstract. Gravimetric EGM 2008 height anomalies are compared to astro-geodetic ones derived from GPS measurement of levelling benchmarks by Geodinamika research centre. The mean difference is $+0.14$ m (gravimetric anomalies are higher), mean square deviation is ± 0.06 m. Comparison of EGM2008 gravity anomalies to terrestrial gravimetric data confirms the results.

Keywords: Earth Global Models, height anomaly, gravity anomaly

В конце 2008 г. появилась гармоническая модель геопотенциала EGM 2008, созданная Национальным управлением геопространственной разведки США (NGA). Она содержит коэффициенты разложения до $n=2160$, что соответствует разрешению минимальной полушарной длиной $180^\circ/2160$, т.е. $5'$ или 9 км. Особенности этой модели и её сравнение с другими гармоническими моделями и с картами квазигеоида описаны в [1–3].

При создании EGM 2008 были использованы аномалии силы тяжести, осредненные по трапециям $5' \times 5'$, для 95% поверхности Земли. Для России у авторов модели имелись данные, основанные на картах аномалий Буге масштаба 1:1 000 000. Для ряда территорий применялись «данные конфиденциального характера с определенными поправками» [1]. Разработчики модели стремились уменьшить ошибку вычисления высот геоида до $0,15$ м.

Выясним точность представления моделью EGM 2008 аномального гравитационного поля в районе Москвы и её окрестностей. Для этого сначала сравним вычисленные по EGM 2008 гравиметрические аномалии высо-

ты с астрономо-геодезическими.

Для Москвы имеется карта астрономо-геодезических аномалий высоты (высот квазигеоида), сечением 2 см, составленная в 1997 г. А.М. Ширениным и А.М. Мещеряковым в НИЦ «Геодинамика» МИИГАиК по много часовым GPS-измерениям на пунктах точного нивелирования [4]. Ошибка определения астрономо-геодезических аномалий высоты на этих пунктах составила $1\text{--}1,5$ см.

На рис. 1 показана карта гравиметрической аномалии высоты модели EGM 2008. Как и в выводах по другим надежным моделям, видны главные её особенности: изменение высоты геоида почти на $1,5$ м в пределах МКАД и выгиб на юге, отражающий знаменитую Московскую аттракцию. На рис. 2 показаны разности гравиметрических (EGM 2008) и астрономо-геодезических аномалий высоты. Как видно, эти разности всюду положительные и не превышают $+0,25$ м, причем наибольшие величины находятся за пределами МКАД. Оценка точности модели выполнена по разностям гравиметрических и астрономо-геодезических аномалий высоты на 51 пункте GPS-наблюдений, совме-

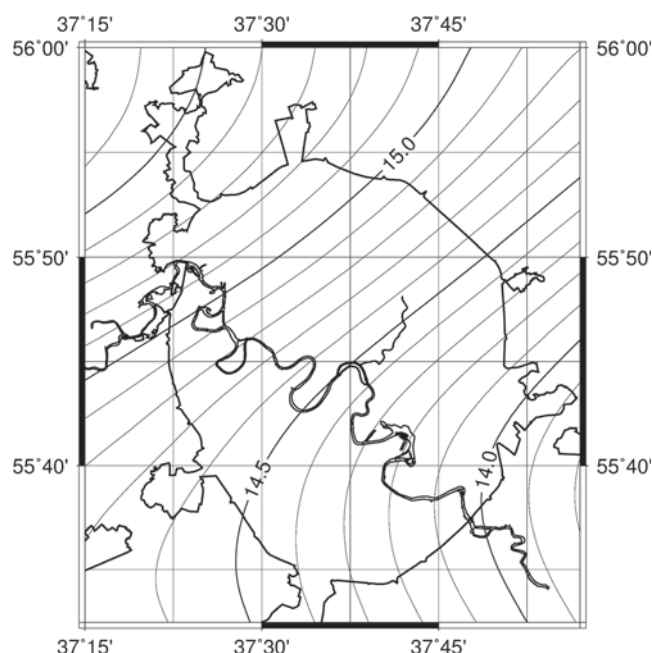


Рис. 1. Гравиметрические аномалии высоты по модели EGM 2008 (сечение 0,1 м)

щенными с фундаментальными и грунтовыми реперами; расстояние между реперами 4–10 км. Средняя разность составила +0,14 м, а среднее квадратичное расхождение $\pm 0,06$ м. Внутри МКАД изолинии сечением 0,025 м очерчивают непрерывное понижение с севера и с юга, которое завершается минимумом +3 см на северо-западе Москвы. Таким образом, точность гравиметрических высот EGM 2008 близка к заявленной авторами модели 15 см.

Обратимся теперь к другому надежному способу оценки качества модели с помощью наземной гравиметрической съемки. В 1941 г. в учебнике Л.В. Сорокина [5] была опубликована карта аномалий в свободном воздухе сечением 5 мГал для трапеции $1^\circ \times 1,5^\circ$, включающая Москву. Карта построена по довоенной маятниковой съемке с шагом 3–15 км, точность измерений составляла в те годы 2–3 мГал.

Спутниковая модель позволяет получить чистую аномалию в свободном воздухе Δg как радиальную производную аномального потенциала T :

$$\Delta g_{\text{ч}} = -\frac{\partial T}{\partial \rho} \quad (1)$$

или смешанную аномалию

$$\Delta g_{\text{см}} = -\frac{\partial T}{\partial \rho} - \frac{2T}{\rho} = \Delta g_{\text{ч}} - \frac{2T}{\rho}. \quad (2)$$

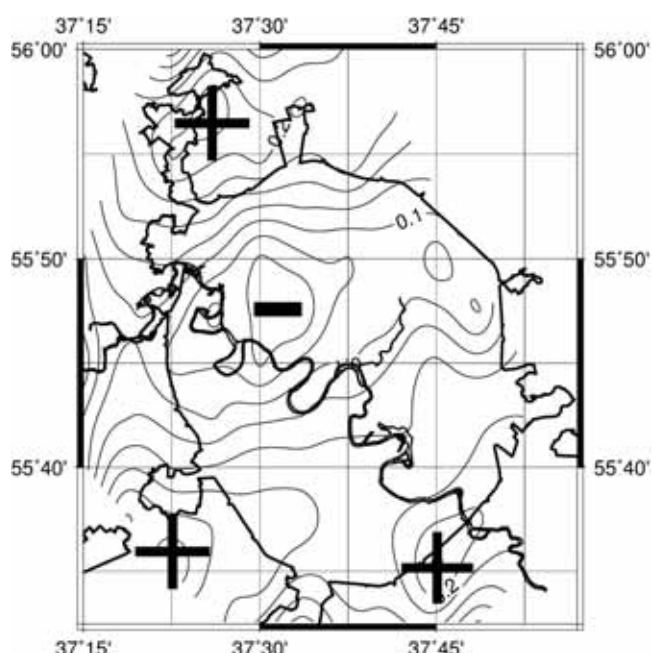


Рис. 2. Разности гравиметрических и астрономо-геодезических аномалий высоты (сечение 0,025 м)

На рис. 3 показана карта чистых аномалий в свободном воздухе модели EGM 2008, а на рис. 4 их расхождения с довоенной гравиметрической картой (различия коэффициентов формулы нормальной силы тяжести Гельмерта и WGS84 были учтены). На территории Москвы расхождения достигают –19 мГал.

Точность чистых аномалий модели EGM 2008 оценивалась по аномалиям на пунктах гравиметрической съемки, выполненной в 1961 г. для создания карты масштаба 1:200 000. Ошибки определения аномалии на пунктах этой съемки 0,12 мГал. На 70-ти пунктах съемки среднее расхождение чистых аномалий составило –3,2 мГал, а среднее квадратическое $\pm 8,4$ мГал.

Заметим, что рис. 2 и 4, на которых показаны расхождения модели EGM 2008 с наземными данными, имеют общее: в обоих случаях расхождения убывают в Москве как с севера, так и с юга, образуя полуволну длиной 15' и долготную полосу с минимумами +3 см и –19 мГал. Оба результата независимы и потому говорят об одном и том же: глобальная модель EGM 2008 представляет сглаженное аномальное поле и не позволяет учитывать его локальные особенности в районе Москвы. Поэтому использовать спутниковые аномалии высоты надо с осторожностью.

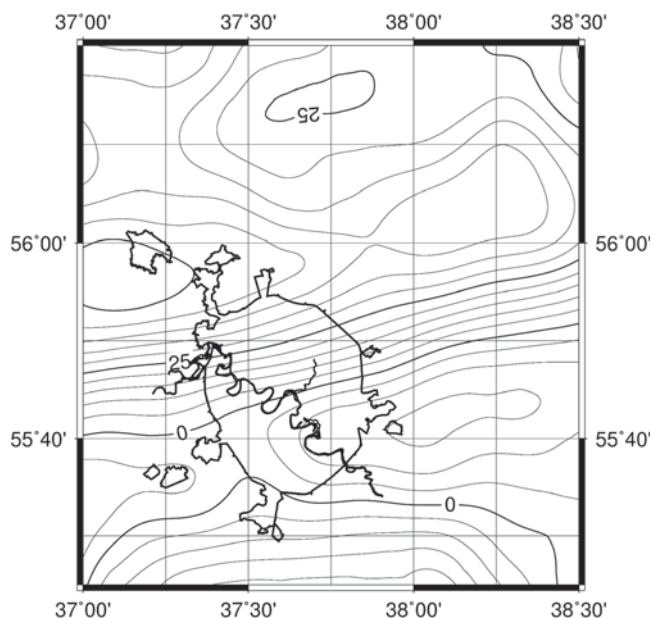


Рис. 3. Чистые аномалии в свободном воздухе модели EGM 2008 (сечение 5 мГал)

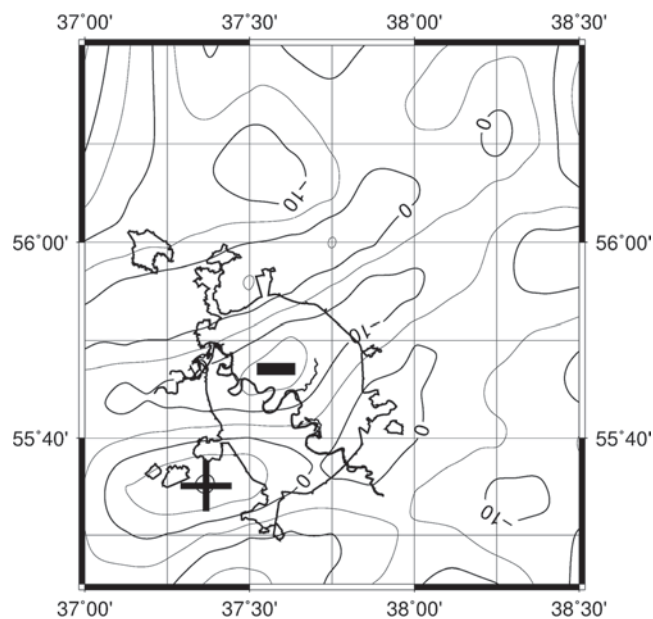


Рис. 4. Разность аномалий в свободном воздухе (сечение 5 мГал)

ЛИТЕРАТУРА

1. Непоклонов В.Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования. Ч.1 // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. –2009. –№2. –С. 72–76.
2. Непоклонов В.Б. Об использовании новых моделей гравитационного поля Земли в автоматизированных технологиях изысканий и проектирования. Ч.2 // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. –2009 –№ 3. –С. 78–81.
3. Пугин А.П., Березина С.В. Глобальная модель геопотенциала геоида EGM2008. Предварительный анализ // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. –2008. –№3. –С. 63–66.

4. Ширенин, А.М., Мещеряков, А.М. Построение единой высотной основы и карты высот квазигеоида по геодезическим спутниковым измерениям на регион г. Москвы // Междун. научн.-техн. конференция, посвященная 220-летию со дня основания Московского государственного университета геодезии и картографии. –М.: МИИГАиК. –1999.

5. Сорокин Л.В. Курс гравиметрии и гравиметрической разведки М.-Л.: Гостоптехиздат, 1941. –548 с.

Поступила 29 декабря 2011 г.

Рекомендована кафедрой высшей геодезии МИИГАиК

РЕДУКЦИЯ КООРДИНАТ ПУНКТОВ ПЛАНОВОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ПЛОТИН

Аспирант Динь Тхи Ле Ха

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: hadinhle_tdct@yahoo.com.vn

Аннотация. Рассматривается метод редукции координат пунктов плановой опорной сети при строительстве высоких плотин.

Ключевые слова: редукция, координаты, пункты плановой опорной сети, засечка

Abstract. A method for reduction of coordinates of a reference network points at high dams' construction is considered.

Keywords: reduction, reference network points, cuts

Создание плановых опорных сетей при строительстве крупных плотин сопряжено с некоторыми трудностями. Во-первых, пункты опорной сети не всегда удается разместить вблизи оси плотины из-за значительных тер-

риторий, затопляемых водохранилищем. Во-вторых, при изменении нагрузки, вызванной массой плотины и воды водохранилища, неизбежны осадки территории вблизи водохранилища. И в-третьих, вблизи создаваемого водо-

хранилища существенно изменяется уровень грунтовых вод, что так же, как правило, приводит к деформациям земной поверхности. Эти обстоятельства заставляют располагать пункты плановой опорной сети в нижнем бьефе на значительных расстояниях, обычно на расстоянии 1–2 км от оси плотины. А это порождает новые трудности при выполнении разбивочных работ.

Принято считать, что разбивочные работы могут выполняться с использованием угловых, линейных или линейно – угловых засечек, причем засечки могут быть как прямые, так и обратные без указания каких-либо особенностей их использования. При строительстве высоких плотин, когда пункты опорной сети удалены на значительные расстояния, использование прямых и обратных засечек при разбивочных работах может приводить к существенным рассогласованиям из-за непараллельности отвесных линий в пунктах стояния инструментов. На рис. 1 демонстрируется ситуация при выполнении разбивочных работ, когда инструмент (теодолит или электронный тахеометр) установлен на пункте A плановой опорной сети (рис. 1).

В этом случае плоскость, к которой будут приведены все результаты расчета, перпендикулярна к отвесной линии OO' в точке стояния инструмента. Следовательно, в этой системе отсчета плотина будет считаться отвесной, если она будет построена вдоль оси $NN' \parallel OO'$. Однако если на оси плотины в пункте B будет поставлен прибор вертикального проектирова-

ния, то плотина будет возводиться по оси PP' , что и должно соответствовать условиям строительства. Если на монтажный горизонт координаты будут передаваться полярным методом, то плотина будет построена по оси NN' , которая будет отстоять от оси PP' на величину

$$\delta = (H - H_A) \sin \varphi = \frac{S(H - H_A)}{R},$$

где H — высота монтажного горизонта; H_A — высота пункта A ; S — расстояние между опорным пунктом и плотиной; R — радиус Земли.

Например, при $S=1000$ м, $H-H_A=200$ м, $R=6371$ км, $\delta=31,4$ мм, что недопустимо при разбивочных работах, а при больших высотах плотины эта величина будет возрастать.

Ситуация может существенно осложниться, если часть разбивочных работ выполнять с пунктов опорной сети (прямые засечки), а часть — с монтажного горизонта (обратные засечки). Как будет показано далее ошибки выноса пунктов разбивочных сетей, расположенных на монтажном горизонте, в таком случае увеличатся более чем в два раза и могут почти на порядок превосходить требуемую точность разбивочных работ. В связи с тем, что в технической и нормативной литературе эти вопросы не рассмотрены, а величины возможных ошибок весьма значительны, рассмотрим влияние непараллельностей отвесных линий на пунктах опорных сетей и монтажном горизонте более детально.

Обычно понятия прямая засечка и обратная засечка относятся только к угловым засечкам и не применяются при использовании линейных измерений. Однако, как будет показано далее, для разбивочных работ это имеет принципиальное значение. В связи с этим в данной работе под понятием прямая засечка (линейная или угловая) будем понимать измерения с пунктов опорной геодезической сети на визирную цель, расположенную на монтажном горизонте. Под понятием обратная засечка (линейная или угловая) будем понимать измерения с определяемого пункта на монтажном горизонте на визирные цели, расположенные на пунктах опорной геодезической сети.

Вначале рассмотрим особенности определения приращений координат между пунктами опорной геодезической сети. При создании опорной геодезической сети с использованием электронных тахеометров, как правило, линейные измерения выполняются в прямом и

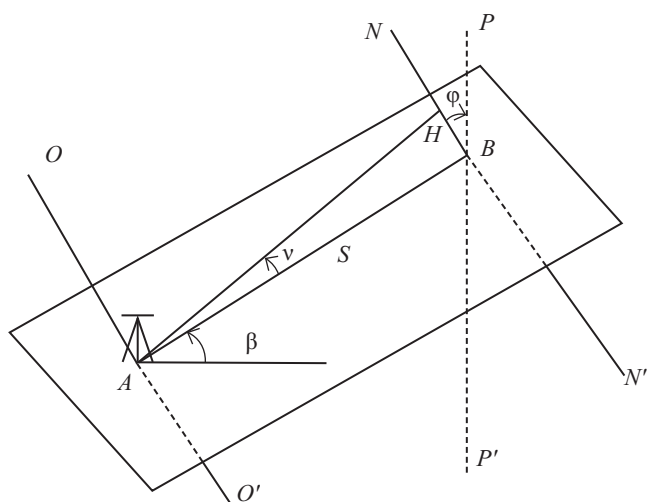


Рис. 1. Разбивочные работы с пункта опорной сети

обратном направлениях. Целесообразность таких действий обоснована в [1], однако, в этой работе не оговаривается положение поверхности, в которой будут определены приращения координат между этими пунктами. Пусть между пунктами A и B измерены наклонное расстояние S и углы наклона на противоположных концах линии v_1, v_2 .

Из треугольника OAB получим угол OAB (рис. 2) и $\varphi_A = 90^\circ + v_1$, угол OBA равен $\varphi_B = 90^\circ + v_2$, так как измеренный угол v_2 ниже линии горизонта и будет иметь отрицательное значение $\varphi + \varphi_A + \varphi_B = 180^\circ$ или $\varphi + v_1 + v_2 = 0$, следовательно, $v_2 = -(\varphi + v_1)$.

Горизонтальные проложения S_1 и S_2 соответственно равны:

$$S_1 = S \cos v_1; \quad S_2 = S \cos v_2 = S \cos(\varphi + v_1).$$

Разность между горизонтальными проложениями

$$\begin{aligned} \delta &= S_1 - S_2 = S(\cos v_1 - \cos(\varphi + v_1)) = \\ &= 2S \sin\left(v_1 + \frac{\varphi}{2}\right) \sin \frac{\varphi}{2}. \end{aligned}$$

При малых углах наклона

$$\sin\left(v_1 + \frac{\varphi}{2}\right) \approx \frac{1}{\rho}\left(v_1 + \frac{\varphi}{2}\right); \quad \sin \frac{\varphi}{2} = \frac{\varphi}{2\rho}.$$

Следовательно

$$\delta = S\left(v_1 + \frac{\varphi}{2}\right) \frac{\varphi}{\rho^2} = \frac{S v_1 \varphi}{\rho^2} + S \frac{\varphi^2}{2\rho^2}. \quad (1)$$

Учитывая, что при расстояниях, применяемых в прикладной геодезии, длина дуги $D \approx S$, $\varphi = \rho S/R$ и формула (1) примет вид

$$\delta = \frac{S^2 v_1}{\rho R} + \frac{S^3}{2R^2},$$

а с учетом того, что $h \approx S v_1 / \rho$ — $\delta = \frac{Sh}{R} + \frac{S^3}{2R^2}$.

Среднее расстояние между «прямо» (S_1) и «обратно» (S_2):

$$\begin{aligned} S_{cp} &= \frac{1}{2}(S_1 + S_2) = \frac{S}{2}[\cos v_1 + \cos(\varphi + v_1)] = \\ &= \frac{S}{2} \cos v_1 + \frac{S}{2} \cos v_1 \left(1 - \frac{\varphi^2}{2}\right) - \frac{h\varphi}{2}; \end{aligned}$$

$$S_{cp} = S \cos v_1 - \frac{hS}{2R} - \frac{S^3}{4R^2}.$$

Величина $S^3/4R^2$ весьма малая, ее возможные значения не более 0,1 мм даже при $S \approx 2$ км. Для большинства инженерно-геодезических

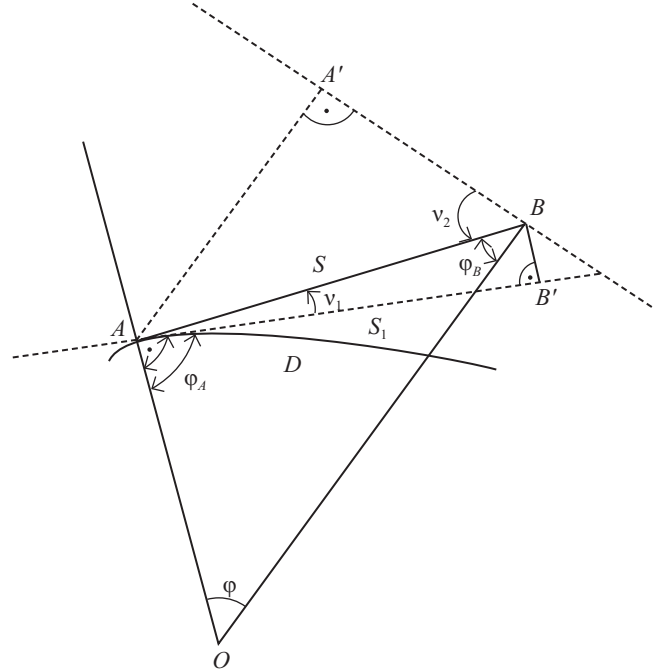


Рис. 2. Вычисление горизонтальных проложений наклонной линии S_{AB} по результатам измерений углов наклона на противоположных концах линии

задач этой величиной можно пренебречь и S_{cp} в таком случае можно определить по формуле

$$S_{cp} = S \cos v_1 - \frac{hS}{2R}. \quad (2)$$

Рассмотрим к какой плоскости относится средняя величина расстояния S_{cp} . С этой целью расположим инструмент строго в середине и в створе между пунктами A и B (рис. 3).

Определим чему равны углы v_3 и v_4 . Из треугольника OAC имеем:

$$\angle OAC = 90^\circ + v_1; \quad \angle AOC = \varphi/2; \quad \angle ACO = 90^\circ + v_3.$$

Следовательно, $90^\circ + v_1 + \varphi/2 + 90^\circ + v_3 = 180^\circ$, или $v_3 = -(v_1 + \varphi/2)$. При этом следует помнить, что угол v_3 измеряется вниз от линии горизонта и в полевых журналах или в электронной записи результатов измерений будет иметь отрицательный знак.

Как нетрудно убедиться из рис.3, $v_4 = -v_3 = v_1 + \varphi/2$. В таком случае горизонтальное проложение линии AB на плоскость, проходящую через среднюю точку C ,

$$\begin{aligned} S_{AB_1} &= S \cos\left(v_1 + \frac{\varphi}{2}\right) = S \cos v_1 \cos \frac{\varphi}{2} - S \sin v_1 \sin \frac{\varphi}{2} = \\ &= S \cos v_1 \left(1 - \frac{\varphi^2}{8\rho^2}\right) - S \frac{v_1}{\rho} \frac{\varphi}{2\rho} = S \cos v_1 - \frac{S^3}{8R^2} - \frac{SH}{2R}. \end{aligned}$$

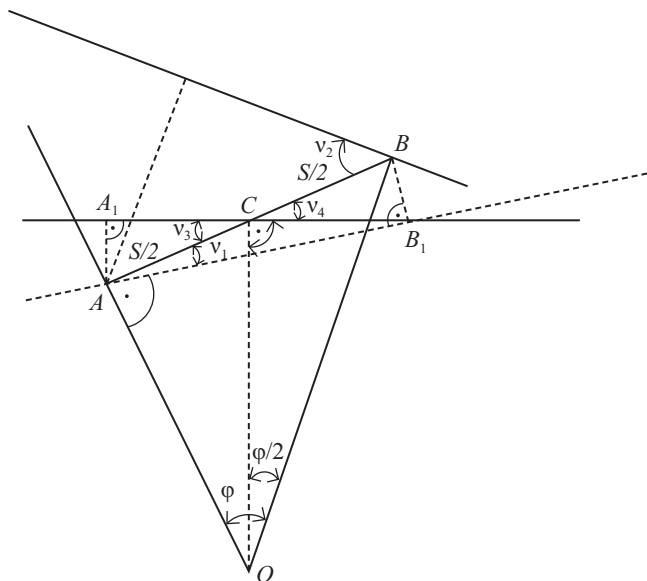


Рис. 3. Редуцирование расстояния S_{AB} на среднюю плоскость A_1CB_1

Как видно формула $S^3/8R^2$ незначительно отличается от (2). В таком случае можно сделать важный вывод: среднее значение из результатов измерений «прямо» и «обратно» находится в плоскости нормальной отвесной линии, проходящей в створе между пунктами в середине измеряемой линии на средней высоте

$$H_{\text{ср}} = \frac{H_A + H_B}{2}.$$

Таким образом, если для выноса пунктов внутренней разбивочной сети используют прямую угловую (рис. 4) или линейную засечку с измерениями с пунктов опорной сети на визирную цель, установленную на монтажном горизонте необходимо вычислить:

1) координаты визирной цели X_v, Y_v, H_v , используя прямую угловую или линейную засечку;

2) координаты средней точки между опорными пунктами A и B

$$X_{\text{ср}} = \frac{X_A + X_B}{2}; Y_{\text{ср}} = \frac{Y_A + Y_B}{2}; H_{\text{ср}} = \frac{H_A + H_B}{2};$$

3) расстояния от средней точки до визирной цели и дирекционный угол этой стороны

$$S_{\text{ред}} = \sqrt{(X_v - X_{\text{ср}})^2 + (Y_v - Y_{\text{ср}})^2};$$

$$\text{tg } \alpha_{\text{ред}} = \frac{Y_v - Y_{\text{ср}}}{X_v - X_{\text{ср}}};$$

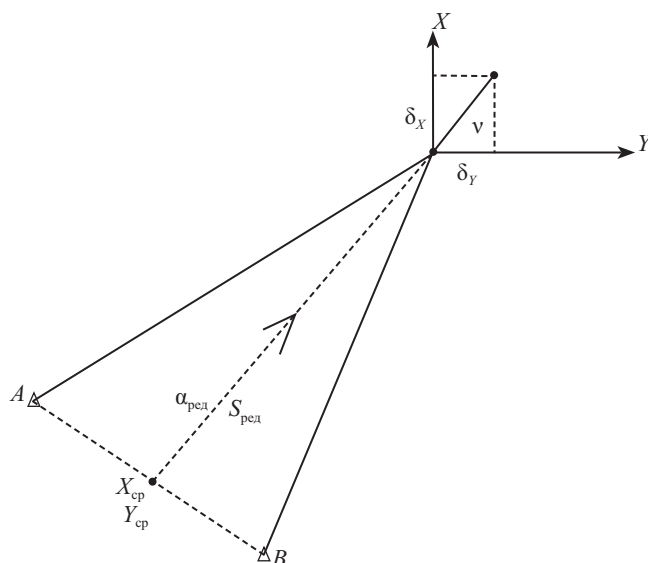


Рис. 4. Редуцирование координат при использовании прямой засечки

4) линейный элемент редукиции координат

$$v = \frac{S_{\text{ср}}(H_v - H_{\text{ср}})}{R};$$

5) поправки к координатам визирной цели на монтажном горизонте

$$\delta x = v \cos \alpha_{\text{ред}}; \quad \delta y = v \sin \alpha_{\text{ред}};$$

6) координаты визирной цели, отнесённые к плоскости монтажного горизонта

$$X_{\text{в(ред)}} = X_v - \delta x; \quad Y_{\text{в(ред)}} = Y_v - \delta y.$$

Такой метод редуцирования результатов измерений наиболее рационален, так как не использует понятие поверхности относимости. Каждая новая поверхность монтажного горизонта является новой поверхностью относимости. На поверхность относимости раньше редуцировались лишь результаты линейных измерений. Складывалось впечатление, что при использовании прямой угловой засечки редуционные проблемы решать не требуется, что приводило к искажению результатов обработки полевых измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клюшин Е.Б., Кравчук И.М., Чинь Тхань Чыонг, Чан Куанг Хок. Учёт влияния кривизны Земли при инженерно-геодезических работах // Изв.вузов. «Геодезия и Аэрофотосъемка». –2012. –№ 1. –С. 11–14.

Поступила 24 сентября 2012 г.
Рекомендована кафедрой
прикладной геодезии МИИГАиК

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВНУТРЕННЕГО ЭЛЕКТРОННОГО УРОВНЯ API LASER TRACKER 3

Кандидат техн. наук **Ю.А. Пупков**¹, доцент, кандидат техн. наук **П.П. Мурзинцев**², инженер-геодезист 1 категории **Д.Б. Буренков**¹, старший инженер-геодезист **А.В. Полянский**¹, инженер-геодезист 2 категории **Л.Е. Сердаков**¹

¹Институт ядерной физики СО РАН, г. Новосибирск

²Сибирская государственная геодезическая академия, г. Новосибирск

E-mail: Yurpukov@mail.ru

Аннотация. Представлено исследование внутреннего электронного уровня высокоточной координатно-измерительной системы API Laser Tracker 3. Рассматривается методика определения погрешности электронного уровня. Предложено решение минимизации погрешностей электронного уровня.

Ключевые слова: API Laser Tracker 3, высокоточная координатно-измерительная система, электронный уровень

Abstract. Research of internal electronic level of high-precision coordinate measuring system API Laser Tracker 3 is presented. The technique of determining the accuracy of the electronic level is considered. A solution minimizing errors of electronic level is offered.

Keywords: API Laser Tracker 3, high precision coordinate measurement system, electronic level

Внедрение в производство новых измерительных систем повышает актуальность исследований их точности. Результаты этих исследований необходимо учитывать при установке и геодезическом контроле эксплуатации уникального оборудования ускорительно-накопительных комплексов. В Институте ядерной физики СО РАН в течение ряда лет разрабатываются методики установки и геодезического контроля технологического оборудования с применением API Laser Tracker 3.

API Laser Tracker 3 (рис.1) — высокоточная координатно-измерительная система, основанная на принципе слежения за уголкового отражателем с помощью лазерного луча. По измеренным углам и расстояниям вычисляются текущие пространственные координаты отражателя. Координаты можно получать как в статическом режиме, так и в динамике. API Laser Tracker 3 оснащен двумя типами дальномеров: интерферометром и абсолютным дальномером. Особенностью системы API Laser Tracker 3 является наличие встроенного электронного уровня, который позволяет проводить работы от горизонта. Система производит горизонтирование автоматически [1].

Технические характеристики системы [2]. Измерительный диапазон: по горизонтали — $640^\circ (\pm 320^\circ)$; по вертикали: от $+80^\circ$ до -60° ; угловое разрешение — $\pm 0,07''$; точность горизонтирования — $\pm 2''$.

Точность объемных измерений: разре-



Рис. 1. Общий вид API Laser Tracker 3:

1 — штатив; 2 — отражатель в домашней позиции;
3 — голова трекера

ние — 1 мкм; повторяемость — не хуже 2,5 ppm (2 sigma).

Абсолютная 3D-погрешность — статическая: не хуже ± 5 ppm (2 sigma); динамическая — не хуже ± 10 ppm (2 sigma).

Характеристики интерферометрического (IFM) дальномера: разрешение — 1 мкм; точность — не хуже чем 1,0 ppm.

Центр системы координат прибора находится на пересечении двух осей вращения измерительной головки. Ось Z совпадает с вертикальной осью вращения. Плоскость XZ ориентируется через неподвижную контрольную и поверочную точку на корпусе прибора («домашняя точка») (рис. 2). С установки отразителя на эту точку начинаются измерения.

Технические характеристики системы, представленные производителем [1, 2], позволяют считать ее одной из самых высокоточных на сегодняшний день. Согласно приведенным техническим характеристикам, среднеквадратическая погрешность горизонтирования $\pm 2'' (2\sigma)$ в диапазоне наклона вертикальной оси прибора $\pm 1^\circ$. Для введения прибора в этот диапазон штатив оборудован круглым уровнем с ценой деления 1° .

Опция «Level measure» (горизонтирование) предусматривает создание системы координат с горизонтальной плоскостью XY , в ко-

торой представляются результаты измерений. При этом данные электронного уровня (аналог компенсации) используются самим прибором. В такой опции разность Z координат пунктов дает их превышения, которые могут быть измерены другими способами, в т.ч. высокоточным нивелированием. Работа в такой опции необходима при измерениях в протяженных сетях с большим количеством стоянок прибора. Отдельные сегменты сети последовательно связываются в единое целое с приведением к единой горизонтальной плоскости.

При выполнении работ с помощью API Laser Tracker 3 на комплексах Института ядерной физики СО РАН были обнаружены разницы превышений до 2 мм на расстоянии ~40 м между контролируемыми пунктами при разных стоянках прибора. Угловые и линейные измерения не являлись источником этой погрешности. Было предположено, что источником этой погрешности является некорректная работа внутреннего электронного уровня.

Для определения причины и характера этой ошибки были проведены исследования API Laser Tracker в лабораторных условиях. Прибор располагался на линии посередине между двумя стационарными пунктами. Расстояние между пунктами $L=16,5$ м. Прибор крепился без штатива на горизонтальной плите. Угол наклона плиты к горизонту изменяется и измеряется с помощью оптического квадранта ОК-2 с погрешностью не более $30''$. Пункты закреплены геодезическими знаками, применяемыми на ускорительных комплексах [3].

Методика проверки

1. Измерено методом высокоточного геометрического нивелирования из середины [4] превышение h между пунктами. Из серии измерений получено $\sigma_h = 0,015$ мм.

2. Прибор на плите сориентирован так, что ось X примерно перпендикулярна линии знаков. Плита горизонтальна, исходный угол наклона к горизонту равен нулю.

3. Плита с прибором наклоняется в направлении линии пунктов с шагом $5'$ в диапазоне $\pm 60'$ (регламентированный диапазон компенсации). Угол наклона измеряется при каждом шаге.

4. При каждом шаге используется опция «Level measure». Производятся измерения



Рис. 2. API Laser Tracker 3 с «домашней точкой»

координат пунктов несколькими приемами. Разница ΔZ координат пунктов сравнивается с измеренным превышением h .

5. Производится поворот прибора на 90° , ось X параллельна линии геодезических знаков. Повторяются действия, описанные в пунктах 3, 4.

6. Для контроля при всех действиях определялось расстояние между пунктами. Оно оставалось неизменным в пределах регламентированной точности [1, 2].

Результаты измерений представлены на рис. 3. По горизонтальной оси — угол наклона вертикальной оси прибора в угловых минутах, по вертикальной оси — разница $\Delta Z - h$ в мм.

Идентичность представленных графиков показывает, что эффект не зависит от ориентации осей XY в пространстве. При корректной работе компенсатора разница $\Delta Z - h$ должна иметь значения ноль с $\sigma \approx 0,05$ мм. Из приведенных результатов следует, что компенсация угла наклона прибора не происходит полностью. Данные электронного уровня преобразуются в угол с систематической ошибкой. Это следует из того, что результаты измерений располагаются на трендовых прямых. Из расположения пунктов и несовпадения знаков угла наклона

прибора со знаками разницы $\Delta Z - h$ следовало, что происходит «перекомпенсация» угла. При угле компенсации $60'$ перекомпенсация составляет

$$(\Delta Z - h)/L \approx 0,7 \text{ мм} / 16\,500 \text{ мм} = 4,2 \cdot 10^{-4} \approx 8''.$$

Из вышеприведенного следует, что параметр преобразования электронных данных в угол имеет относительную систематическую ошибку $8/3600 \approx 0,24\%$. Этот параметр установлен в прибор производителем и не доступен для изменения. Ошибка объясняет полученные при измерениях погрешности в определении Z координат пунктов сети — $2/40\,000 \approx 10'' < 2 \times 8''$, т.к. измерения произведены при не менее двух станциях прибора. Для того, чтобы исключить влияние этой ошибки и реализовать регламентированную точность горизонтирования $\pm 2''$, диапазон работы электронного уровня должен быть уменьшен до $\pm 5 \div 7''$.

Исходя из приведенных результатов, API Laser Tracker был оборудован дополнительным, не предусмотренным штатной комплектацией, цилиндрическим уровнем с ценой деления $6'$. Уровень был изготовлен и закреплен на верхней площадке API Laser Tracker (рис 4).

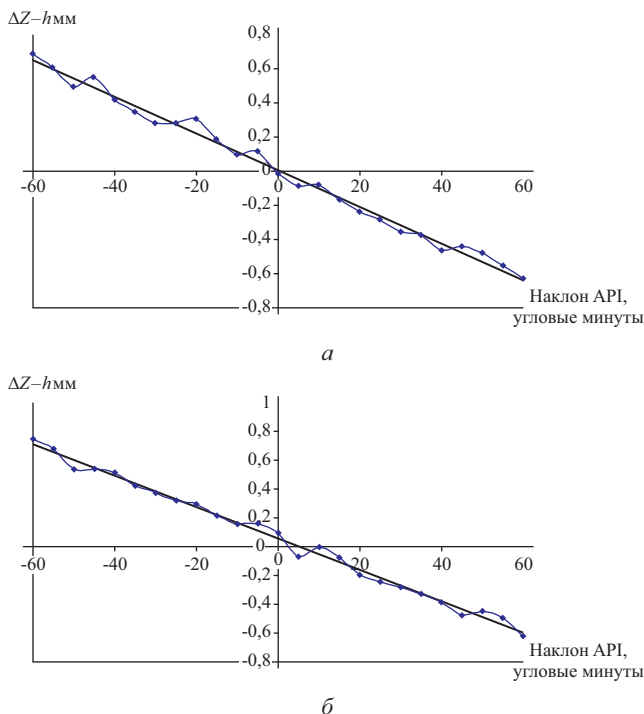


Рис. 3. Ось X прибора перпендикулярна (а) и параллельна (б) линии, соединяющей центры геодезических знаков:

—♦— результаты измерений; — трендовая прямая



Рис. 4. Уровень на верхней площадке API Laser Tracker

Проведена проверка работоспособности и точности API Laser Tracker с дополнительным уровнем. Сделаны многократные измерения превышений с предварительным горизонтированием прибора по закрепленному уровню с погрешностью половины цены деления. Для контроля использовался нивелир Ni007. Было сделано по 10 повторных установок прибора для трех разных расстояний. Результат приведен в таблице.

Расстояние, м	Измеренное превышение, мм	
	Ni007	API Laser Tracker 3
4,14	6,04±0,02	6,05±0,01 (±0,04)*
14,88	1,56±0,03	1,57±0,04 (±0,14)*
24,56	0,05±0,04	0,05±0,05 (±0,24)*

* — допустимое среднеквадратическое отклонение по паспортным данным API Laser Tracker 3.

Из выполненных измерений видно, что прибор, оборудованный таким уровнем, не только обеспечивает паспортные значения точности горизонтирования, но и дает существенно лучший результат. По результатам проведенных исследований была усовершенствована методика работ с API Laser Tracker 3 на ускорительных комплексах ИЯФ СО РАН.

Всем пользователям, работающим с аналогичными приборами, рекомендуем выполнять поверки при работе с опцией «горизонтирование». Аналогичный дефект был обнаружен на нескольких приборах этой серии.

Производитель AUTOMATED PRECISION, INC был поставлен в известность об обнаруженном недостатке прибора API Laser Tracker 3.

Для работы прибора с заявленными техническими характеристиками производителем должна быть выполнена корректировка калибровки электронного уровня либо прибор должен быть укомплектован точным уровнем для горизонтирования, смонтированным на его корпусе. При этом должны быть внесены исправления в характеристики прибора и описана методика работы.

Работа выполнена при использовании оборудования Центра коллективного пользования СЦСТИ и финансовой поддержке Минобрнауки России.

ЛИТЕРАТУРА

1. http://www.nevatec.ru/tracker3/files/tracker_api.pdf
2. *Laser Tracker System Users Manual* for models LTS-3000 v.1.0 Automated Precision, Inc 15000 Johns Hopkins Drive, Rockville, MD 20850, Phone 1.800.537.2720, Fax 301.990.8648 page 8.
3. M. Bokov, D. Burenkov, A. Polyansky, Yu. Pupkov, Russia and Yu. Levashov, USA "Results of Long-Term Observations of Deformations of the VEPP-4 Storage Ring Constructions, BINP" Proceedings of the 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering 27.06-01.07.2004 Nottingham UK.
4. *Методы и приборы высокоточных геодезических измерений в строительстве* / Под ред. В.Д. Большакова. М.: Недра, 1976. —177 с.

Поступила 10 августа 2010 г.

Рекомендована кафедрой инженерной геодезии и информационных систем СГГА

УДК 528.9

КАРТОГРАФИЯ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ЗРИТЕЛЬНОЕ ВОСПРИЯТИЕ
ЦВЕТНОЙ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИДоцент, кандидат техн. наук **О.Ю. Жукова**, аспирант **Л.В. Гедз***Московский государственный университет геодезии и картографии**e-mail: olga_zhukova_52@list.ru, kartografka@gmail.com*

Аннотация. Субъективная зрительная оценка цвета проводится во всех областях человеческой деятельности, в том числе и в картографии. Данная оценка присутствует на всех этапах создания карты, начиная с составления цветных макетов и заканчивая оценкой цветопробы и отпечатанного тиража. Кроме того, с каждым годом возрастает применение электронных устройств, предназначенных для визуализации карт на цветных дисплеях. В данной связи зрительная оценка цвета важна при создании и использовании картографической продукции и играет решающую роль в сокращении производственных расходов.

Ключевые слова: цветное изображение, цвет и монитор, цвет и оттиск, зрительное восприятие, субъективная оценка цвета, цветовые стандарты, искажения цвета

Abstract. The individual visual estimation of color is presented in all areas of human activity, including cartography. It is actively used at all stages of map creation from drawing up color breadboard to the estimation of coloring test and the printed impression. Besides, popularity of electronic devices intended for visualization of maps increases from year to year. Thus the visual estimation of color and its control has paramount importance in the processes of creating and using cartographic production, and plays an important role in reduction of the production costs.

Keywords: color image, color and screen, color and print, visual perception, individual visual estimation of color, color standards, color distortions

Известно, что зрительное восприятие цветов освещённых поверхностей и излучений протекает приблизительно по одной схеме. Также мы знаем, что цветовое восприятие любого изображения, будь то карта, воспроизведённая на бумаге или дисплее монитора, зависит не только от внутренних факторов процесса воспроизведения (примесей в печатных красках, качества люминофоров, использованных при сборке монитора и т.д.), но и факторов внешних, то есть от обстановки, в которой ведутся наблюдения.

Основные требования, предъявляемые к условиям проведения субъективной оценки цвета, были впервые приведены в 1933 г. Н. Ньюбергом [1], и затем продолжали исследоваться многими авторами во всём мире: Л. Артюшиным, Г. Вышецки, Д. Джаддом, Р. Синклером и др. [2–5].

Разработкой современных стандартов, ре-

гламентирующих условия проведения как объективных, так и субъективных цветовых оценок, занимается Международная Организация по стандартизации (ISO) и Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ГОСТ) [6–8]. Их цель — описать и объяснить минимальный набор основных параметров, необходимых для однозначного определения визуальных характеристик и соответствующих свойств изображений.

Условия проведения объективных и субъективных цветовых оценок. При проведении эксперимента должны выполняться следующие условия.

1. *Размер* цветного образца не должен превышать 20 см. Расстояние от наблюдателя до изображения должно составлять примерно 25 см.

2. *Цвет фона*, на котором находится цветной образец, должен иметь светло-серый цвет. В случае изменения цвета фона в силу вступает

закон одновременного контраста, вследствие которого изменяется восприятие цветового тона, насыщенности и светлоты цветов [1, 8].

3. При проведении оценки цветов *освещение* в помещении должно фиксироваться, и оставалось постоянным на протяжении всех измерений. Причём рекомендуется использовать один из четырёх стандартных осветителей, разработанных Международной комиссией по освещению [6–8].

4. Необходимо соблюдение постоянства расположения изображения по отношению к наблюдателю — *угла наблюдения*. Причём, при работе с печатным оттиском следует стремиться к тому, чтобы направление зрения было ортогонально поверхности. При работе с монитором оператору также следует расположить экран на уровне глаз и перпендикулярно направлению зрения или же чуть ниже уровня глаз.

5. При визуальной оценке цветов необходимо соблюдение постоянства *угла освещения* изображения. Причём, при работе и с монитором и с оттиском, предпочтительней всего рассеянное освещение, т.е. равномерное со всех сторон, но так как на практике данное условие трудноосуществимо, в качестве оптимального принято освещение под углом 90° — для оттиска, и 180° (0°) — для монитора [8, 9].

6. Печатное изображение должно иметь матовую *поверхность* и не создавать бликов. Однако если предполагается, что тираж будет отпечатан на мелованной бумаге, данное требование может не соблюдаться [6, 8].

Корпус дисплея также должен быть окрашен в нейтральные тона, клавиатура и другие устройства персонального компьютера должны иметь матовую поверхность одного цвета и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики [8, 9].

7. Согласно закону зрительного восприятия, называемому *законом апперцепции*, под влиянием предшествующего жизненного опыта, а также психического и физического состояния человек способен по-разному воспринимать один и тот же цвет, и, наоборот, разные цвета воспринимать как один и тот же. Данное обстоятельство требует отдельного учёта при проведении субъективной оценки цветов.

8. Все эксперименты по зрительной оцен-

ке должны проводиться испытуемыми с *нормальным цветовым зрением*, проверенным по специальным таблицам. Такими таблицами являются, например, полихроматические таблицы Штиллинга, Ишихира, Шаафа, Флетчера–Гамблина, Рабкина и др.

Условия эксперимента. Целью исследования, приведённого в данной статье, был ответ на вопрос, каким образом изменится восприятие цвета, если не соблюсти вышеперечисленные требования и изменить внешние условия. Также в статье подробно описаны изменения зрительного восприятия, произошедшие под влиянием различных внешних условий, и разработаны рекомендации к проведению субъективной оценки цветов печатного оттиска и монитора.

Эксперимент проводился методом экспертных оценок в условиях лаборатории кафедры Оформления и издания карт МИИГАиК, при участии 20 испытуемых, обладающих нормальным цветовым зрением. Из них 10 человек — преподаватели (профессионалы) и 10 — студенты (непрофессионалы). Число испытуемых было выбрано, согласно действующему стандарту ГОСТ 26320-84.

В качестве факторов, влияющих на зрительное восприятие цвета, выступали: размеры изображения и расстояние рассматривания; цвет фона изображения (закон одновременного контраста); спектральный состав освещения; угол наблюдения изображения; угол освещения изображения; характер поверхности изображения; закон апперцепции; индивидуальные физиологические особенности зрения.

Для проведения эксперимента были использованы:

макеты цветных площадей (рис. 1), воспроизведённые профессиональным печатным устройством — лазерным четырёхкрасочным принтером Xerox DocuColor 250 (рис. 2).

электронные изображения соответствующих макетов, воспроизведённые на дисплеях двух различных мониторов: LG Flatron W 1942S–BF и NEC AccuSync LCD 72 VM (рис. 3).

По условиям эксперимента, участники должны были зафиксировать в опросных листах изменение зрительного восприятия цветов, имеющее место при поочерёдном изменении внешних условий.

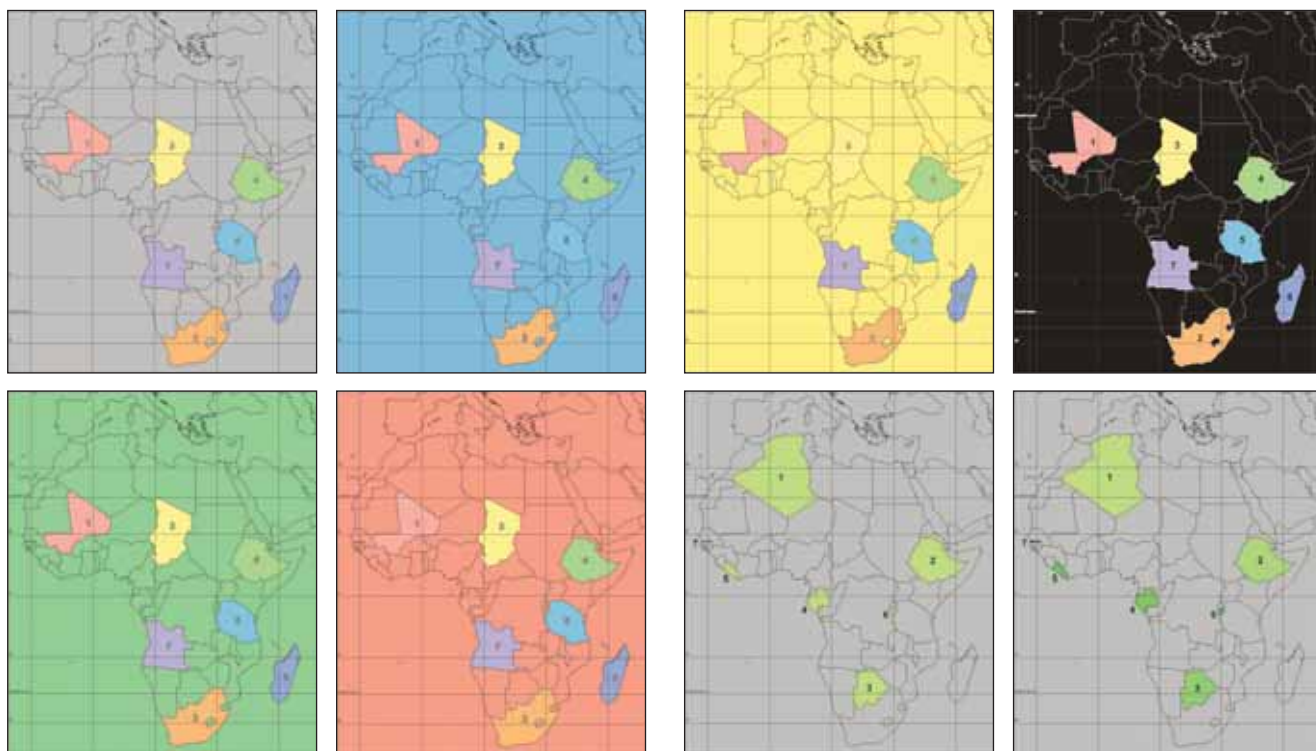


Рис. 1. Макеты цветных площадей, использованные для проведения эксперимента

Результаты эксперимента. 1. По мере уменьшения размера образца и увеличения расстояния рассматривания (размер образца: с 3 до 50 мм², расстояние рассматривания: с 25 до 100 см) желтый, красный, зелёный — светлеют; фиолетовый, синий, голубой — темнеют. В свою очередь увеличение размера образцов и уменьшение расстояния рассматривания напротив, приводит к затемнению желтого, красного и зелёного и осветлению фиолетового, голубого и синего. Данные изменения зрительного восприятия характерны как для *монитора*, так и для *оттиска*.

Также в ходе эксперимента было сделано наблюдение, интересное с картографической точки зрения: соблюдение правила «чем меньше площадь, тем насыщеннее цвет» действует лишь для территорий, площадь которых составляет более 5 мм² — для печатного оттиска и 8 мм² — для изображения на мониторе. Дальнейшее увеличение насыщенности позволяет сохранить лишь визуальную идентичность цветов. В случае же несоблюдения данного правила территории малого размера (менее 5–8 мм²) выглядят светлее, становятся малозаметными или вовсе сливаются с фоном.

2. Приведённые ниже изменения зрительного восприятия, происходящие в результате



Рис. 2. Принтер Xerox DocuColor 250

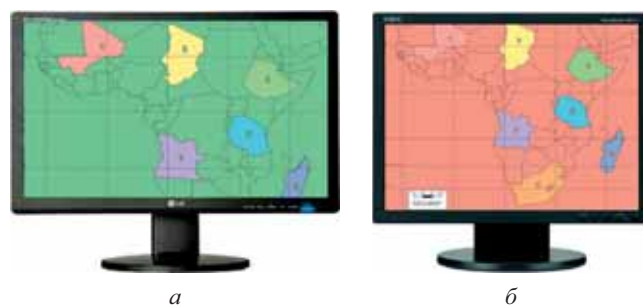


Рис. 3. Мониторы LG Flatron W 1942 S — BF (а) и NEC AccuSync LCD 72 VM (б)

перехода от серого фона к чёрному и цветным фонам, характерны как для *монитора*, так и для *оттиска*.

2.1. При переходе от серого фона к красному цветовой тон не изменяется, однако наблюдаются изменения по насыщенности и светлоте. Красный становится менее насыщенным, сильно светлеет, практически не различается с фоном; оранжевый — светлеет, насыщенность снижается; голубой, синий, фиолетовый — светлеют; зелёный становится более насыщенным.

2.2. На *зелёном* фоне происходят следующие изменения по цветовому тону: красный — розовеет (приближается к пурпурному); синий — незначительно розовеет. Изменяется также насыщенность и светлота цветов: зелёный становится менее насыщенным, сливается с фоном; синий, голубой, фиолетовый — темнеют; оранжевый — светлеет.

2.3. При переходе от *серого* фона к *синему* заметны изменения по цветовому тону: синий и фиолетовый — розовеют (приближается к пурпурному), различимость ухудшается; зелёный приобретает желтоватый оттенок. Также изменяется насыщенность цветов: голубой становится менее насыщенным, практически не различается с фоном; синий, фиолетовый — светлеют, насыщенность снижается; жёлтый и красный — темнеют, становятся более насыщенными.

2.4. На *жёлтом* фоне происходят изменения по цветовому тону: красный — розовеет (приближается к пурпурному); зелёный приобретает голубоватый оттенок. Изменяется также насыщенность и светлота цветов: жёлтый становится менее насыщенным, трудно различается с фоном; оранжевый также теряет насыщенность, светлеет; синий, фиолетовый, голубой — более насыщенные;

2.5. При переходе от *серого* фона к *чёрному* изменений по цветовому тону не наблюдается, но все цвета значительно светлеют.

3. В ходе эксперимента был осуществлён переход от естественного освещения и ламп дневного света к лампам накаливания (цветовые температуры 5400, 4800 и 3000 К соответственно). Эксперимент показал, что зрительное восприятие цветного изображения на *мониторе* не зависит от спектрального состава освещения.

С другой стороны, изменение спектрального состава освещения оказало сильное воз-

действие на зрительное восприятие цветов *оттиска*. Имели место следующие изменения:

по цветовому тону: оранжевый — краснеет, голубой — зеленеет, синий — становится ближе к фиолетовому, фиолетовый — краснеет (приближается к пурпурному);

по светлоте: тёплые цвета (красный, оранжевый, желтый) — светлеют, холодные цвета (зеленый, голубой, синий, фиолетовый) — темнеют;

по насыщенности: тёплые цвета становятся насыщеннее, холодные цвета теряют насыщенность.

Кроме того, при изменении освещения меняется цветовое различие. Например, голубой и зеленый цвета, часто встречающиеся на картах рядом, хуже различаются при искусственном освещении, нежели при дневном свете. При увеличении освещенности наблюдается уменьшение различимости светлых тонов, а наиболее светлые цвета представляются более желтоватыми. Уменьшение же освещенности приводит к тому, что тёмные цвета кажутся синеватыми или сине-зелёными. Также при очень ярком освещении все цвета, а в особенности светлые, воспринимаются менее насыщенными и более светлыми, нежели при нормальном дневном освещении.

4. В ходе эксперимента были сделаны следующие наблюдения:

угол рассматривания не влияет на зрительное восприятие цветов печатного *оттиска*;

при рассмотрении изображения на мониторе под минимальным углом (около 40°): фиолетовый — сереет и теряет насыщенность, красный — розовеет (становится пурпурным), остальные цвета темнеют.

5. Экспериментально были обнаружены следующие изменения:

при работе с печатным *оттиском* свет, падающий под углом 90°, обеспечивает максимально интенсивное освещение поверхности, однако, близкие цвета и мельчайшие градиционные переходы становятся плохо различимыми. При освещении оттиска под углом 45° количество света также достаточно, при этом глаза устают значительно меньше, нежели при 90° и мельчайшие градиционные переходы различаются лучше;

если источник освещения расположен перед *монитором* (встречный световой поток) — цвета на дисплее тускнеют, изображение становится менее насыщенным, возникают блики;

источник освещения расположен за монитором (эффект подсветки) — цвета становятся более яркими, насыщенными, глаза устают быстрее. Наиболее оптимальные условия для проведения зрительной оценки цветов достигаются при отвесном расположении источника освещения (сверху).

6. При проведении эксперимента использовались мониторы LG Flettron W1942S-BF и NEC AccuSync LCD 72 VM, имеющие матовое покрытие экрана, препятствующее возникновению бликов, а также два типа офсетной бумаги: бумага без покрытия (Euro Premium высоко белый, гладкий, 135 г/м²) и с покрытием (MaxiGloss высоко белый, двукратного мелования, глянцева 150 г/м²).

В ходе эксперимента были сделаны следующие наблюдения: цвета *оттиска*, воспроизведённого на мелованной бумаге, выглядят более насыщенными, тонер нанесён равномернее, нежели на простой офсетной бумаге.

7. К сожалению, провести эксперимент с испытуемыми в разном эмоциональном и психическом состоянии достаточно сложно. С другой стороны, удалось исследовать, каким образом жизненный опыт влияет на субъективную оценку цветных образцов.

Анализ результатов опроса группы преподавателей (профессионалов) и группы студентов (непрофессионал) показал, что участники эксперимента, которым постоянно приходится работать с цветом, обладают большей цветовой чувствительностью (чувствительностью). В свою очередь, группе студентов был свойственен меньший интерес к проводимому эксперименту и более низкий уровень внимания и концентрации.

8. Деятельность картографов (преподавателей и студентов), принимавших участие в эксперименте, постоянно связана с выбором и оценкой цвета, поэтому проверка их цветового зрения не проводилась.

Выводы.

1. Цветовое восприятие любого картографического изображения, воспроизведённого на бумаге или электронном носителе, зависит как от внутренних, так и от внешних факторов, то есть от условий внешней среды, в которой ведутся наблюдения.

2. В большинстве случаев человеческий глаз имеет способность адаптироваться к различным условиям внешней среды таким образом, что восприятие цветов изображения со-

храняется постоянным.

3. Существует несколько значимых факторов, оказывающих более сильное влияние на зрительное восприятие и требующих стандартизации и учёта: размеры изображения и расстояние рассматривания; цвет фона изображения (закон одновременного контраста); спектральный состав освещения; угол наблюдения изображения; угол освещения изображения; характер поверхности изображения; закон апперцепции; индивидуальные физиологические особенности зрения.

Рекомендации к проведению субъективной оценки цветов печатного оттиска и монитора.

1. Спектральный состав освещения не оказывает существенного влияния на зрительную оценку цветов изображения, воспроизведённого на мониторе. Данное обстоятельство устраняет необходимость в каких-либо поправках.

2. Оценка цветов печатного *оттиска*, освещённого лампами накаливания вместо естественного света или ламп дневного света, требует поправки на «пожелтение» цветов, а также на осветление тёплых цветов и потемнение холодных, ухудшение различимости цветов, увеличение насыщенности тёплых цветов и уменьшение насыщенности холодных.

3. Оценка цветов печатного *оттиска*, проводимая в условиях очень яркого или, напротив, недостаточного освещения требует поправки на изменения насыщенности цветов: тёплые цвета становятся насыщеннее, холодные цвета теряют насыщенность.

4. При рассмотрении изображения на цветном или чёрном фоне, вместо нейтрального светло-серого, следует делать поправку на изменения цветового тона, насыщенности и светлоты цветов. Изменения зависят от конкретного цвета фона и типичны как для монитора, так и для печатного *оттиска*:

контрастные фону цвета становятся более насыщенными, а цвета, близкие к фону — напротив, менее насыщенными, блёклыми;

при рассмотрении изображения на чёрном фоне наблюдается общее осветление цветов, на светлом фоне — напротив, затемнение цветов.

5. Если при проведении оценки цветов монитора и оттиска расстояние от наблюдателя до изображения не равно 25 см необходимо делать поправку на изменение светлоты: сокращение размера образца и увеличение расстояния рассматривания приводит к осветлению

светлых цветов и затемнению тёмных. При этом происходит уменьшение четкости очертаний предметов.

6. При оценке *оттисков*, воспроизведенных на различных типах бумаги, необходимо делать поправку на изменение насыщенности цветов: цвета оттиска, воспроизведённого на мелованной бумаге, выглядят более насыщенными, тонер нанесён равномернее, нежели на простой офсетной бумаге.

7. При проведении оценки цветов *монитора* необходимо следить за углом наблюдения. Данный угол не должен выходить за рамки угла обзора, указанного в технической документации к устройству. При оценке *оттиска* угол наблюдения ограничивается лишь разумными рамками, позволяющими наблюдателю исследовать *оттиск* в удобном для глаз положении.

8. Источник освещения при работе с печатным *оттиском* следует располагать под углом от 90 до 45°. При работе с *монитором* наиболее благоприятно отвесное освещение, то есть под углом 180° (0°).

9. При проведении цветовых измерений различными испытуемыми необходимо учитывать закон апперцепции. Согласно данному закону уровень внимания не является величи-

ной постоянной и колеблется в зависимости от предшествующего жизненного опыта человека, его текущего психического и физического состояния. Следовательно, человек способен по-разному воспринимать один и тот же цвет, как различные и, наоборот, разные цвета воспринимать как один и тот же.

10. Оценка цветов должна проводиться испытуемыми, с нормальным цветовым зрением, проверенным по специальным таблицам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нюберг Н.Д. Измерения цвета и цветовые стандарты. - М.: Государственное издательство стандартизации и рационализации, 1933. - 97 с.
2. Артюшин Л.Ф. Основы воспроизведения цвета. М.: Искусство, 1970. - 547 с.
3. Артюшин Л.Ф. Цветоведение для полиграфистов. М.: Книга, 1977. - 237 с.
4. Джадд Д. Цвет в науке и технике. М.: Мир, 1978. - 507 с.
5. Френк Р. Основы цветовоспроизведения. М.: МГУП, 2006. - 52 с.
6. ISO 12647-2:2004; ISO 5-2:2011, ISO 5-3:2009, ISO 5-4:1995, ISO 13655.
7. DIN 5033-8:1982.
8. ГОСТ 26320-84, ГОСТ 7721-89, ГОСТ 8.207-76, ГОСТ Р ИСО 12647, ГОСТ Р 50948-2001, ГОСТ Р 50923-96.
9. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Поступила 23 апреля 2012 г.
Рекомендована кафедрой оформления
и издания карт МИИГАиК

РОЛЬ КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМ РАДИАЦИОННОЙ ОБСТАНОВКИ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Доцент, кандидат техн. наук Л.А. Ромашова, доцент, кандидат техн. наук О.Н. Николаева, аспирант О.А. Волкова

Сибирская государственная геодезическая академия, г. Новосибирск

E-mail: onixx76@mail.ru

Аннотация. Обоснована актуальность использования картографического метода исследования для создания нового вида экологических карт – радиоэкологических, отображающих различные аспекты радиационной обстановки территории. Изложен практический опыт создания подобных карт на территорию г. Новосибирска.

Ключевые слова: экологические карты, радиационная обстановка, радиоэкологическое картографирование

Abstract. The topicality of using the cartographic method of investigation for compilation of a new type of ecological maps - radio-ecological ones - is substantiated. These maps can portray various aspects of radiation condition in a region. An experiment of creating such maps was done for the territory of Novosibirsk city.

Keywords: ecological maps, radiation environment, radio-ecological mapping

Непременным условием существования и развития современного общества как во всем мире, так и в России, является глобальное использование природных ресурсов. С одной стороны, это влечет за собой истощение всех

без исключения видов природных ресурсов Земли. С другой стороны, неконтролируемое антропогенное воздействие на окружающую среду приводит к постоянному ухудшению качества объектов природы, так как в процессе

техногенного загрязнения они теряют свои исходные свойства.

В настоящее время изменения окружающей среды, в результате крупномасштабного антропогенного воздействия на биосферу Земли, привело ее к неминуемому кризису. Истощение сырьевых ресурсов, нехватка чистой пресной воды, проблема загрязнения природных ресурсов — воздуха, воды и почвы выбросами промышленности и транспорта, энергетических систем в атмосферу достигла таких размеров, что в ряде районов, особенно в крупных промышленных центрах, уровень загрязнения существенно превышает допустимые санитарные нормы.

Из всех видов антропогенного воздействия окружающей среды — химического, биологического, бактериального, электромагнитного, инфразвукового, вибрационного, шумового, теплового загрязнения синтетическими органическими веществами — радиоактивное загрязнение остается самым сложным для восприятия и понимания населением.

Во многом сложность понимания радиоактивного загрязнения, его воздействия на человека и среду обитания объясняется тем важным обстоятельством, что оно на протяжении многих десятилетий оставалось государственной тайной, причем не только в бывшем СССР, но также и в США, странах Западной Европы и других государствах. Причинами секретности было не только идеологическое, научное, технологическое, военное противостояние двух разных социальных систем, но и преобладание в обеих системах технократических и экономических целей над этическими и экологическими.

Необходимо отметить, что нормы воздействия радиоактивного загрязнения на население в мирное время, учебные и справочные пособия появились в нашей стране в середине/конце 1960-х годов (т.е. после запрещения ядерных взрывов в атмосфере и водах), а секретность на информацию о радиоактивном загрязнении сняли лишь в конце 1989 г.

Борьба с радиоактивным загрязнением может носить лишь предупредительный характер. Дезактивация загрязненного радиоактивным изотопом места сводится к удалению источника загрязнения, загрязненной почвы, материалов, предметов. С поверхности зданий,

сооружений радиоактивные изотопы смываются с последующим удалением (захоронением) самих смывающих веществ, уже ставших радиоактивными. Если это не позволяет снизить уровень радиоактивности здания (сооружения) до принятых норм, то его изолируют от людей.

Степень радиоэкологической безопасности человека, проживающего на загрязненной территории, определяется годовой эффективной дозой радиоэкологического облучения от природных и техногенных источников. При этом доза от техногенных источников согласно НРБ-99 не должна превышать 5 мЗв/год (или 0,5 бэр/год) в среднем за любые последовательные пять лет, что соответствует рекомендации Международной комиссии по радиоэкологической медицине. Территории, в пределах которых среднегодовые значения эффективной дозы облучения (сверх естественного фона) находятся в диапазоне 5–10 мЗв/год, необходимо относить к территориям чрезвычайной экологической ситуации, а более 10 мЗв/год — к зонам экологического бедствия.

В создавшихся условиях становится актуальной и очевидной роль радиоэкологического картографирования, целью которого является разработка радиоэкологических карт (карт радиационной обстановки) — картографических произведений, призванных систематизировать накопленные сведения о радиационной обстановке конкретных территорий и устанавливать взаимосвязь между избытком радиационного излучения и изменениями в здоровье местных жителей.

Карта была и остается наиболее эффективным способом показа любых явлений, характеристики которых изменяются в пространстве. Экологические карты традиционно в наибольшей степени ориентированы на обеспечение государственных, региональных и местных программ и проектов природоохранной направленности. Между тем любая природоохранная деятельность осуществляется в рамках конкретных территорий. Поэтому планирование, проведение и контроль результатов природоохранных мероприятий требует не только наличия объективной информации об экологической обстановке исследуемой территории, но и ее представления в наглядном, экономичном и понятном потребителю виде.

Для осуществления радиоэкологического картографирования необходимо выполнить сбор, анализ, оценку, интеграцию, территориальную интерпретацию информации о радиационной обстановке и создать географически корректное картографическое представление весьма многообразной радиоэкологической информации.

В Новосибирской области по заданию мэрии г. Новосибирска Геоэкоцентр ГП «Березовгеология» проводит исследования радиационной обстановки в городе и области. С 1998 г. значительную часть работ в области радиоэкологических исследований также осуществляет отдел надзора за радиационной безопасностью при Управлении Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Новосибирской области. За 2001–2009 гг. отделом проведено из-

учение объемной активности, плотности потока радона-222 и гамма-излучения на более чем 850 земельных участках Новосибирска, что позволяет оценивать радиационную обстановку в городе с высокой степенью детальности, практически до уровня отдельного квартала или дома.

Радиоэкологическая обстановка в Новосибирске определяется двумя основными факторами: воздействием природных радионуклидов, т.к. восемь из десяти районов города расположены в пределах гранитного массива, и техногенным загрязнением от действующих и ранее существовавших предприятий.

Перекрытые маломощным чехлом рыхлых отложений, гранитные породы характеризуются повышенными концентрациями естественных радиоактивных элементов — урана, тория, калия — и сопряженных с ними радия и радона. Развитая тектоника, наличие глубинных разломов, дренирующих подземные воды с высоким содержанием радона (400–4000 Бк/л), в совокупности с повышенной радиоактивностью пород создают потенциальную опасность облучения населения г. Новосибирск от природных источников и, следовательно, при необходимости осуществление специальных мероприятий по защите от воздействия природных радионуклидов при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Очевидно, что для изучения и обработки статистической информации, наглядного ее представления и территориального анализа, большую роль играет картографический метод исследования.

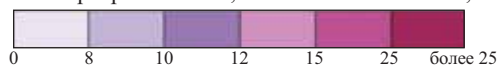
В лаборатории медико-экологического картографирования СГГА с 1996 г. успешно ведутся работы по радиоэкологическому картографированию г. Новосибирск и Новосибирской области [1, 2]. Одной из последних работ является создание карты «Техногенные радиоэкологические факторы Новосибирска» (рис).

Целью создания карты является отображение уровня радиоактивного загрязнения города Новосибирск с последующим внесением ее в экологический атлас города. Карта создается с использованием современного программного обеспечения. Элементами ее тематического содержания являются: закрытые и открытые источники радиационного излучения, ускорители



Рис. Фрагмент карты «Техногенные радиоэкологические факторы г. Новосибирск»:

уровень аэрограмма-поля, шкала интенсивности, мкР/ч



- — закрытые источники радиационного излучения;
- — открытые источники радиационного излучения;
- ★ — ускорители элементарных частиц; ■ — участки техногенного радиационного загрязнения

Радиационные аномалии:

- — МЭД 3000 мкР/ч; ● — МЭД 150–170 мкР/ч

тели элементарных частиц, участки техногенного радиационного загрязнения, радиационные аномалии и уровень аэро-гамма поля.

При проведении экспериментальных исследований, связанных с разработкой условных картографических знаков и знаковых систем нами были учтены законы семиотики, заключающиеся в учете основных правил, сформулированных в ее разделах: синтактике, семантике и прагматике. Результаты экспериментальных исследований были проанализированы, что позволило выбрать конечный оптимальный вариант условных обозначений для авторского оригинала карты.

Таким образом, созданная карта наглядно показывает территории с особенно высоким уровнем техногенного радиационного загрязнения, население которых нуждается в дополнительной защите от избыточного облучения.

Карта может быть использована для пространственного анализа состояния радиационной обстановки г. Новосибирск, оценки ее загрязнения и разработки рекомендаций по улучшению условий жизни и здоровья населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаева О.Н., Ромашова Л.А., Суслин В.П. Геоинформационное картографирование при анализе и оценке радиационной обстановки промышленного центра // Геоинформатика: научные проекты. Тезисы II Международной конференции, 20-25 сентября 2010 г. –Барнаул: ООО «А.Р.Т.», 2010. –С. 75.

2. Nikolayeva O.N., Romashova L.A., Gavrilov Yu.V. Radiation risk mapping for HEALTH and conditions of the population Issues of XXIII International Cartographic Conference, 4-10 August, Moscow, 2007, Russia. –p. 285.

*Поступила 26 сентября 2012 г.
Рекомендована кафедрой картографии
и геоинформатики СГГА*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОГО ТРЕХМЕРНОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Профессор, доктор техн. наук **Д.В. Лисицкий**, аспирант **П.Ю. Бугаков**

Сибирская государственная геодезическая академия, г. Новосибирск

E-mail: dlis@ssga.ru

Аннотация. Представлены методические основы цифрового трехмерного картографирования. Рассматривается система характеристик, параметров и критериев цифрового трехмерного картографирования. Предлагается четыре базовых методических принципа, упрощающих процесс цифрового трехмерного картографирования.

Ключевые слова: трехмерное картографирование, параметры, точка наблюдения, трехмерная модель, визуализация, профиль

Abstract. Methodological basics of digital three-dimensional mapping are presented. The system of characteristics, parameters and criteria for a digital three-dimensional mapping is considered. Four basic methodological principle for simplifying the process of digital three-dimensional mapping are offered.

Keywords: three-dimensional mapping, parameters, view point, three-dimensional model, visualization, profile

Интенсивное развитие и внедрение компьютерных технологий в картографию требует переосмысления и адаптации к новым возможностям традиционных методических решений и подходов. Одним из таких направлений, требующих разработки новых научно-методических основ, является построение и визуализация перспективных картографических изображений на основе созданных трехмерных моделей и применения трехмерных графических редакторов [1].

Особая актуальность этой тематики обусловлена «взрывной» тенденцией перехода

к трехмерному моделированию и представлению окружающего нас геопространства. Многочисленные программные средства геоинформационных систем (ГИС), систем автоматизированного проектирования (САПР), трехмерной машинной графики предоставляют широкие возможности для автоматизированного формирования перспективных изображений трехмерного мира. Эти средства можно успешно применять и для создания картографических изображений, однако для этого требуется разработка соответствующих научно-методических и технологических решений.

При рассмотрении процесса построения перспективных картографических изображений, который в настоящей работе обозначается термином «трехмерное картографирование», можно выделить в нем три самостоятельных, но взаимосвязанных предмета изучения, характеристики которых в совокупности определяют сущность разрабатываемой методики и технологии выполнения работ:

пространственные характеристики территориального объекта трехмерного картографирования;

характеристики самого процесса трехмерного картографирования;

характеристики полученного трехмерного картографического изображения.

Для каждой из установленных характеристик необходимо определить качественные и количественные (параметры) значения, выявить характер и степень их взаимного влияния, предложить критерии трехмерного картографирования.

В результате последовательных логических рассуждений нами предлагается следующее формализованное представление о составе, системном взаимодействии этих характеристик, применении их в качестве допусков или критериев, что в совокупности составляет искомую научно-методическую основу трехмерного картографирования.

Территориальный объект трехмерного картографирования в целом характеризуется своим местоположением в геопространстве (M_p), формой и размером подстилающей поверхности в горизонтальной проекции (R_{pg}) и размером вертикальной проекции с учетом застройки (R_{pv}). Кроме того, существенное значение имеют следующие его характеристики:

изрезанность рельефа R_i (равнинный, пересеченный, резкопересеченный);

плотность застройки P_z (густозастроенная, редкозастроенная, среднезастроенная);

этажность застройки Z_e (малоэтажная, среднеэтажная, многоэтажная, комбинированная);

распределение объектов застройки R_z по территории (сосредоточенное, рассредоточенное, равномерное);

средняя площадь горизонтальной проекции элемента объекта картографирования (например, здания) S_e .

Поскольку информация об объекте имеется в виде уже построенной трехмерной модели, предоставляется возможность автоматического вычисления по этой модели числовых значений этих характеристик, т.е. параметров объекта картографирования.

Трехмерное картографирование включает в себя два самостоятельных процесса.

1. Процесс преобразования трехмерной цифровой модели местности (ТЦММ) в трехмерную цифровую картографическую модель местности (ЦКММ).

2. Процесс формирования и визуализации картографического изображения по ЦКММ.

Первый процесс заключается в представлении всех объектов ТЦММ средствами картографии: системой трехмерных условных знаков, генерализацией, цветовым и текстурным оформлением. При этом специфическим для трехмерного картографирования является применение вертикальной генерализации.

К основным видам вертикальной генерализации можно отнести:

отбор объектов для трехмерной визуализации;

типизация визуализируемых трехмерных моделей (обобщение качественных и количественных характеристик);

обобщение очертаний трехмерных моделей;

утрирование или показ объектов с преувеличением.

Выполнение первого процесса трехмерного картографирования характеризуется двумя числовыми показателями — параметрами: выбранными горизонтальным M_{kg} и вертикальным M_{kv} масштабами создаваемого картографического изображения, характеризующими уровень генерализации изображения. При этом горизонтальный масштаб является базовым и устанавливается из требований точности и детальности картографического изображения, а вертикальный масштаб является производным от горизонтального и может быть вычислен по формуле $M_{kv} = M_{kg} K_{gv}$, где K_{gv} — коэффициент соотношения масштабов, устанавливаемый исходя из решаемой задачи, размера картографируемого участка и перепадов высот.

Второй процесс трехмерного картографирования заключается в построении по ЦКММ и последующей визуализации перспективных

картографических изображений для различных значений параметров [2]:

положений в пространстве точек наблюдения P_m , в виде троек координат X_m, Y_m, H_m ;

вертикальный β и горизонтальный α углы луча визирования;

вертикальных Ψ_{ov} и горизонтальных Ψ_{og} углов обзора в центральной проекции;

угловая величина дискретизации горизонтальных углов обзора Δ_{og} ;

метрический размер R_m создаваемых картографических изображений (экран монитора, бумажный носитель);

разрешений создаваемых картографических изображений R_{ki} ;

положений в пространстве P_{is} (X_{is}, Y_{is}, H_{is}), интенсивностей излучения I_{is} и других числовых характеристик источников света [3].

Кроме того, процесс формирования и визуализации картографического изображения по ЦКММ обладает рядом неисчисляемых характеристик: тип источника света T_{is} , цвет источника света C_{is} , форма области обзора F_{oo} .

Полученные трехмерные картографические изображения характеризуются набором следующих параметров:

горизонтальный и вертикальный масштабы картографирования M_{kg}, M_{kv} ;

масштаб визуализации M_{vi} каждого i -го изображения;

минимальная высота реального объекта, подлежащего для трехмерного отображения Δh ;

положение в пространстве точки наблюдения P_{mi} для каждого i -го изображения, задаваемое тремя координатами X_{mi}, Y_{mi}, H_{mi} ;

положение в пространстве источников света P_{isi} для каждого i -го изображения, задаваемое тремя координатами $X_{isi}, Y_{isi}, H_{isi}$;

традиционные метаданные (наименование территории, дата съемки, исполнитель и др.).

Вышеперечисленные характеристики определяют конечные результаты трехмерного картографирования в следующем формальном представлении.

Взаимосвязи перечисленных трех предметов изучения иллюстрируются рис. 1, где стрелки указывают направления воздействия параметров.

Вначале необходимо задать установочные параметры, которым должна соответствовать создаваемая трехмерная карта. Они задаются

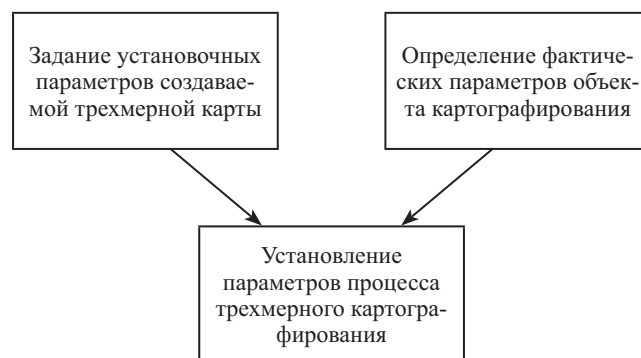


Рис. 1. Взаимосвязи характеристик карты, объекта и процесса трехмерного картографирования

исходя из характеристик точности и детальности исходной трехмерной модели местности, назначения и горизонтального масштаба карты и составляют следующую группу параметров:

$$\{R_m, M_{kg}, \Delta h, \alpha, R_{ki}\}. \quad (1)$$

Кроме того, задаются требования к форме области обзора и источникам света с точки зрения дизайна карты, например изображение карты при солнечном освещении в определенное время, в пасмурную погоду и др.

Вторым шагом является определение фактических параметров объекта картографирования, которые затем будут использованы при установлении параметров процесса картографирования. Такие параметры составляют следующую совокупность:

$$\{M_p, R_{pg}, R_{pv}, R_i, P_z, Z_e, R_z\}. \quad (2)$$

После того, как заданы параметры трехмерной карты и определены фактические параметры объекта картографирования, можно перейти к следующим этапам:

установлению параметров процесса картографирования;

установлению зависимости параметров процесса картографирования от параметров карты и параметров местности.

Для осуществления трехмерного картографирования необходимо использовать следующую совокупность параметров, обусловленную современными методами трехмерной графики и реализованную в современных программных 3D-пакетах:

$$\{P_m, \beta, \Psi_{ov}, \Psi_{og}, \Delta_{og}, K_{gv}, M_{kv}, P_{is}, I_{is}, T_{is}, C_{is}\}. \quad (3)$$

Имея совокупности параметров (1)–(3) можно приступить к следующему этапу – уста-

новлению логической зависимости каждого из параметров группы (3) от других параметров:

$$\begin{aligned}\Psi_{ov} &= F(R_{pv}) = \text{const}; \\ \Psi_{og} &= F(R_{pg}) = \text{const}; \\ \beta &= F(M_p, R_{pg}, R_{pv}, R_i, P_z, Z_e); \\ P_{in} &= F(\beta, \Psi_{ov}, R_{pg}); \\ \Delta h &= F(R_{pg}, R_{pv}); \\ K_{gv} &= F(R_m, R_{pg}, \Delta h); \\ M_{kv} &= F(K_{gv}, M_{kg}).\end{aligned}\quad (4)$$

Параметры источников света (P_{is} , I_{is} , T_{is} , C_{is}) устанавливаются на основе требований, заданных к продукту картографирования — трехмерной карте. Например, положение источника света P_{is} может быть определено из данных о положении Солнца в данном месте на определенную дату и время суток.

Как видно из приведенного, нахождение функциональных зависимостей, а затем реальных значений параметров, представляется весьма сложной задачей. Поэтому нами предлагается четыре базовых методических принципа и решения, упрощающих эту задачу.

Во-первых, целесообразно установить три типа пространственного расположения точек наблюдения объектов трехмерного картографирования (рис. 2):

с трассы вокруг объекта картографирования (вариант 1, см. рис. 2, а);

с трассы, проложенной внутри объекта картографирования (вариант 2, см. рис. 2, б);

из заданной точки внутри объекта картографирования (вариант 3, см. рис. 2, в).

Таким образом, будет учтен параметр формы и размера подстилающей поверхности в горизонтальной проекции R_{pg} .

Во-вторых, трехмерная модель объекта картографирования представляет собой дискретную совокупность сцен (отдельных перспективных изображений); при этом число и местоположение точек наблюдения определяется в зависимости от (рис. 3):

для варианта 1 — геометрической конфигурации горизонтальной проекции внешней границы объекта картографирования (см. рис. 3, а);

для варианта 2 — геометрической конфигурации горизонтальной проекции выбранной трассы, например, вдоль реки. При этом луч визирования должен проходить по касательной в данной точке траектории (см. рис. 3, б);

для варианта 3 — заданного приращения угла α или углового перекрытия сцен ω (рис. 3, в).

В-третьих, в пределах горизонтального угла обзора Ψ_{og} каждой сцены можно построить семейство отдельных сечений в вертикальной плоскости, т.е. в виде набора профилей (Pr_1 , Pr_2 , ..., Pr_m) (рис. 4).

По каждому профилю можно определить оптимальное положение точки наблюдения и затем вычислить положение точки наблюдения для данной сцены путем усреднения. Частота этих профилей устанавливается в зависимости от среднего размера элементов объекта картографирования (например, сооружений) в горизонтальной плоскости

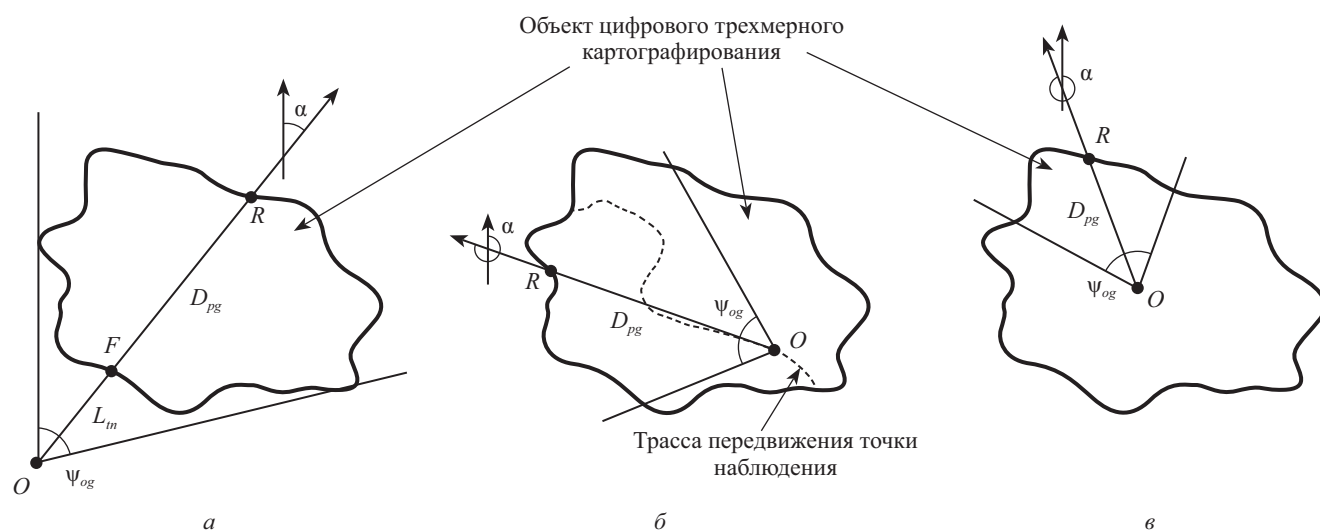


Рис. 2. Типы пространственного расположения точек наблюдения

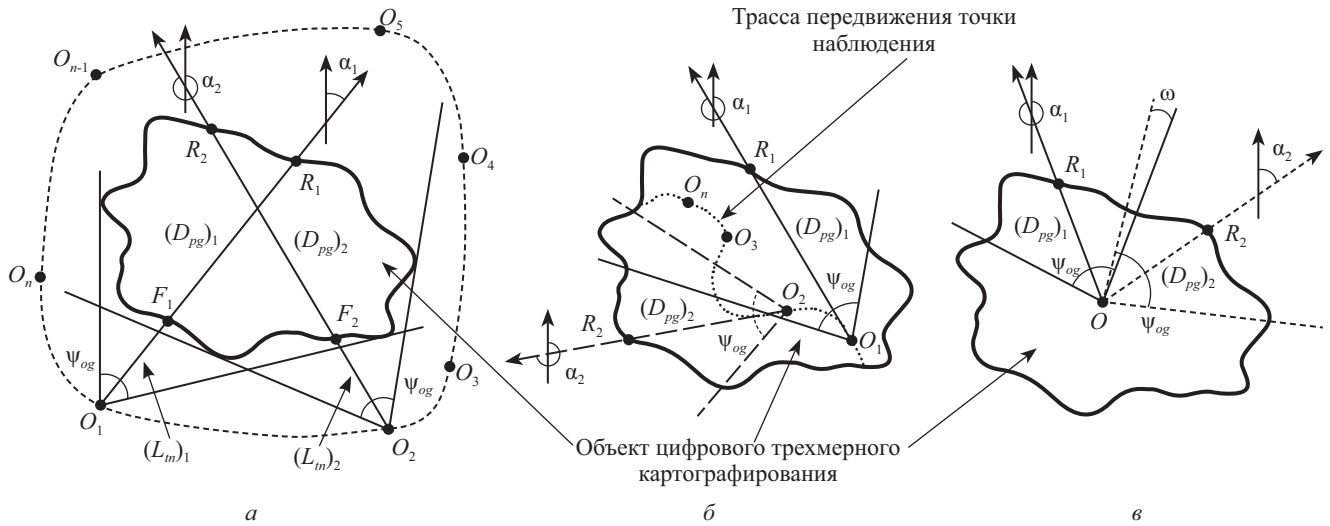


Рис. 3. Варианты местоположения точек наблюдения

$$d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (S_e)_i}{N}},$$

где N — количество элементов объектов картографирования (например, зданий); $(S_e)_i$ — площадь i -го элемента объекта картографирования.

В этом случае угловую величину дискретизации горизонтальных углов обзора Δ_{og} (рис. 5) можно вычислить по формуле.

$$\Delta_{og} = \arctg \left(\frac{d}{2D_{pg}} \right).$$

В-четвертых, все параметры, относящиеся к вертикальной составляющей объекта карто-

графирования, устанавливаются на плоскости в вертикальной проекции (рис. 6), т.е. в существенно упрощенном виде относительно трехмерного представления. При этом обеспечение требуемого качества картографирования достигается путем достаточно репрезентативного набора сцен и профилей.

Каждый профиль представляет собой частную реализацию общей трехмерной модели и для него можно определить совокупность частных реализаций параметров, приведенных в выражении (4):

1) положение в пространстве точки наблюдения P_{in} задается плоскими координатами L_{in} (величина отрезка от границы объекта картографирования до точки наблюдения в горизонтальной проекции) и H_{in} (высота точки наблюдения в вертикальной плоскости);

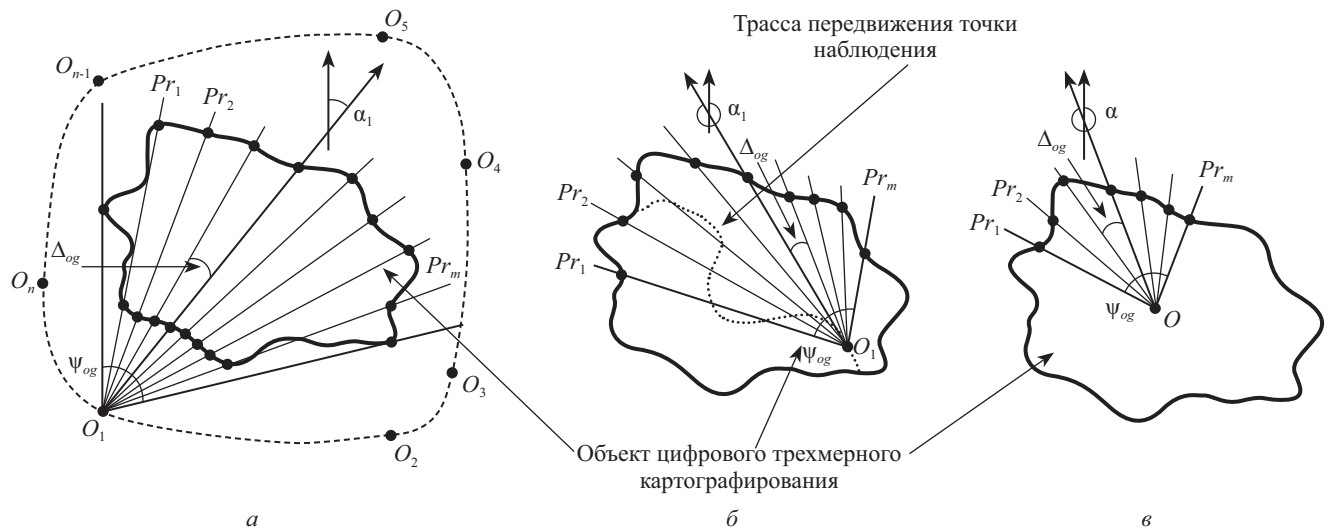


Рис. 4. Семейство отдельных сечений (профилей) в вертикальной плоскости каждой сцены

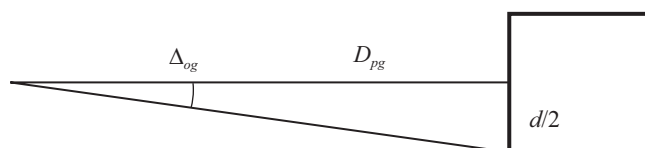


Рис. 5. Угловая величина дискретизации горизонтального угла обзора

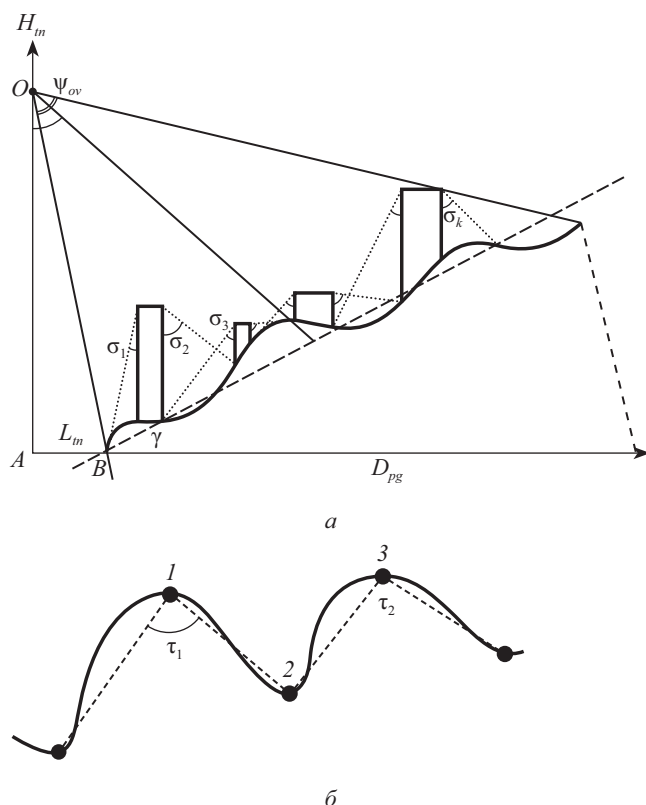


Рис. 6. Вертикальный профиль объекта картографирования (а), подстилающая поверхность (б):
1, 2, 3 — точки экстремумов

2) местоположение объекта картографирования в геопространстве M_p может быть задано углом γ расположения линии, аппроксимирующей профиль рельефа;

3) изрезанность подстилающей поверхности R_i можно определить величиной среднего значения углов τ ;

4) этажность Z_e и плотность застройки P_z можно представить параметром, определяемым через углы σ ;

5) размер объекта картографирования в горизонтальной проекции R_{pg} заменяется значением длины профиля D_{pg} .

Таким образом, состав параметров, относящихся к каждой точке наблюдения в вертикальной и горизонтальной проекциях, будет иметь вид:

$$\{L_m, H_m, \beta, \Psi_{ov}, \gamma, \tau, \sigma, D_{pg}, \Psi_{og}, R_{pg}, \alpha\}.$$

Для нахождения положения луча визирования в каждом профиле необходимо определить расстояние от границы объекта картографирования до точки наблюдения L_m , ее высоту H_m , и угол наклона луча визирования β . Остальные параметры ($\Psi_{ov}, \gamma, \tau, \sigma, D_{pg}, \Psi_{og}, R_{pg}, \alpha$) будут являться аргументами функций нахождения искомых значений, причем $\Psi_{ov} = \text{const}$ и $\Psi_{og} = \text{const}$.

Имея эту совокупность параметров теперь можно установить логические зависимости искомых параметров от других параметров:

$$\Psi_{ov} = \text{const}; \Psi_{og} = \text{const};$$

$$L_m = F_{pr}(R_{pg}, \Psi_{og}, \alpha);$$

$$H_m = F_{pr}(D_{pg}, L_m, \Psi_{ov}, \tau, \sigma);$$

$$\beta = F_{pr}(H_m, L_m, \Psi_{ov}, \gamma).$$

Таким образом, осуществлен переход от параметров, относящихся к трехмерному пространству, к параметрам, относящимся отдельно к вертикальной и горизонтальной проекциям, что существенно упрощает задачу нахождения их функциональных зависимостей.

В заключение можно отметить, что для практического применения приведенной выше системы параметров в процессе цифрового трехмерного картографирования далее необходимо установить формулы для вычисления значений каждого параметра, относящихся к визуализации перспективных картографических изображений;

Разработка выполнена в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы по контракту № 02.740.11.0735 при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берлянт А.М. Свойства визуализации как способа моделирования геоизображений // Геодезия и картография. – 2005. – №12. – С. 43–52.
2. Лисицкий Д.В., Бугаков П.Ю. Теоретические основы построения трехмерных картографических изображений. Гео-Сибирь-2011. Т.1. Геодезия, геоинформатика, картография маршейдерия. Ч.1. / Сб. матер. VII Междунар. научн. Конгресса «ГЕО-Сибирь –2011» –СГГА, Новосибирск. –2011. –С. 127–131.
3. Бондаренко С.В., Бондаренко М.Ю. 3ds Max 8. Библиотека пользователя (+CD) [Текст]. –СПб.: Питер, 2006. –608 с.

Поступила 6 октября 2011 г.
Рекомендована кафедрой картографии
и геоинформатики СГГА

УДК 550.837.82; 528

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ В ИНТЕРСАХ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Доцент, кандидат техн. наук **Н.П. Лашков**, соискатель **А.Н. Холопцев**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: voenkaf@inbox.ru

Аннотация. Дан анализ возможностей использования данных о местоположении транспортных средств, получаемых в результате использования спутниковых навигационных средств и технологий, для реализации в перспективных автомобильных системах обеспечения безопасности дорожного движения. Рассмотрены пути решения проблем спутниковой навигации в условиях сложного рельефа и городской застройки. Представлены потенциальные возможности использования навигационных систем и технологий на автомобильном транспорте (в основном по материалам зарубежных изданий).

Ключевые слова: навигационные системы, безопасность движения, ГЛОНАСС, ГНСС, транспорт

Abstract. The possibilities of using spatial location information from global navigation satellite systems in future systems of traffic safety are analysed. The problems of satellite navigation in a complex terrain and urban areas are considered. A review of potential use of navigation systems and technologies on vehicles is presented.

Keywords: Navigation systems, traffic safety, GLONASS, GPS, GNSS, transport

Концепция V2X. В последние годы в США ведутся разработки, ориентированные на повышение комфорта и безопасности использования автомобильного транспорта, а также на создание информационного взаимодействия между автомобилями и элементами дорожной инфраструктуры — такими как дорожные знаки и светофоры. Данные разработки строятся на активном использовании навигационных приемников стандарта GPS и беспроводной связи ближнего радиуса действия.

В настоящее время использование данных о местоположении для обеспечения безопасности перевозок и эффективности использования транспорта являются важным направлением исследований и разработок для ученых, производителей автомобилей и организаций, таких как Министерство транспорта США. Участники исследований сосредоточили свое внимание на взаимной связи между транспортными средствами и другими участниками дорожного движения в концепции, известной как V2X, термин охватывающий два взаимодействия: автомобиль-и-автомобиль (англ. vehicle-to-vehicle, V2V) и автомобиль-и-

инфраструктура (англ. vehicle-to-infrastructure, V2I).

Системы V2X опираются на две ключевые технологии: связь и позиционирование. Профильные организации и промышленность в течение последних нескольких лет в процессе сотрудничества разработали и продемонстрировали различные системы V2X. Эти усилия создали прототипы совместимых систем V2V, V2I и беспроводный (англ. over-the-air, OTA) протокол сообщений. В результате, любой участник дорожного движения может «видеть» других участников движения вокруг себя.

Планируется, что в полнофункциональной системе, все транспортные средства и другие участники дорожного движения (в том числе велосипедисты и пешеходы) должны использовать связь ближнего действия и технологии определения местоположения. В настоящее время, как ожидается специалистами, эти технологии будут основаны соответственно на специализированной связи на коротких расстояниях (DSRC, dedicated short-range communication) и возможностях глобальной

навигационной спутниковой системы.

Это позволит каждому пользователю определять местоположение и передавать данные о своем положении другим участникам системы. При этом транспортные средства могут использовать как встроенные системы, так и системы, которые основаны на персональных мобильных устройствах [1].

В статье [2], подготовленной специалистом автомобилестроительной корпорации General Motors, указывается, что недорогая, построенная на базе GPS, архитектура определения местоположения для систем V2V и V2I использует масштабируемую гибкую систему беспроводной связи и бортовой дизайн, отвечающий ряду особенностей автомобильной безопасности.

Обеспечение безопасности дорожного движения с помощью V2X. Основанная на информационном взаимодействии автомобиля с автомобилем V2V усовершенствованная система поддержки водителя (англ. advanced driver assistance systems, ADAS) обеспечивает комплекс средств безопасности, получаемый при сочетании GPS и беспроводной связи на коротких расстояниях.

Выделенный в США для обеспечения безопасности на автомобильных дорогах и работы устройств управления дорожным движением радиочастотный диапазон 5,9 МГц, используя DSRC, дает производителям автомобилей возможность выйти за рамки традиционных, основанных на датчиках, систем безопасности. DSRC позволяет транспортным средствам взаимодействовать с окружающими транспортными средствами и обеспечивать комплексную оценку текущей дорожной обстановки. General Motors в 2005 г. впервые публично продемонстрировал парк транспортных средств с коммуникационными возможностями, которые предупреждают водителей об опасности и автоматически тормозят транспортное средство.

Определение местоположения и анализ ситуации являются ключевыми факторами реализации почти всех современных систем транспортной безопасности и комфорта. К ним относят GM OnStar, системы адаптивного круиз-контроля (англ. adaptive cruise-control, ACC), системы оповещения об объектах в «слепых зонах» и др. Большинство из этих приложений требует точной информации о

транспортных средствах в непосредственной близости, их текущей скорости, ускорении и направлении движения.

При производстве классических систем безопасности, для контроля за передней или задней зонами видимости обычно необходимы взаимосвязанные радары ближнего и дальнего действия и отдельные датчики, обеспечивающие охват «слепых зон». Традиционные датчики не обеспечивают покрытия за пределами непосредственной зоны видимости, что ограничивает эффективность этих средств. Например, в случае жесткого торможения, которое происходит далеко впереди, движущиеся сзади водители не могут видеть торможение до тех пор, пока транспортное средство непосредственно впереди также не начнет торможение. Системы V2V могут обеспечить мгновенную связь между транспортными средствами даже в ситуациях, когда событие скрыто крутым поворотом, большим транспортным средством или иным препятствием.

Если транспортные средства оснащены технологией определения местоположения, такой как GPS, и им доступно взаимодействие с другими участниками дорожного движения, все транспортные средства, а также элементы инфраструктуры, могут обмениваться информацией, в том числе, включающей в себя данные автомобилей о своем местоположении. Каждое транспортное средство может образовать вокруг себя зону наблюдения (англ. awareness zone, AZ), используя данные, полученные от всех оснащенных соответствующим оборудованием участников движения в пределах дальности связи.

V2V-технология устраняет два критических ограничения традиционных технологий, основанных на датчиках. Во-первых, одно коммуникационное устройство может связываться с транспортными средствами, находящимися в зоне связи автомобиля, делая возможным круговое наблюдение за обстановкой в вокруг транспортного средства. Во-вторых, поле связи не ограничено прямой видимостью. Устройство позволяет формировать зону наблюдения вокруг транспортного средства и могут отслеживаться все оборудованные соответствующими устройствами транспортные средства в зоне наблюдения. Кроме того, связь между транспортными средствами слу-

жит средой для обмена другой информации. В частности, могут передаваться точные данные, связанные с дальнейшими действиями, такие как режим поворотника и данные подсистемы курсовой устойчивости.

Среду V2V можно расширить путем включения V2I, используя те же самые технологии. В сущности, как только транспортное средство оказывается в пределах зоны связи оборудованного перекрестка, становится известна вся информация, передаваемая всеми транспортными средствами вокруг него, а также элементами инфраструктуры.

Тестовый автомобиль GM V2X построен на сочетании установленных специальным образом дисплеев и приводов, включающих дисплеи отображения удаленной информации (англ. high-head-down displays, HHDD), условные значки на зеркалах, импульсные водительские сидения и систему автоматического торможения. Тесты показывают, что транспортная связь, использующая DSRC, является для стандартных дорог стабильной в радиусе 300 м, что является достаточным для соответствия требованиям приложений ADAS. В числе многих функций, ADAS может осуществлять замедление/торможение транспортного средства, включение аварийного электронного стоп-сигнала, а также предупреждение об опасности столкновения. Электронная система определяет, когда автомобиль, идущий впереди, осуществляет экстренное торможение. Это расширяет понимание водителем ситуации за счет обеспечения его важной информацией, которую водитель не может определить визуально из-за других транспортных средств, находящихся между данным автомобилем и экстренно тормозящим транспортным средством. С учетом интенсивности торможения и другой информации, такой как полоса движения, устройство подает звуковой сигнал и визуально привлекает внимание водителя. Так как информация передается мгновенно, водители имеют больше времени, чтобы отреагировать на угрозу.

В системе безопасности данные об относительном расстоянии, относительной скорости и относительном ускорении определяют возможность столкновения с задней частью впереди идущего автомобиля. При обнаружении таких событий, с целью привлечения внимания

водителя, система приводит в действие визуальные и звуковые сигналы, а также переднюю часть импульсных сидений. Устройство может также автоматически затормозить в ситуации, когда водитель не реагирует на неизбежное столкновение. Система также отслеживает положение транспортных средств на соседних полосах движения и отображает информацию в виде светящегося значка на боковом зеркале, когда с помощью средств связи обнаруживается транспортное средство в «слепой зоне» автомобиля. Система также сигнализирует водителю, когда маневр по смене ряда небезопасен для оборудованных аналогичной системой проходящих рядом транспортных средств. В целях обеспечения безопасности движения на скользкой дороге система дополнительно получает данные от автомобильной системы курсовой устойчивости [2].

С учетом того, что в будущем V2X-системы будут иметь возможность включать в свою систему информационного обмена всех участников дорожного движения наличие различных типов устройств может создать ряд технических трудностей. Наличие различных видов участников дорожного движения приводит к возможности существования многих типов, моделей, вариантов аппаратного и программного обеспечения. Таким образом, в рамках системы V2X должна обеспечиваться совместимость устройств с широким диапазоном эксплуатационных характеристик. Это создает очевидную необходимость иметь минимум технических стандартов для V2X-совместимых устройств.

Важно отметить, что устройства V2X предлагается классифицировать на три возможные категории в зависимости от точности: «какая дорога», «какая полоса», «где на полосе». При этом, в том числе для обеспечения безопасности дорожного движения, устройства системы V2X должны быть в состоянии надежно определить категорию точности соответствующего устройства для каждого объекта, с которым осуществляется взаимодействие [1].

Технологии обеспечения безопасности движения, основанные на системах навигации, в настоящее время начинают применяться на замкнутых транспортных маршрутах, в частности на дорогах, по которым осуществляется доставка карьерным грузовым транспортом

минерального сырья из месторождений, добыча на которых осуществляется открытым способом. Специалистами отмечается, что необходимость увеличения добычи полезных ископаемых и повышения эффективности использования карьерного транспорта при соблюдении норм безопасности приводит к установке на соответствующем транспорте целого спектра устройств, обеспечивающих безаварийную работу транспорта в условиях значительного количества транспортных средств, одновременно занятых на разработках, тяжелых климатических условий и существенной нагрузки на водителей.

Использование совместно со спутниковыми навигационными системами иных технологий связано, в том числе, с невозможностью использования GPS на подземных участках транспортных маршрутов и недостаточной точностью GPS в условиях сложного рельефа местности, который имеет место при открытой добычи полезных ископаемых.

Касаясь вопроса сочетания нескольких навигационных систем на транспортном средстве с целью бесперебойного получения информации о текущем местоположении, целесообразно рассмотреть следующий пример. В 2005 г. специалистами Гонконгского политехнического университета решалась сходная проблема осуществления мониторинга в режиме реального времени за бетоносмесителями, доставляющими бетон на строительные объекты Гонконга (специальный административный район КНР). В ходе исследования было отмечено, что в условиях многоэтажной городской застройки система GPS определяет координаты бетоносмесителя с значительной погрешностью (по представленным в статье китайских ученых данным, примерно на половине территории Гонконга сигнал GPS труднодоступен, в 9 % измерений погрешность составляет более 100 м).

Для решения этой проблемы ученые в навигационной составляющей системы мониторинга скомбинировали приемник GPS, гироскоп (для измерения угла поворота грузового автомобиля) и одометр (для определения пройденного расстояния), т.е. определенным образом инерциальное навигационное устройство. Таким образом, данные о местоположении бетоносмесителя определялись и передава-

лись в информационный центр компании и в период отсутствия навигационных данных от GPS. После выхода транспортного средства в зону уверенного приема сигнала GPS уточненная информация о нахождении транспортного средства передавалась в информационный центр компании и данные в автоматизированной информационной системе приводились в соответствие с фактическим положением бетоносмесителя [3].

Приведенные примеры использования навигационных систем на грузовом транспорте показывают высокую зависимость эффективности создаваемой автоматизированной системы обеспечения безопасности дорожного движения от точности определения местоположения транспортного средства, обеспечиваемой спутниковой навигационной системой. В этой связи крайне важной является возможность бортовой системы автомобиля самой оценивать точность передаваемых другим участникам движения данных о местоположении транспортного средства.

Передача участниками движения данных недостаточной точности может привести к принятию водителями других транспортных средств и их автоматизированными системами поддержки управления решений, не соответствующих реальной дорожной обстановке. Таким образом, вероятность возникновения аварийной ситуации на дороге только увеличится.

Перспективные возможности навигационных систем и технологий. До настоящего времени наиболее востребованными для решения указанных задач считались решения на базе GPS. Однако за последние годы глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS), в целом, достигли существенных результатов в своем развитии. В настоящее время к GNSS относятся: полностью функциональная система GPS, возродившаяся российская система ГЛОНАСС и создаваемая европейская система Galileo. Для целей навигации с помощью оборудования, использующего одновременно сигналы нескольких спутниковых систем, комплекс глобальных навигационных спутниковых систем можно рассматривать, как GNSS-систему.

Преимущества, которые будут получены от использования GNSS-системы, как только

она будет развернута частично или полностью:

увеличенное число спутников позволит работать в GNSS в неблагоприятных условиях, например, в условиях городской застройки;

ускоренное получение решения приведет к повышению производительности как в статических, так и в динамических задачах;

возможность получения решения на больших удалениях от базовой станции позволит сэкономить на их количестве;

более мощный передаваемый сигнал позволит надежно захватывать и отслеживать даже слабые сигналы;

более надежное определение срывов инициализации повысит точность и надежность результатов.

Развитие GNSS-технологии позволяет осуществлять прием всех доступных сигналов GPS/ГЛОНАСС или даже сигналов Galileo. Число каналов от 72 до 216; совмещенная GPS/ГЛОНАСС/Galileo антенна; высокоэффективные алгоритмы подавления кодовой и фазовой многолучевости; простое расширение функциональности приемников с помощью паролей; мощные фильтры для подавления внутрисполосных помех; высокая частота позиционирования (от 20 до 100 Гц); встроенные универсальные обменные протоколы (RTCM 2.x, RTCM 3.x, CAN); интегрированные средства связи (Bluetooth, WiFi, УКВ или GMS/GPRS, Ethernet); удобная блочная конструкция (замена батарей, УКВ или GMS/GPRS-модулей); малое энергопотребление; распространенные интерфейсы для питания и связи; расширенный объем памяти для записи и хранения данных; малые размеры; эргономичная конструкция; удобное управление; возможность настройки, управления и получения данных через Интернет. Все вышеперечисленное позволит ускорить сбор данных и, как следствие, повысить производительность, унифицировать набор данных, ускорить интеграцию программного обеспечения, повысить визуализацию и наглядность представления информации, найти новые приложения применения различных видов оборудования и технологий при решении различного рода задач. При этом также используются системы, основанные на использовании радиочастотных меток (RFID), радионавигации, лазерных технологий, а также инерциальных систем определения местоположения [4].

В заключение важно отметить, что повсеместное использование транспорта и возможностей спутниковых и других навигационных систем в перспективе создает самые широкие возможности использования навигационных технологий как в интересах безопасности дорожного движения, так и в других областях, где необходимы взаимосвязанные и координированные действия между участниками движения. На современном этапе идет теоретическая и экспериментальная проработка вопросов точного определения местоположения и взаимного обмена данной информацией между участниками дорожного движения и элементами дорожной инфраструктуры на дорогах общего пользования. При этом на замкнутых специальных маршрутах внедрение соответствующих систем уже осуществляется.

Важной составляющей развития данной технологии является экономический результат от ее применения для владельца транспортного средства. Для промышленных объектов целесообразность бесперебойного безаварийного функционирования транспорта очевидна и расходы на внедрение соответствующих систем окупаются за незначительное время. Но решение задачи широкого внедрения автоматизированных систем обеспечения безопасности дорожного движения, построенных на базе спутниковой навигации, потребует дополнительных государственно-административных решений, применения стимулирующих мер, в том числе финансового характера (например, снижения стоимости автострахования), а также шагов, направленных на формирование устойчивого положительного общественного мнения по данному вопросу.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Basnayake C.* Position for Driver Assistance. Communication on the Road // GPS World – April 2009. P. 28–36.
2. *Basnayake C.* Road Talk // GPS World – March 2011. P. 36–42.
3. *Lorimer R.* Mining Boom Spurs New Positioning Solutions // GPS World – August 2010. P. 42–43.
4. *Lu M., Shen X., Lam H.-C.* Real-Time Monitoring of Ready-Mixed Concrete Delivery with an Integrated Navigation System // Journal of Global Positioning Systems – 2006. – Vol. 5, No 1–2. P. 105–109.

Поступила 22 июня 2011 г.

Рекомендована военной кафедрой МИИГАиК

АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ГОРОДОВ И ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ

Профессор, доктор геолого-минералог. наук, академик РАЕН А.В. Садов,
аспирант В.В. Зеленков

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: maxxsash@rambler.ru

Аннотация. Описываются основные техногенные факторы, которые влияют на компоненты городской среды, и основные особенности городов и городских агломераций. Приведены уровни, на которых проводится комплексный аэрокосмический мониторинг городских агломераций. Изложены основы проведения тепловой инфракрасной съёмки городов. Показаны звенья технологической схемы тематической обработки мониторинговой информации.

Ключевые слова: аэрокосмический, мониторинг, город, урбоэкология

Abstract. The main anthropogenic factors influencing on the components of the urban environment as well as the basic features of cities and urban agglomerations are described in the article. There are some examples of levels at which complex aerospace monitoring of urban agglomeration is being realized. The bases of carrying out TIR survey of cities are expounded. The phases of the technological scheme of thematic processing of monitoring information are shown.

Keywords: Aerospace, monitoring, city, urban ecology

Экологические проблемы крупных городов — специфическая область экологии, которая получила название урбоэкология. В область урбоэкологии входит изучение причин возникновения и постоянного увеличения площади и численности населения городов, процессов формирования городских ландшафтов как особой сферы организации поверхности Земли, «городских» популяций растений и животных. Неотъемлемым признаком городов является и постоянно возрастающее загрязнение окружающей среды, влияющее на ухудшение здоровья людей.

В настоящее время примерно половина мирового населения уже живёт в городах, а в промышленно развитых странах более 75% составляет городское население. В России городское население составляет 73% [1]. Интенсивная и многофункциональная деятельность человека в крупных городах приводит к существенному и часто необратимому изменению городских экосистем. В крупных городах сосредоточено наибольшее количество источников загрязнения. Основными источниками воздействия на окружающую среду в городе являются: автотранспорт, промышленные предприятия, городское и коммунальное хозяйство и др. Привнесение в окружающую среду различных поллютантов от этих источников сильно нарушает экологию города, так как приводит к негативным процессам: загрязнению атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почвенного, растительного и снежного покровов и, как следствие, к уве-

личению роста заболеваемости и смертности. Но, кроме техногенных факторов, существуют и природно-техногенные: суффозия, подтопление, оползни и др.

Для предотвращения дальнейшего загрязнения природной среды, обеспечения защиты населения от неблагоприятных экологических последствий необходимо проводить работы по контролю и оценке экологического состояния города.

Существующие методы контроля загрязнения среды не позволяют в современных условиях оперативно и масштабно определять картины негативных воздействий. Поэтому для контроля и экологической оценки состояния окружающей среды используют дистанционное зондирование и аэрокосмический мониторинг.

Окружающая среда городов и городских агломераций подвержена интенсивному воздействию техногенных факторов, которые влияют на составляющие компоненты городской среды: воздух, воду, почву, биоту и климат. К таким факторам относятся: химическое загрязнение воздуха; химическое загрязнение водоёмов, вызывающее их засоление; химическое загрязнение почв, приводящее к их деградации; размещение отходов, и связанное с ним загрязнение недр, почв, поверхностных и подземных вод, эмиссия газа в атмосферу и т.д.; радиоактивное загрязнение и связанная с ним эмиссия радионуклидов в почву, воздушную и водную среды; тепловые загрязнения; шумовые и вибрационные воздействия, при-

водящие к ухудшению самочувствия городского населения и стимулированию заболеваний; электромагнитные загрязнения, изменяющие городскую флору и фауну, что стимулирует заболевания городского населения; механические воздействия, вызывающие создание искусственных форм рельефа, деградацию растительного покрова, эрозию почвы и др.

Современные тенденции развития городских агломераций — увеличение общей площади отчуждаемых территорий, усложнение природно-технических условий эксплуатации сложных инженерно-технических комплексов, расширение инфраструктуры обслуживающих служб, ужесточение требований к надёжности и экологичности промышленных предприятий и др. — создают твёрдую основу для расширения работ по оперативному диагностированию экологического состояния. С этой целью необходимо осуществлять мониторинг как природной среды, так и техносферы городских территорий. Для этого требуется, прежде всего, организация комплексного мониторинга и контроля с использованием современных методов дистанционного зондирования.

Дистанционные методы изучения природных объектов базируются на исследовании электромагнитных излучений, исходящих от объектов исследований. Крупные агломерации и антропогенно-трансформированные территории резко отличаются от природных естественных ландшафтов отражательными и излучательными свойствами, температурой поверхности, спектротрическими характеристиками, позволяющими определить истинные границы агломерации, степень и характер её влияния и изменений. Это определяется следующими особенностями городов и городских агломераций:

планировка и застройка территории формируют городской ландшафт с типичными искусственными сооружениями, дорожной сетью, искусственными водоёмами и т.д.;

на значительных площадях нарушен состав и структура верхнего слоя грунтов, мощность антропогенных накоплений (культурного слоя) достигает 3–5 м и более. Это оказывает заметное влияние на инженерно-геологические и гидрогеологические условия, а также на формирование физических полей, регистрируемых при дистанционных исследованиях;

наличие искусственного асфальтового по-

крытия, толщина которого может достигать 0,5 м. С одной стороны, это нарушает питание грунтовых вод атмосферными осадками, а с другой, — препятствует испарению влаги из почвогрунтов. Асфальтовое покрытие почти полностью экранирует естественное тепловое поле земной поверхности;

распространение в крупных городах имеют различные подземные сооружения (метрополитен, тоннели, подземные склады, гаражи) и коммуникации (городские коллекторы, тепловые и электрические сети, водопровод, канализация);

нарушение естественной связи между поверхностными и подземными водами. Это объясняется искусственной гидроизоляцией городских рек и водоёмов, созданием гидротехнических сооружений и интенсивной эксплуатацией подземных вод;

зелёные насаждения на значительной части территории испытывают воздействия техногенных факторов, которые влияют на состояние фитоценозов условия их выживания и выполнения ими средоохранных функций;

многочисленные связи и взаимодействия объектов в пределах городских территорий определяют ещё одну особенность города — его динамизм. Круглосуточная работа многих производств и систем жизнеобеспечения, постоянное перемещение людей непрерывно трансформирует функциональную структуру города. Перепланировка улиц, прокладка магистралей, создание новых промышленных и селитебных зон является способом адаптации планировочной структуры города к постоянно изменяющимся условиям окружающей среды.

Структурно система аэрокосмического мониторинга окружающей среды включает в себя набор взаимно дополняющих друг друга технических средств и методов контроля: космическую съёмку, авиационную, наземные наблюдения и др. При этом используются следующие средства дистанционного зондирования: пассивная многоспектральная оптическая аппаратура; гиперспектрометры; лидарные системы; аппаратура дистанционной пространственно-частотной спектрометрии; радиолокационные средства и др.

Комплексный аэрокосмический мониторинг городских агломераций выполняется на трёх уровнях: региональном, локальном и детальном.

На *региональном уровне* мониторинговые работы осуществляются на территории крупных городов и городских агломераций. При этом используются преимущественно материалы многозональных и многоспектральных космических съёмок. Они позволяют получить целостное представление об эколого-градостроительной ситуации территории: структуре землепользования; характере использования территории и истинных границах объектов и нарушений; инфраструктуре производственных территорий; размещении несанкционированных объектов, состоянии и границах природных экосистем; характере и распространении неблагоприятных геологических процессов; размещении и площади источников и ореолов загрязнения природных сред; обоюдном влиянии природных и техногенных факторов; а также оценить экологическую ситуацию во времени и пространстве, динамику процессов; осуществить прогноз экологической ситуации; обеспечить своевременное предотвращение чрезвычайных неблагоприятных событий.

Космические материалы открыли новые возможности обнаружения и контроля за крупными загрязнениями природной среды вокруг агломераций. Над крупными агломерациями на космических снимках (КС) прослеживаются тёмные вуализующие пятна дымовых и пылевых облаков. Такой смог виден над крупными промышленными районами практически во все времена года, над более мелкими — весной и осенью, когда этому способствуют специфические метеоусловия. При сильных ветрах загрязнение атмосферы распространяется на сотни километров.

Температурные особенности промышленных урбанизированных районов хорошо дешифрируются на зимне-весенних космических фотоснимках (КФС) по состоянию и сходу снежного покрова. Тепловые контрасты «островов» с окружающим фоном могут достигать нескольких градусов. Пространственные размеры тепловых «островов» определяются не только площадью городской агломерации, но и особенностями её структуры — плотностью технических объектов и застройки, напряжённостью транспортных сетей, характером и количеством тепловых выбросов, наличием и структурой растительного покрова, метеорологическими условиями.

Изучение снежного покрова по КС как индикатора загрязнения промышленных узлов для выявления зон их влияния на окружающую среду даёт интересные результаты. Такие зоны, отчётливо выделяемые по зимним снимкам, от мелкомасштабных КС до крупномасштабных аэрофотоснимков, показывают суммарное загрязнение от всех технических объектов района. По космическим и аэрофотоснимкам можно определить загрязнение поверхностных вод по внешним признакам — наличию на поверхности воды пены, нефтяной плёнки, всплывающим твёрдым материалам, по появлению пара при термальном характере загрязнения. Косвенное отражение на снимках находит химическое загрязнение водоёмов, где разным фототонном отражаются отдельные озёра или участки одного водоёма с разной степенью минерализации вод.

На КС отражаются не только отрицательные воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду, но и положительное влияние рационального хозяйствования: рекультивированные отвалы, терриконы и площадки, полезащитные противозерозийные лесополосы, следы применения рациональной агротехники, противозерозийные севообороты и т.д. С помощью аэро- и космических снимков можно исследовать динамику и состояние растительного покрова.

Таким образом, на космических снимках находит отражение техногенное воздействие на все компоненты природной среды. Широкий охват территории на КС, достаточная детальность изображения позволяют выявить взаимодействие природы и технического комплекса, их состояние и возможные изменения. Повторные дистанционные съёмки позволяют проследить динамику хозяйственного освоения, изменения ландшафтов и наметить природоохранные мероприятия.

На *локальном уровне* мониторинг проводится в пределах отдельных частей города, округов, районов и т.д., а на детальном уровне прежде всего на объектах неблагоприятных воздействий. Мониторинговые работы в данном случае предусматривают, как правило, регулярные сезонные площадные аэросъёмки промышленных центров и территорий интенсивного техногенного воздействия.

Масштаб выполняемых мониторинговых работ определяется, с одной стороны, требу-

емой детальностью исследований, с другой стороны - характером решаемых задач, и не в последнюю очередь – имеющимися финансовыми средствами; как правило, это работы 1:10 000-1:50 000 масштабов. Комплексные аэросъёмки выполняют для решения широкого круга задач городского и коммунального хозяйства.

В рамках решения данных задач разработана (ГНПП «Аэрогеофизика») и эксплуатируется в производственных масштабах система дистанционного инженерного и экологического мониторинга. Аппаратурно-программный комплекс организован на базе вертолёта МИ-8. Аэросъёмочные работы выполняются по системе параллельных маршрутов с интервалом 250 м при высоте полёта порядка 150 м.

Работы проводятся в относительно стабильной метеорологической обстановке, то есть при скорости ветра не более 8 м/с и при отсутствии осадков. При выполнении работ для проложения маршрутов и плановой привязки измерений используется спутниковая навигационная система «ЛЮЦМАН» (разработка ГНПП «Аэрогеофизика») на базе GPS+GLONASS-приемника GG24 фирмы ASHTECH с дифференциальной коррекцией данных в режиме постобработки. В состав аппаратурно-программного комплекса входят: аэрофотоаппарат МСК-4 для многозональной фотосъёмки; аппаратура газовой и аэрозольной аэросъёмки; тепловизор «ИКАР-002» для выполнения тепловой инфракрасной (ИК) аэросъёмки; цифровой аэрогамма-спектрометр [2].

Материалы многозональной аэрофото-съёмки, полученной с помощью аппаратуры МСК-4 в масштабе 1:10 000–1:25 000 и их автоматизированная обработка позволяет достаточно чётко отразить характер использования городских земель с выделением жилых зданий, объединённых в микрорайоны и кварталы; административно-общественных учреждений и предприятий культурно-бытового обслуживания; внеквартальных зелёных насаждений (парки, сады, бульвары, скверы); улиц и площадей, набережных, мостов и туннелей; промышленных предприятий; устройства внутригородского транспорта, городского водопровода и канализации; естественных и искусственных водоёмов; санитарно-защитных зон и пр.

Полученная информация используется для составления и ведения разнообразных, в том

числе земельных кадастров, осуществления функционального и строительного зонирования территории, планировочной структуры городского хозяйства и т.д.

Тепловая инфракрасная аэросъёмка (ТИКАС) — единственный дистанционный метод, позволяющий оперативно решать задачи контроля состояния продуктопроводов (нефте- и газопроводов, подземных тепловых сетей и др.), а также уточнять либо составлять схемы их расположения; выявлять несанкционированные выбросы в реки и водоёмы, обнаруживать очаги скрытого возгорания и т.п.

Тепловая инфракрасная аэросъёмка выполняется при помощи сканирующей тепловизионной системы «ИКАР-002» (разработка ГНПП «Аэрогеофизика») по системе параллельных маршрутов, маршрутное расстояние составляет 350–500 м, высота полёта 350–500 м. Приём тепловизионного сигнала в спектральном диапазоне 8–14 мкм с высоким геометрическим разрешением (2500 точек на строку сканерного изображения) осуществляется при скорости сканирования 230 строк в секунду, температурная чувствительность при температуре фона +20°C [2]. Материалы тепловой съёмки могут трансформироваться по масштабной топооснове (всегда предоставляется заказчиком, что, прежде всего, определяет степень режимности итоговых материалов; для городских территорий, как правило, масштаба 1:2 000), сшиваться, разрезаться по границе планшетов и передаваться заказчику в виде файлов, например, *.BMP, *.TIF или любого другого графического формата с цветной или черно-белой палитрой.

Тепловая ИК-съёмка используется для решения актуальной задачи жилищно-коммунального хозяйства — картирование и диагностика состояния тепловых сетей. За один цикл работ идентифицируется от 70 до 100% сетей в зависимости от метеорологических условий съёмки. Дистанционная диагностика состояния подземных — тепловых сетей позволяет выделить аварийные участки трубопроводов, высокие теплопотери (аварийно-опасное состояние), повышенные теплопотери (нарушенная или влажная изоляция), нормированные теплопотери. Получаемые материалы используются заказчиками при составлении и корректировке ежегодных планов ремонтных работ для обнаружения мест постоянных и аварийных утечек.

Постоянные утечки оказывают существенное влияние (как прямое, так и опосредованное) на геологическую среду. Величина суммарной постоянной утечки сопоставима (а иногда превышает) с величиной естественного подземного стока. Так, общая величина утечек сетевой воды для Москвы составляет 5 000–6 000 м³/ч [3]. Это приводит к повышению уровня грунтовых вод и, как следствие, к подтоплению и заболачиванию территории. Попадая через эрозионные окна в глубокие водоносные горизонты, горячие техногенные воды изменяют химический состав, тепловой режим подземных вод, вызывают активизацию карстово-суффозионных процессов. Кроме того, для восполнения объёма воды в отопительной системе производится дополнительный забор воды из скважин, для подогрева которой до нужной температуры требуется дополнительное количество топлива. Следовательно, увеличиваются не только материальные затраты, но и выбросы в атмосферу.

Материалы тепловой съёмки позволяют наиболее рационально планировать ремонтные работы, своевременно ликвидировать аварийные и постоянные утечки и таким образом уменьшать подпитку в тепловых сетях и, следовательно, уменьшать нагрузку на окружающую среду. Уникальной является возможность обнаружения тепловой съёмкой выпусков сбросовых вод (промышленных и коммунальных), в том числе малodeбитных и слабоконтрастных, в реки и водоёмы.

Среди широкого круга задач, решаемых тепловой инфракрасной аэросъёмкой, весьма актуальным является картирование местоположения и определение состояния продуктопроводов, в том числе нефте- и газопроводов, причем как открытой, так и подземной прокладки. Опыт работ показывает, что ИК-аэросъёмка данных объектов может быть выполнена с малых (до 100 м) высот, при этом реальное пространственное разрешение составляет 0,1–0,2 м. На изображении такого качества отчётливо проявляются нюансы теплового следа продуктопровода, места утечек, выделяются участки его обводнения грунтовыми водами (а значит, и повышенной коррозионной опасности), места развития гидратных пробок в газопроводах.

В качестве результата тепловой аэросъёмки заказчики получают:

файлы помаршрутных ИК-изображений на электронном носителе, в том числе и в виде проекта, собранного с точностью используемой системы геопозиционирования;

масштабированное тепловое изображение, «сшитое» в площадное тепловое поле, с разрезкой по листам определённой номенклатуры. Точность привязки элементов изображения к топооснове, как правило, отвечает условиям этой топоосновы.

Масштабированные тепловые изображения могут использоваться в качестве растрового слоя в любых геоинформационных системах (ГИС) [3].

Большой объём информации, получаемой при помощи космических систем дистанционного зондирования, а также необходимость её оперативной обработки, предопределяет потребность в автоматизированной обработке на компьютерах.

Основные звенья технологической схемы тематической обработки мониторинговой информации включают в себя подсистему:

предварительной обработки материалов аэрокосмических съёмок;

тематической обработки (с использованием линейного, спектрального и текстурного анализа) аэрокосмических изображений;

агрегирования пространственных данных, предназначенной для районирования по заданным признакам и создания на этой основе цифровых моделей специальных тематических карт;

комплексной интерпретации данных наблюдений и экспертных оценок, включающую набор процедур, предназначенных для определения тенденций развития исследуемых пространственных явлений во времени, выявления закономерностей распространения в пространстве разнородных свойств и явлений, установления пространственно-логических связей и причинно-следственных обусловленностей проявления природных и антропогенных процессов и т.п.

экологического прогноза, позволяющую проводить оценку и прогнозирование состояния почв, инженерно-геологического состояния территории, загрязнённости и засоленности среды на региональном уровне и другие.

Эффективное извлечение полезной информации для пользователей ДДЗ возможно только лишь при наличии соответствующих

цифровых программ тематической обработки аэрокосмических изображений: ERDAS IMAGINE, ENVI, ER Mapper, OrthoMap и др.

Многообразие современных методов и средств дистанционного зондирования земной поверхности в экологических целях вызывает необходимость формирования банков данных дистанционной информации с надлежащей географической привязки с использованием систем геопозиционирования и набором процедур её интерпретации. В задачах мониторинга особый интерес представляет использование аэрокосмического и картографического методов.

Результаты исследований представляются в виде тематических карт. В комплект карт входят: топографическая, функционального зонирования территорий, источников техногенного воздействия, загрязнение атмосферного воздуха участков загрязнения поверхностных вод и источников несанкционированного сброса в реки и водоёмы, местоположения подземных лесных и торфяных пожаров, распространения неблагоприятных природных и природно-техногенных процессов (заболачивание, подтопление, суффозия, карст и пр.), оценки состо-

яния окружающей среды, динамики изменения состояния окружающей среды и её отдельных компонентов и др.

Потребителем материалов комплексного экологического мониторинга является городская администрация, её управление по жилищно-коммунальному хозяйству, а также комитеты по земельным ресурсам и землеустройству, которые, реализуя централизованный городской заказ на мониторинговые работы, могут открыть путь к получаемой информации муниципальным, кадастровым, экологическим организациям и фирмам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Экология города*. – М.: Науч. мир, 2004.
2. *ГНПП Аэрогеофизика*: портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aerogeo.ru>. Дата обращения: 30.03.2012.
3. *Развитие современной экологии*: портал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ecotext.ru>. Дата обращения: 30.03.2012.

Поступила 4 июня 2012 г.

*Рекомендована кафедрой
прикладной экологии и химии МИИГАиК*

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЕШИФРИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЛИНЕЙНЫХ И КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР НА КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Профессор, доктор техн. наук **В.П. Савиных**, профессор, доктор техн. наук **В.А. Малинников**,
кандидат техн. наук **Д.В. Учаев**, кандидат техн. наук **Дм.В. Учаев**

Московский государственный университет геодезии и картографии,

E-mail: D-Uchaev@yandex.ru

Аннотация. Предложена автоматизированная технология дешифрирования и анализа линейных и кольцевых структур на космических изображениях. На примере тестовых изображений Луны и Марса, а также базы данных о 203 вулканических конусах продемонстрирована эффективность предложенной технологии при решении задачи обнаружения линеаментов на земной поверхности и кратеров на поверхности небесных тел.

Ключевые слова: линеамент, преобразование Хафа, кольцевая структура, ударный кратер

Abstract. The technology for automated detection and analysis of linear and circular structures on space images is proposed. Efficiency of the proposed technology for the decision of a problem of detecting of lineaments on a terrestrial surface and craters on a surface of celestial bodies is shown on an example of test images of the Moon and Mars and a database containing information about 203 volcanic cones.

Keywords: lineament, Hough transform, circular structure, impact crater

В настоящее время в связи с интенсивным развитием спутниковых средств дистанционного зондирования Земли и других планет большое внимание уделяется обнаружению и анализу линеаментов и кольцевых структур по материалам космических съемок.

Линеаментный анализ фотопланов, мультиспектральных и других изображений, получаемых в процессе космической съемки, позволяет оперативно исследовать геологические структуры, проявляющиеся на поверхности Земли в форме линий разной степени кривиз-

ны и окружностей. Указанное преимущество оказывается крайне важным в задачах, требующих оперативного принятия решений.

Визуальное дешифрирование по снимкам линейных и кольцевых структур на поверхности Земли и других тел Солнечной системы есть в значительной степени субъективный процесс, требующий зачастую существенных затрат времени и сил. Автоматизация данного процесса позволяет избежать подобных трудностей и обладает высокой оперативностью, экономической эффективностью и объективностью [1, 2]. При этом в области программных средств для автоматизированного обнаружения и анализа линеаментов и кольцевых структур наблюдается несколько взаимодействующих тенденций.

Во-первых, происходит быстрое и разностороннее развитие инструментария крупных универсальных ГИС как в области обнаружения линейных и кольцевых структур, так и в области их геостатистического анализа. Крупные универсальные ГИС, такие как ArcGIS, MapInfo могут использоваться в рамках существующих технологий линеаментного анализа уже не только как программные средства сбора, упорядочения, хранения, манипулирования и первичной обработки пространственно-привязанных данных, обрабатываемых и получаемых в процессе анализа линейных и кольцевых структур, но и как системы геопространственного и геостатистического анализа результатов обработки исходных данных, позволяющие проводить такие операции над полями линеаментов и кольцевых структур как отбор линеаментов и кольцевых структур по заданным критериям, построение картографических изображений пространственного распределения таких геостатистических показателей линеаментных полей, как плотность и частота, находить точки пересечения линеаментов и многое другое. Однако данные системы по-прежнему остаются системами, предназначенными для удовлетворения лишь основных потребностей в анализе пространственно-скоординированных данных, относящихся к конкретным сферам наук о Земле.

Другая тенденция заключается в разработке специализированных программ, обеспечивающих работу в рамках одной или нескольких фик-

сированных технологических схем линеаментного анализа (LINDENS, WinLESSA, «Alina», LINEAMENT, PLANETAMONITORING). При этом от пользователя не требуется универсальных знаний в области ГИС, а следовательно, применяются понятные ему терминология и интерфейс. Внедрение таких систем в научную и производственную практику происходит значительно эффективнее и требует меньших затрат на освоение.

Выполненный нами анализ данных программных продуктов показал, что они обладают рядом существенных недостатков, наиболее важные из которых перечислены ниже:

- поддержка ограниченного числа растровых и векторных форматов файлов как входных, так и выходных;

- отсутствие поддержки многоканальных изображений;

- специфический функциональный аппарат; ограниченная поддержка технологии отображения и манипулирования пространственно-скоординированной информации в виде слоев;

- ограниченная поддержка пространственной привязки при загрузке, сохранении и манипулировании растровыми и векторными файлами, а также файлами ЦМР, содержащими геопространственную информацию;

- невозможность увеличения возможностей программы за счет дополнительных модулей (плагинов);

- ограниченное количество рассчитываемых характеристик карт линеаментов и кольцевых структур;

- ограниченные возможности по представлению карт линеаментов и кольцевых структур, а также результатов геоинформационного анализа.

И наконец, в качестве отдельной тенденции, связанной с большой ролью космических материалов при решении задачи обнаружения линеаментов и кольцевых структур, можно отметить широкое использование специализированных систем обработки космоснимков для решения данной задачи. Яркими представителями таких систем являются Erdas Imagine («ER LESSA»), ER Mapper («Lineament Analysis Wizard for ER Mapper»), PCI Geomatica («LINE-Lineament Extraction»). Несмотря на

несомненную полезность, данные программы обладают всеми недостатками ГИС указанных выше типов: сложны в изучении, не позволяют выполнять специфические операции при решении задачи обнаружения линеаментов и кольцевых структур и не предоставляют достаточных возможностей комплексного анализа данных разных типов.

Кроме того, можно выделить недостатки, характерные для программных средств автоматизированного обнаружения и анализа линеаментов и кольцевых структур всех трех рассматриваемых групп: невысокая степень достоверности выявляемых автоматизировано линеаментов и кольцевых структур; ограниченные возможности обнаружения автоматизированными средствами линейных и кольцевых структур, слабо выраженных на снимках либо неравномерно освещенных на них; ограниченные средства интеграции разнородных и разноуровневых геоданных, используемых для автоматизированного обнаружения и анализа линейных и кольцевых структур.

С целью преодоления недостатков, указанных выше, авторами статьи была предложена технология автоматизированного обнаружения и анализа линеаментов и кольцевых структур на космических изображениях (рис.1).

Поскольку задача автоматизации процесса обнаружения линеаментов на космических снимках требует четкого определения понятий «линеамент» и «кольцевая структура», рассмотрим особенности отображения линеаментов и кольцевых структур на космических снимках и сформулируем на их основе определения данных понятий с позиций цифровой обработки изображений.

Как было замечено многими авторами [3, 4], в зависимости от поставленной задачи на космических изображениях могут обнаруживаться линейные структуры, отображающие разные по своему генезису и размерам объекты. Причем линеаменты антропогенного происхождения во многих случаях могут иметь более прямолинейную непрерывную форму и быть более контрастными по отношению к окружающим объектам. Указанное обстоятельство оказывается крайне полезным, когда целью обнаружения являются данные структуры. В таких случаях зачастую для обнаружения ли-

нейных структур на космических снимках бывает достаточно использовать универсальные алгоритмы построения контурных изображений с последующей процедурой поиска линейных участков контуров.

Однако в большинстве случаев целью линеаментного анализа космических изображений является выявление линейных структур природного происхождения, указывающих на процессы, происходящие на/под поверхностью Земли. Данные процессы приводят к появлению на поверхности Земли структур, отображаемых на космических снимках кусочно-линейными структурами, линейные участки которых во многих случаях оказываются не строго прямолинейными. Данная особенность природных линеаментов является причиной появления множества ошибок на схемах линеаментов, получаемых автоматизированным способом и должна учитываться при разработке алгоритмов автоматизированного обнаружения.

В зависимости от длины линеаментов, их выраженности и способу проявления в ландшафте, как правило, выделяют четыре класса линеаментов:

1) малые линейные элементы ландшафта — выраженные на среднемасштабных космоснимках тонкой, обычно параллельной штриховкой;

2) крупные линейные элементы ландшафта (первые километры — первые десятки километров) дешифрирующиеся на космоснимках в виде прямых или почти прямых непрерывных однородных линий полосового или граничного характера;

3) локальные линейные зоны (десятки — первые десятки километров). Эти структуры состоят из более мелких линейных элементов. Они могут пересекать сразу несколько тектонических структур;

4) региональные линейные зоны — сотни — первые тысячи километров и шириной десятки километров.

Исходя из всего вышесказанного, под линеаментами в данной работе мы будем понимать линейные либо комплексные несвязные дискретные геометрические объекты, обнаруживаемые на космических изображениях и представляющие собой ряды последователь-

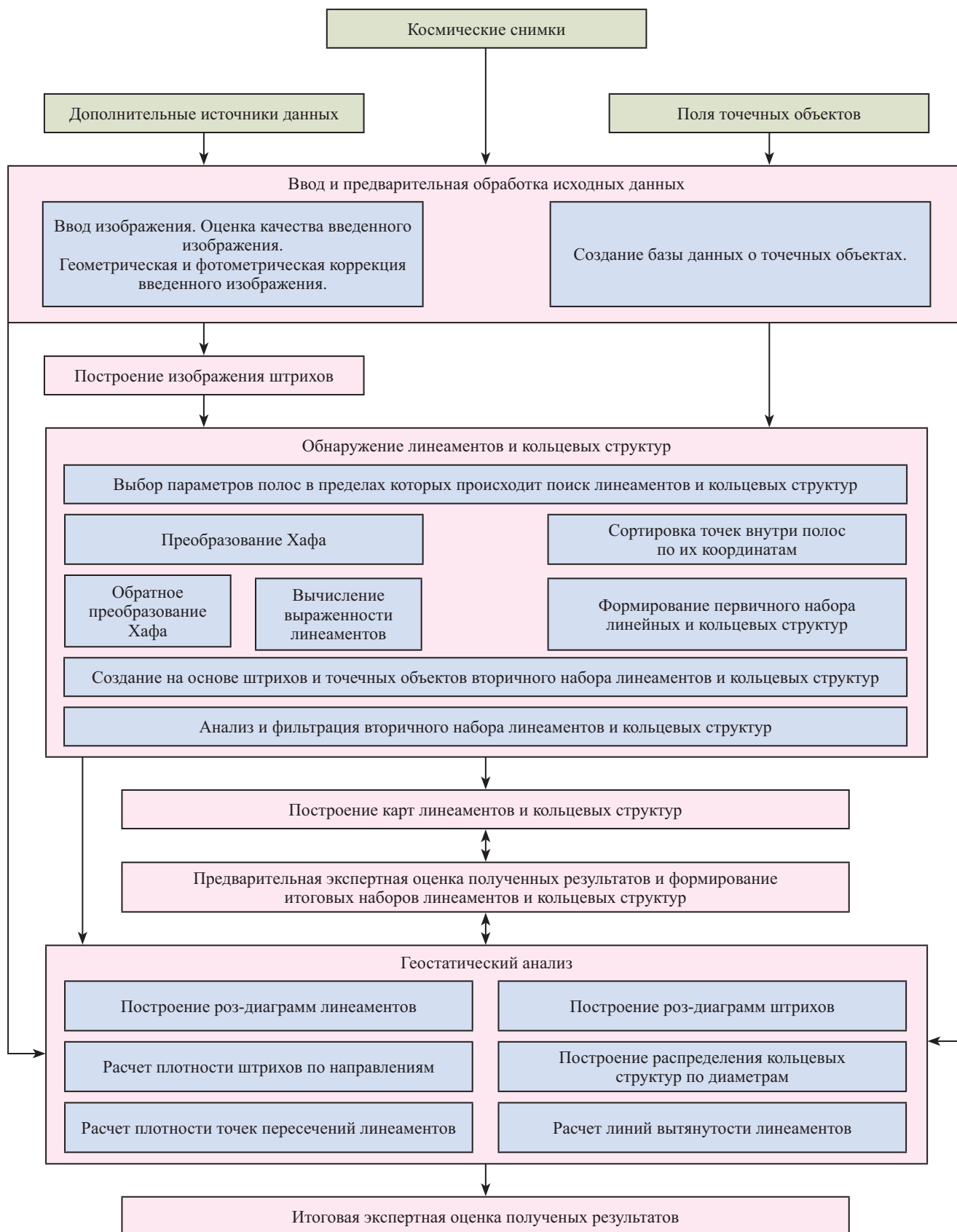


Рис. 1. Функциональная схема технологии автоматизированного обнаружения и анализа линеаментов и кольцевых структур на космических изображениях

ностей однородных в семантическом смысле линейных либо полосовых объектов, расположенных вдоль некоторой ломаной или гладкой кривой.

На космических снимках кольцевые структуры выражаются спектрометрическими аномалиями в форме замкнутых либо фрагментарных (неполнокольцевых) фигур — кругов или овалов. Они располагаются одиночно или группами и, как правило, состоят из ядра (центральной части) и внешнего контура. Кольцевые структуры больших размеров, как правило, осложнены системами разломов: радиальными (совпадающими с радиусами); сегментарными (пересекающими структуру по хорде, но не выходящими далеко за ее пределы); секущими (пересекающими структуру и выходящими далеко за ее пределы); концентрическими (совпадающими с элементами кольцевой структуры). Границей кольцевой структуры принято считать наиболее удаленный от ядра концентрический элемент или внешний контур, ограничивающий фотоаномалию (спектрометрическую аномалию). Размеры кольцевых структур варьируют в достаточно широких пределах: от нескольких метров до многих сотен и первых тысяч километров в поперечнике.

Как объекты геопространства кольцевые структуры представляют собой площадные связанные дискретные геометрические объекты (простые кольцевые структуры) либо их комплексы (сложные кольцевые структуры), внешняя граница которых представляет собой линию или ряд — последовательность однородных в семантическом смысле линейных либо полосовых объектов, расположенных вдоль некоторой окружности либо дуги.

Приведенные выше определения геопространственных образов линеаментов и кольцевых структур на цифровых изображениях земной поверхности указывают на то, что линеаменты и кольцевые структуры проявляются на космических изображениях в форме несвязных линейных объектов, что должно учитываться при их обнаружении и картографировании.

В предлагаемой технологии для этих целей производится обнаружение линеаментов и кольцевых структур не по исходному изображению, а по контурному изображению,

содержащему линейные штриховые образы наиболее резких перепадов яркости по полю изображения разной степени кривизны и направления. Подобного рода подход к обнаружению линейных структур на космических изображениях уже встречался в работах А.А. Златопольского [5, 6]. В настоящей работе предлагается более общий подход, позволяющий обнаруживать не только прямолинейные штрихи на изображениях, но и участки контуров дугообразной формы.

После того, как контурное изображение построено, производится обнаружение линеаментов и кольцевых структур на его основе, а также с использованием базы данных точечных объектов. Ключевой особенностью технологии на данном этапе является повышение достоверности обнаружения линеаментов и кольцевых структур путем совместной обработки космических изображений и цифровых изображений полей точечных объектов (вулканических конусов, гидротермальных источников, эпицентров землетрясений и др.), пространственное распределение которых во многом определяется геологическими структурами в земной коре. Далее в процессе повторной обработки исходных данных проводится поиск наиболее вероятного набора линеаментов и кольцевых структур с последующим формированием итогового набора, содержащего данные не только о положении линейных и кольцевых структур в пространстве, но и о степени их выраженности в исходных данных. Сформированные таким образом наборы линейных и кольцевых структур визуализируются в картографической форме. Данные карты в рамках разработанной технологии строятся автоматизировано, но могут быть скорректированы опытным экспертом.

На заключительном этапе методики производится геостатистический анализ итогового набора линеаментов и кольцевых структур, а также полей штрихов, полученных на втором этапе технологии. Подобный анализ позволяет выявить статистические закономерности в пространственном распределении данных структур на исследуемой территории и получить дополнительную информацию о полученном наборе линейных и кольцевых структур.

Рассмотрим более подробно некоторые из наиболее важных этапов разработанной тех-

нологии автоматизированного обнаружения и анализа линейных элементов и кольцевых структур на космических изображениях.

На втором этапе технологии на основе построенной мозаики происходит формирование вспомогательного изображения штрихов — коротких (длиной несколько десятых либо единиц пикселей) линейных элементов изображения. Данный этап является одним из важнейших шагов во всей технологии, поскольку формируемое на данном этапе изображение штрихов служит основой для дальнейшего обнаружения линейных элементов и кольцевых структур. Одним из наиболее устойчивых и часто используемых алгоритмов построения поля штрихов является алгоритм, изложенный в работе А.А. Златопольского [5] и реализованный в компьютерной программе LESSA (Lineament Extraction and Statistical Analysis) [6]. Данный алгоритм уже доказал свою эффективность на практике при обнаружении линейных элементов на космических изображениях разного пространственного и яркостного разрешения. Нами на базе алгоритма А.А. Златопольского был предложен обобщенный алгоритм построения изображения штрихов, адаптированный для выявления штриховых «образов» как линейных так и кольцевых структур на цифровых изображениях. Данный алгоритм относится к классу алгоритмов обнаружения контуров, использующих коэффициент совпадения с шаблоном и при решении задачи определенной в диссертационной работе, обладает двумя важными свойствами:

1) в каждой точке результирующего изображения сохраняется информация о направлении штриха в случае обнаружения линейных структур или направлении на центр окружности в случае обнаружения кольцевых структур;

2) наличие возможности адаптации алгоритма для выявления элементов линейных и кольцевых структур, обладающих заданными геометрическими и яркостными свойствами, такими как форма и размер штриха, уровень контрастности светлых и темных участков изображения, разделенных штрихом (параметр «Контрастность») а также степень выраженности штриха на изображении (параметр «Линейность»).

Указанные свойства играют большую роль

в дальнейшем процессе обнаружения линейных элементов и кольцевых структур на космических снимках, позволяя строить контурные изображения, содержащие подмножества контурных точек лишь тех структур, которые соответствуют линейным элементам и кольцевым структурам на исследуемой территории.

В предлагаемом алгоритме обнаружения штрихов на цифровом изображении используются следующие исходные параметры: набор масок, сформированных по одному из предлагаемых в работе алгоритму, пороговые значения параметров «линейность» L_{cutoff} и «контрастность» I_{cutoff} .

Выбор масок для дальнейшего анализа должен производиться на основе алгоритмов, учитывающих как особенности самого изображения, так и обнаруживаемых на нем линейных и кольцевых структур. В работе предлагается три типа масок: маски «Полоса»; «Прямолинейная граница»; «Дугообразная граница». Наборы масок могут состоять как из масок одного типа, так и из масок разного типа, но размер окна маски должен быть у всех масок одинаковым. Данное условие, с одной стороны, позволяет получить большое многообразие комбинаций масок и, как следствие, возможность обнаружения различных по своим параметрам штрихов на изображении, а, с другой стороны, иметь единый подход к оценке величины отклика от данных масок. Основные этапы предлагаемого алгоритма формирования изображения штрихов по исходному космическому снимку представлены на рис. 2.

Для поиска дугообразных участков кольцевых структур может быть использован набор масок типа «Дугообразная граница». При этом в зависимости от того, характеризуются ли кольцевые структуры преобладанием светлого либо темного тона, формируются разные наборы масок.

На следующем этапе алгоритма осуществляется свертка исходного изображения с заданными масками и формирование изображения максимальных откликов $g(i, j)$. Полученное после свертки изображение максимальных откликов $g(i, j)$ имеет следующую особенность. При смещении в направлении перпендикулярном к штриху отклик постепенно уменьшается. Для устранения этого эффекта проводится

утонышение обнаруженных штрихов и приведение их к восьмисвязному виду. На заключительном этапе формирования изображения штрихов производится нормирование изображения штрихов, полученного на предыдущем этапе алгоритма. В результате формируется индексное изображение, в котором каждый индекс пикселя либо характеризует маску, имеющую максимальный отклик от фрагмента анализируемого изображения, центрированного на данном пикселе и совпадающего по размерам с размером скользящего окна, либо равен нулю. Для дальнейшей обработки в рамках предлагаемой технологии обнаружения линейных и кольцевых структур происходит сохранение параметров набора масок, ключевыми из которых являются тип масок и ориентация обнаруживаемых с помощью них штрихов.

Следует отметить, что результат работы данного алгоритма сильно зависит от выбранного набора масок и значений параметров «Контрастность» и «Линейность». Поэтому получаемые с помощью данного алгоритма изображения штрихов должны подвергаться детальному анализу специалиста в предметной области исследований, в процессе которого должна быть установлена пригодность полученного изображения штрихов для дальнейшей обработки и при необходимости проведены повторные расчеты с измененными исходными параметрами.

На этапе обнаружения линеаментов происходит формирование вторичного набора линеаментов на основе комплексного анализа полученных на предыдущем этапе цифрового изображения штрихов и сформированной базы точечных объектов, отражающих пространственное положение имеющих точечную локализацию геологических объектов. Сформированный таким образом набор сегментов может рассматриваться как первичный набор линеаментов, отражающий закономерности в размещении точечных объектов, характеризующих геологическое строение исследуемого региона. Далее производится выявление протяженных линеаментов («сквозных» линеаментов) по изображению штрихов, полученному на первом этапе анализа космических снимков.

Как было показано во множестве работ (на-

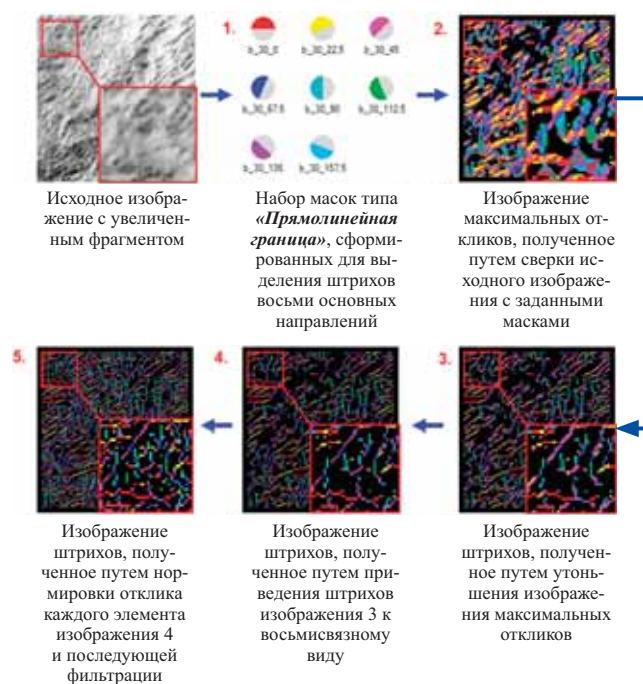


Рис. 2. Фрагмент исходного изображения и получаемые на разных этапах алгоритма изображения штрихов

пример, [7]), одним из наиболее эффективных методов обнаружения линеаментов является преобразование Хафа, позволяющее обнаруживать на монохромном изображении линии различной конфигурации [8]. К настоящему времени предложено большое число модификаций преобразования Хафа. Однако суть алгоритма по-прежнему остается той же: исходное изображение штрихов из плоскости (x, y) переводится в плоскость (ρ, ϕ) , в которой все точки прямой $y = kx + b$ изображаются одной точкой с координатами (ρ, ϕ) , где ρ — длина вектора, проведенного из начала координат до прямой, а ϕ — угол наклона, отсчитываемый от направления оси абсцисс в плоскости (x, y) до прямой.

На практике в качестве исходных параметров алгоритма преобразования Хафа, как минимум, задаются следующие величины: шаг по расстоянию $\rho_{\text{ш}}$ и углу $\phi_{\text{ш}}$ в преобразовании Хафа, а также пороговое значение выраженности линеаментов $m_{\text{сutoff}}$. В качестве дополнительных параметров могут выступать минимально и максимально допустимые длины линеаментов: l_{min} и l_{max} , а также максимально допустимое количество линеаментов. На основе указанных выше параметров формируется

матрица $h(\rho_k, \varphi_l)$, где $k = 1, \dots, N_k$; $l = 1, \dots, N_l$; $N_k = \left\lceil \left[\sqrt{A^2 + B^2} \right] / \rho_{\text{ш}} \right\rceil$; $N_l = \left\lfloor 180 / \varphi_{\text{ш}} \right\rfloor$.

Заполнение ее производится по формуле $h(\rho_k, \varphi_l) = h(\rho_k, \varphi_l) + 1$ для всех точек поля штрихов, для которых пара значений (ρ, φ) , определяющих положение линеаментов в параметрической плоскости, удовлетворяет соотношениям

$$\rho_k = (j \sin \varphi_l - i \cos \varphi_l) / \rho_{\text{ш}};$$

$$(\varphi(i, j) - \alpha / 2) / \varphi_{\text{ш}} \leq \varphi_l \leq (\varphi(i, j) + \alpha / 2) / \varphi_{\text{ш}},$$

где α — угол, в пределах которого происходит поиск точек штрихов, принадлежащих линеаменту с координатами (ρ_k, φ_l) .

После того как матрица $h(\rho_k, \varphi_l)$ сформирована, осуществляется формирование вторичного набора линеаментов. Данный набор может быть сформирован путем выбора тех точек параметрического пространства, для которых значения матрицы (ρ_k, φ_l) максимальны. Как показал наш анализ, данный подход приводит к большому числу ошибок в результирующем наборе линеаментов, что существенно снижает эффективность всей процедуры обнаружения линеаментов на изображении.

В данной работе для построения вторичного набора линеаментов предлагается воспользоваться нормированной величиной $m(\rho_k, \varphi_l) = k + h(\rho_k, \varphi_l) / l(\rho_k, \varphi_l)$, называемой выраженностью линеаментов. В этом выражении $l(\rho_k, \varphi_l)$ — длина линеаментов с координатами (ρ_k, φ_l) , а k — коэффициент, значения которого могут количественно отражать результирующее влияние всех дополнительных факторов, указывающих на принадлежность анализируемой линейной структуры к полю геологических линеаментов. Например, коэффициент k может определяться в зависимости от наличия в некоторой окрестности линеаментов с координатами $(\rho \approx \rho_k, \varphi \approx \varphi_l)$ линеаментов из первичного набора, полученного по данным точечных объектов. Таким образом, выраженность линеаментов характеризует степень заполнения линеаментов точками штрихов и может являться объективным критерием отбора линеаментов. Собственно сам отбор может осуществляться по формуле

$$m(\rho'_k, \varphi'_l) = \max \{ m(\rho_k, \varphi_l) \mid m(\rho_k, \varphi_l) > m_{\text{cutoff}}, l_{\text{max}} \geq l(\rho_k, \varphi_l) \geq l_{\text{min}} \},$$

где (ρ'_k, φ'_l) — координаты линеаментов, отобранных во вторичный набор.

Полученный вторичный набор линеаментов, как правило, уже содержит линеаменты, характеризующие ярко выраженные линейные структуры на изображении. Вместе с тем, из-за размытия пиков в матрице Хафа, характеризующих данные линеаменты, во вторичном наборе линеаментов может наблюдаться ситуация, при которой вблизи некоторого линеаментов существует несколько линеаментов с близкими значениями ρ и φ . Для устранения подобных ситуаций предлагается воспользоваться простой процедурой фильтрации вторичного набора линеаментов, заключающейся в выборе из множества линеаментов с близкими значениями координат и длин одного с максимальным значением выраженности.

На следующем этапе технологии осуществляется построение карты (картосхемы) путем визуализации вторичного набора линеаментов. Полученная картосхема линеаментов может быть наложена на геологическую либо тектоническую карту с целью последующей интерпретации выделенных линеаментов.

На этапе обнаружения кольцевых структур происходит формирование итогового набора кольцевых структур на основе комплексного анализа полученных на предыдущем этапе цифрового изображения штрихов и сформированной базы данных о точечных объектах, отражающих пространственное положение имеющих точечную локализацию геологических объектов.

Одним из путей решения данной задачи является использование преобразования Хафа, позволяющего обнаруживать на монохромном изображении окружности разного диаметра. Суть данного алгоритма состоит в следующем: исходное изображение штрихов из плоскости (x, y) переводится в плоскость (ρ_x, ρ_y, τ) , в которой все точки окружности $(x - \rho_x)^2 + (y - \rho_y)^2 = \tau^2$ изображаются одной точкой с координатами (ρ_x, ρ_y, τ) , где ρ_x, ρ_y — координаты центра окружности, а τ — радиус окружности.

На практике в качестве исходных параметров алгоритма преобразования Хафа, как минимум, задаются следующие величины: шаг по координатам $\rho_{\text{ш}}$ и радиусу $\tau_{\text{ш}}$ в преобразовании Хафа, а также пороговое значение выраженности m_{cutoff} . В качестве дополнительных параметров могут выступать допустимый диапазон диаметров кольцевых структур $[d_{\min}, d_{\max}]$, а также максимально допустимое количество кольцевых структур.

На основе указанных выше параметров формируется матрица $h(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$, где $k = 1, \dots, N_k$; $l = 1, \dots, N_l$; $m = 1, \dots, N_m$; $N_k = \lfloor A / \rho_{\text{ш}} \rfloor$; $N_l = \lfloor B / \rho_{\text{ш}} \rfloor$; $N_m = \lceil (d_{\max} - d_{\min}) / \tau_{\text{ш}} \rceil$. Заполнение данной матрицы производится по формуле $h(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m) = h(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m) + 1$ для всех точек поля штрихов, для которых тройка значений $(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$, определяющих положение кольцевой структуры в параметрической плоскости, удовлетворяет соотношениям

$$\rho_{x_k} = (i + \tau_m \cos \alpha) / \rho_{\text{ш}}; \quad \rho_{x_l} = (j - \tau_m \sin \alpha) / \rho_{\text{ш}}; \quad \tau_m = d_{\min} + \lceil (d_{\max} - d_{\min}) / \tau_{\text{ш}} \rceil,$$

где α — угол, задающий направление на центр предполагаемой кольцевой структуры на изображении. Следует отметить, что допустимые диапазоны значений данного угла сильно зависят от типа масок, применяемых на предыдущем этапе алгоритма.

В случае, если анализируемый пиксель изображения штрихов был получен как отклик на маску типа «Прямолинейная граница» или «Полоса», то поиск центров окружностей для данного пикселя происходит в пределах угла

$$\alpha \in [\alpha'(i, j) - C / 2; \alpha'(i, j) + C / 2] \cup [\alpha''(i, j) - C / 2; \alpha''(i, j) + C / 2],$$

где α' и α'' — углы, отсчитываемые от положительного направления оси абсцисс изображения и задающие направления, перпендикулярные направлению простираения полосы или границы, а C — удвоенное значение угла, определяющего максимально допустимое отклонение направлений углов α' и α'' на центры окружностей.

В случае, если анализируемый пиксель изображения штрихов был получен как отклик на маску типа «Дугообразная граница», то поиск центров окружностей осуществляется в направлении α' на центр окружности, частью которой является дугообразная граница, определяемая маской: $\alpha \in [\alpha'(i, j) - C / 2; \alpha'(i, j) + C / 2]$. Однако следует отметить, что центры данных окружностей могут не совпадать по множеству причин. Наиболее частыми из них являются отличие границ обнаруживаемых кольцевых структур от геометрически правильных окружностей и низкое качество исходных данных. После того как аккумулятор $l(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$ заполнен, осуществляется формирование вторичного набора кольцевых структур. Данный набор может быть сформирован путем выбора тех точек параметрического пространства, для которых значения аккумулятора $l(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$ максимальны. Данный подход приводит к большому числу ошибок в результирующем наборе кольцевых структур, что существенно снижает эффективность всей процедуры обнаружения кольцевых структур на изображении.

В данной работе по аналогии с выраженностью линеамента для построения вторичного набора кольцевых структур предлагается воспользоваться нормированной величиной $m(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m) = h(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m) / l(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$, называемой выраженностью кольцевой структуры. В этом выражении $l(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$ — длина окружности с координатами $(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m)$. Выраженность кольцевой структуры характеризует степень заполнения границы кольцевой структуры точками штрихов и может являться объективным критерием отбора окружностей. Собственно сам отбор может осуществляться по формуле

$$m(\rho'_{x_k}, \rho'_{x_l}, \tau'_m) = \max \{ m(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m) \mid m(\rho_{x_k}, \rho_{x_l}, \tau_m) > m_{\text{cutoff}} \},$$

где $(\rho'_{x_k}, \rho'_{x_l}, \tau'_m)$ — координаты окружностей, отобранных во вторичный набор. Использование данной величины вместо абсолютных значений матрицы Хафа позволяет не только сократить количество ложных обнаружений, но и устанавливать одно пороговое значение для обнаружения окружностей разного радиуса.

Полученный вторичный набор кольцевых структур, как правило, уже содержит кольцевые

структуры, координаты и радиус которых имеют значения, укладываемые в диапазоны допустимых значений, определенные на основе визуального изучения исследуемой территории или тестовых испытаний. Вместе с тем, из-за размытия пиков в матрице Хафа, характеризующих данные кольцевые структуры, во вторичном наборе кольцевых структур может наблюдаться ситуация, при которой вблизи некоторой точки изображения существует несколько окружностей с близкими значениями координат и радиусов. Для устранения подобных ситуаций предлагается воспользоваться простой процедурой фильтрации, заключающейся в выборе из множества кольцевых структур с близкими значениями координат и радиусов одной с максимальным значением выраженности. Сформированный таким образом набор кольцевых структур является итоговым.

На следующем этапе технологии осуществляется построение карты (картосхемы) путем визуализации итогового набора кольцевых структур. Полученная схема кольцевых структур может быть наложена на геологическую либо тектоническую карту с целью последующей интерпретации выделенных кольцевых структур. Геостатистический анализ поля штрихов выполняется в пределах всего поля изображения (глобально) либо в окнах, сдвинутых друг относительно друга (локально). Результатом расчета некоторых из них, таких, например, как плотность штрихов или плотность точек пересечения линеаментов, являются индексные изображения. Другие параметры представляют собой множества значений величин, не имеющих пространственное измерение. Значения такого рода параметров могут быть представлены для пользователя в табличной или графической форме.

Одной из удобных форм представления информации, характеризующей количество, длину и ориентацию штрихов, является роза-диаграмма. Для количественного описания розы-диаграммы было разработано множество характеристик, наиболее важные из которых следующие [9]: размер розы; степень вытянутости розы; направление вытянутости розы; отличие розы от равномерной (круговой).

Для реализации разработанной технологии

автоматизированного обнаружения и анализа линейных и кольцевых структур были разработаны и протестированы следующие программные модули к программе «Гео-ПК»:

программный модуль (плагин) обнаружения линеаментов и кольцевых структур («LCOD») в составе: подплагина обработки векторного слоя точечных объектов и получения первичного набора линеаментов («COSBALID»); подплагина построения изображения штрихов («TMBED»); подплагина обнаружения линейных и кольцевых структур по изображению штрихов («HTBLCOD»);

программный модуль (плагин) анализа линеаментов и кольцевых структур («LCOA») в составе: подплагин геостатистического анализа полей штрихов, линеаментов и кольцевых структур («DLCOGA»); подплагин формирования схем линеаментов и кольцевых структур («LCOS»).

Программа «Гео-ПК» имеет плагинную архитектуру, состоящую из базового компонента, интерфейсов взаимодействия и многочисленных плагинов (дополнительных модулей), расширяющих функциональные возможности программы.

В структурном плане базовый компонент программы «Гео-ПК» представляет собой приложение с набором библиотек, обеспечивающих следующие функции: создание среды, обеспечивающей функционирование плагинов; предоставление визуального интерфейса для доступа к базовым функциям программы и настройки ее работы; развертывание программы на компьютере пользователя; предоставление единого интерфейса для взаимодействия с программами сторонних производителей; предоставление унифицированной объектной модели среды для разработчиков дополнительных модулей.

Взаимодействие базового компонента программы «Гео-ПК» с плагином осуществляется с помощью базовых интерфейсов взаимодействия, устанавливающих правила, по которым плагины могут получать доступ к базовым функциям программы и наоборот. Кроме того, могут быть реализованы и собственные интерфейсы взаимодействия, плагинов, которые могут использоваться только с конкретным плагином или набором плагинов. Каждый плагин

представляет собой библиотеку, состоящую из набора метаданных, определяющих базовые параметры плагина и конечного числа подплагинов (атомарных единиц библиотеки, призванных решать отдельные задачи).

Одной из особенностей программы «Гео-ПК» является компонентный визуальный интерфейс, представляющий собой визуальный интерфейс базового компонента, содержимым которого могут быть визуальные интерфейсы любого подплагина (*визуальные интерфейсы контейнерного типа*), позволяющие вмещать другие визуальные интерфейсы (*визуальные интерфейсы компонентного типа*) (рис. 3).

С целью подтверждения работоспособности программного модуля и выявления ограничений в используемом наборе входных данных был выполнен ряд экспериментальных апроба-

ций разработанного программного обеспечения.

Тестирование алгоритма автоматизированного выделения линеаментов проводилось на примере данных о центрах извержения вулканов Иблейского плато на о. Сицилия, Италия (рис. 4). Сформированная на основе имеющихся данных база содержала атрибутивную информацию о 203 вулканических конусах на исследуемой территории. Ширина полос выбиралась равной 100 м, а число анализируемых углов — 25. С учетом выбранных параметров формируемых окон просмотра значение параметра максимального удаления точек в пределах выделяемых сегментов устанавливалось равным 5000 м. Кроме того, с целью предотвращения появления большого числа избыточных линеаментов в базе данных оставались

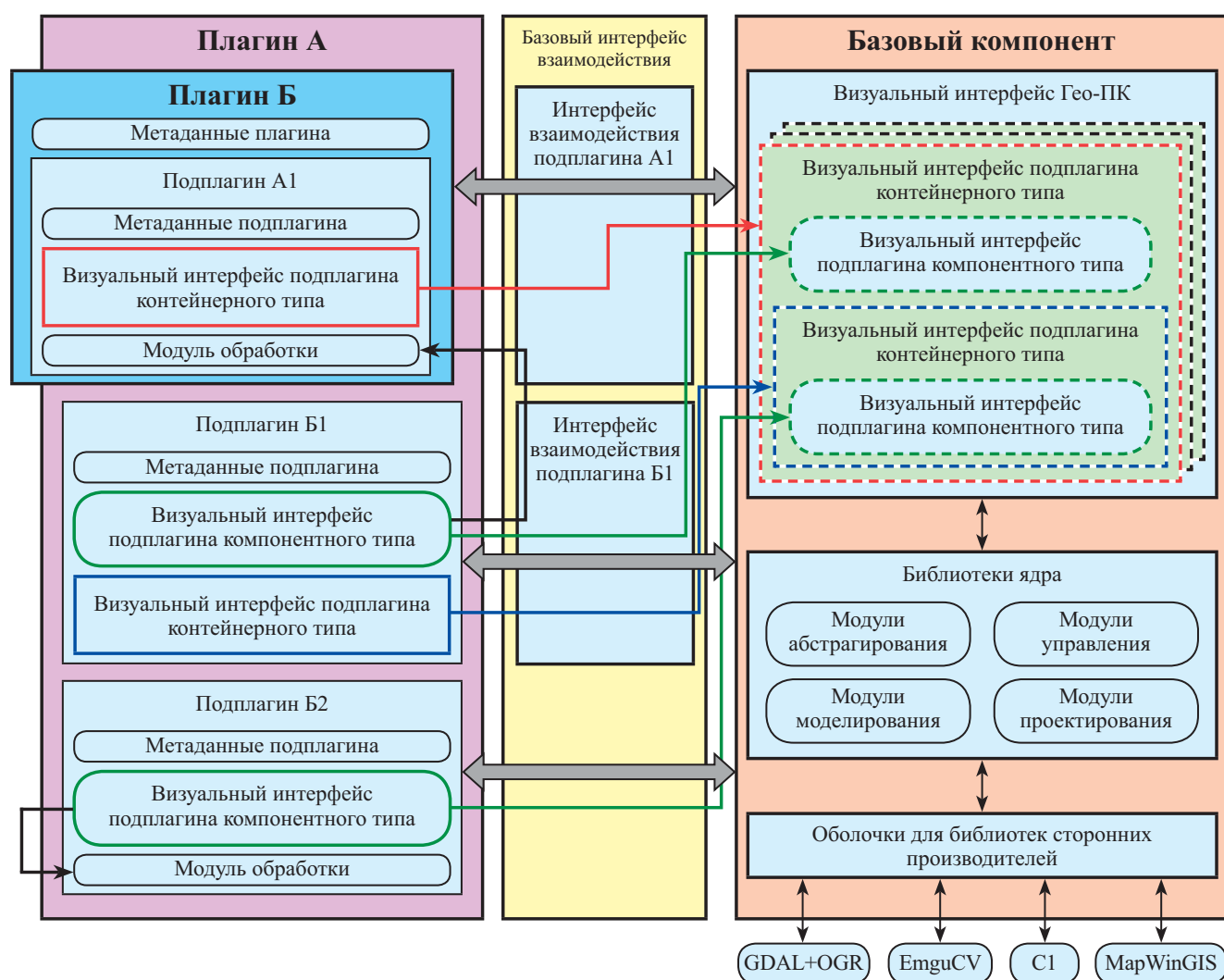


Рис. 3. Схема взаимодействия базового компонента программы «Гео-ПК» с плагинами

лишь те линеаменты, коэффициент линейности которых был больше 0,99. Как видно из рис. 4, б, в областях крупного сосредоточения центров извержения вулканов обнаруженные линеаменты при углах наклона полос 140, 147 и 154° достаточно хорошо согласуются с линиями разрывных нарушений, простирающихся с северо-востока на юго-запад.

На втором шаге апробации разработанной технологии с целью тестирования алгоритма автоматизированного выделения и анализа кольцевых структур был проведен анализ тестовых изображений сильно кратерированной окрестности долины Нанеди (Марс) и участка дна кратера Менделеев (Луна) на предмет обнаружения по ним ударных кратеров (рис. 5).

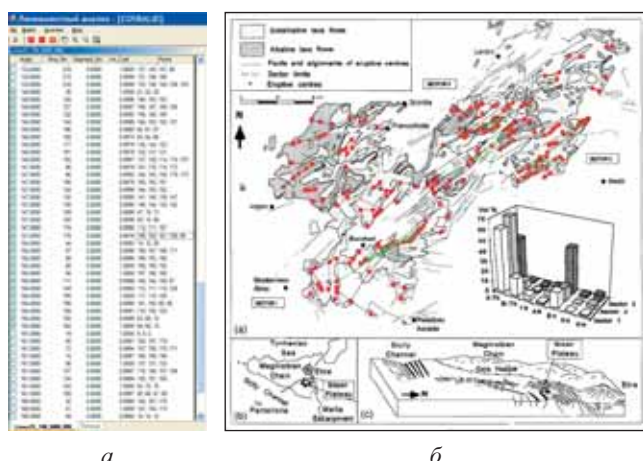


Рис. 4. Фрагмент итоговой базы данных (а) и поле линеаментов (сегментов) (б), построенных по точечным данным центров извержения вулканов Иблейского плато (•) (о. Сицилия, Италия) (картосхема заимствована из работы [10])

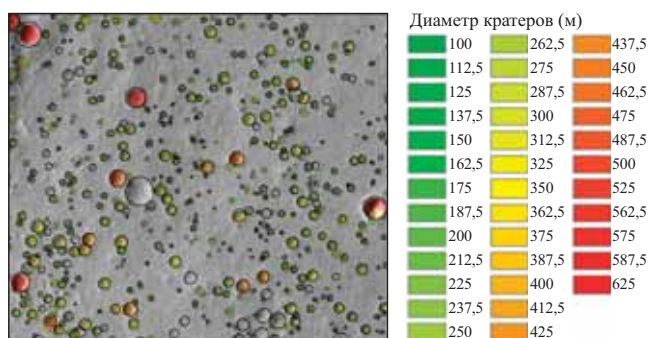


Рис. 5. Фрагмент спутникового изображения тестового участка сильно кратерированной окрестности долины Нанеди на Марсе, полученное космическим аппаратом «Mars Express» (разрешение 12,5 м), с наложенными на него кратерами диаметром 100–625 м, обнаруженными автоматизированным способом

На рис. 5 кратеры разных диаметров показаны разными цветами, а контуры кратеров, дешифрованных вручную экспертом, показаны черным цветом [http://cerena.ist.utl.pt/lpcbandeira/downloads.html]. Как видно из данного рисунка, кратеров, выделенных автоматизировано, на порядок больше, чем кратеров, дешифрованных визуальным способом. Среди обнаруженных автоматизировано кратеров много мелких кратеров (диаметром меньше 250 м), не выявленных экспертом. Ошибочно обнаруженные автоматизированным способом кратеры сосредоточены преимущественно лишь на краю склонов крупных кратеров.

Менделеев — большой ударный кратер на обратной стороне Луны, названный в честь выдающегося русского химика Д.И. Менделеева. Кратер расположен на материке южнее Моря Москвы рядом с лунным экватором. Дно кратерного бассейна практически плоское (в сравнении с окружающей кратер пересеченной местностью) и не имеет следов лавы. Однако его поверхность всё же относительно неровная и при ближайшем рассмотрении содержит множество мелких кратеров. В западной половине бассейна находится цепочка расположенных на одной линии мелких кратеров (цепь Менделеева), которая начинается в юго-западной части и заканчивается у кратера Ричардс, проходя по касательной у его западного вала.

Спутниковое изображение тестового участка дна кратера Менделеев с наложенными на него контурами выделенных кратеров продемонстрировано на рис. 6, а. Как видно из рис. 6, большая часть мелких и крупных кратеров, выделенных автоматизировано по снимку, обнаруживается и визуальным способом. Из сравнения двух распределений видно (рис. 6, б), что распределения кратеров, дешифрованных различными способами, практически не отличаются друг от друга. Данный результат может служить косвенным подтверждением достоверности выделенных автоматизировано кратеров.

Представленные выше результаты апробации разработанной автоматизированной технологии могут служить экспериментальным подтверждением возможности использования ее для автоматизированного обнаружения и анализа линейных и кольцевых структур по косми-

ческим изображениям. В дальнейшем авторы предполагают развить ряд приложений разработанной технологии для решения широкого спектра задач, связанных с исследованием природных ресурсов и планетной картографией.

Исследования выполнены в рамках гранта Президента Российской Федерации для поддержки ведущих научных школ Российской Федерации (Соглашение №16.120.11.5525-НШ).

ЛИТЕРАТУРА

1. Фам Суан Хоан, Малинников В.А., Учаев Д.В., Учаев Дм. В. Разработка алгоритма линейного анализа аэрокосмических изображений с целью решения геологических задач / Прил. к журналу Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». –2011. –Вып. 4. –С. 81–86.
2. Учаев Дм.В., Малинников В.А., Учаев Д.В., Фам Суан Хоан. Разработка алгоритмов и программ линейного анализа цифровых изображений земной поверхности // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». –2011. –№1. –С. 67–73.
3. Бондур В.Г., Зверев А.Т. Механизмы формирования линейных элементов, регистрируемых на космических изображениях при мониторинге сейсмоопасных территорий // Исследование Земли из космоса. 2007. –№ 1. –С. 47–56.
4. Корчуганова Н.И. Геологические структуры на космических снимках // Соровский образовательный журнал. 1998. № 10. Р. 60–67.
5. Златопольский А.А. Ориентационно-текстурная характеристика аэрокосмических изображений // Сб. научных трудов «Цифровая обработка видеоинформации при структурно-геологических и сейсмоструктурных исследованиях». Л.: ВСЕГЕИ (Всероссийский геологический институт), 1991. –С. 4–31.
6. Златопольский А.А. Новые возможности технологии LESSA и анализ цифровой модели рельефа. Методический аспект / Сб. статей. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ООО «ДоМира», 2011. Т. 8. – С. 38–46.

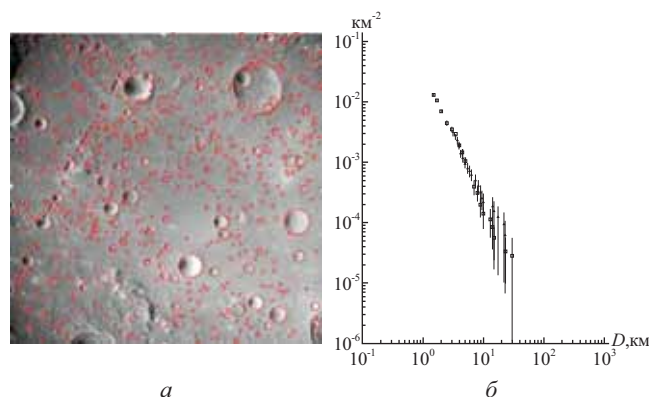


Рис. 6. Фрагмент снимка тестового участка дна кратера Менделеев (а), полученного КА «Apollo 16» (AS16-344, разрешение 184 м), с наложенными на него контурами обнаруженных автоматизировано кратеров; б — кумулятивные функции распределения визуально (▲) и автоматизировано (□) обнаруженных кратеров по их диаметрам

7. Hough V. P. C. Method and means for recognizing complex patterns: letter 3069654 USA. 1962.
8. Yuen H.K. et al. A comparative study of Hough Transform methods for circle finding // Proc. of 5th Alvey Vision Club Conference, Reading University. 1989. P. 169–174.
9. Mardia K.V., Jupp P.E. Directional Statistics. 2nd ed. London: Wiley, 2000. 429 p.
10. Beccaluva L. et. al. Nephelinitic to Tholeiitic Magma Generation in a Transtensional Tectonic Setting: an Integrated Model for the Iblean Volcanism, Sicily // Journal of Petrology. 1998. Vol. 39. № 9. P. 1547–1576.

Поступила 1 ноября 2012 г.

Рекомендована кафедрой экологии и химии МИИГАиК

УДК 004:528

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ

Аспирант В.О.Бычков

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: slavalist@list.ru

Аннотация. Представлен обзор некоммерческих гибридных систем управления базами данных. В качестве системы управления базами данных (СУБД) инженерно-геодезических изысканий рекомендуется использовать PostgreSQL.

Ключевые слова: СУБД, PostgreSQL

Abstract. Hereby the summary of non-commercial hybrid database management systems is presented. It is recommended to use PostgreSQL for DBMS engineering geodesy survey.

Keywords: ORDBMS, PostgreSQL

Одной из важнейших задач, сформулированных в Концепции создания и развития инфраструктуры пространственных данных [1], является разработка типовых технологий хранения, актуализации, распространения базовых пространственных данных (БПД) и метаданных. Актуальность этой задачи подтверждена государственной программой (ГП) «Информационное общество (2011–2020 гг.)», принятой Правительством Российской Федерации в 2010 г. [2]. В ГП, в частности, отмечается, что «...сводные индексы и межстрановые сопоставления до сих пор характеризуют Россию не лучшим образом, что говорит о недостаточном уровне развития отрасли информационных технологий, об отставании от мировых лидеров, а также о нереализованности потенциала уже существующих инфраструктур и технологий».

Одним из перспективных направлений развития информационных технологий является интеграция Java и XML-система, позволяющая использовать мощь обеих технологий при построении машинно-независимых приложений, использующих, кроме того, универсальный формат данных при обмене информацией. XML позволяет также осуществлять контроль

за корректностью данных, хранящихся в документах, производить проверки иерархических соотношений внутри документа и устанавливать единый стандарт на структуру документов, содержанием которых могут быть самые различные данные. Это означает, что его можно использовать при построении сложных информационных систем, в которых очень важным является вопрос обмена информацией между различными приложениями, работающими в одной системе. Так, например, современные электронные тахеометры фирмы Leica экспортируют результаты измерений в файлы формата LandXML, а популярная САПР Civil 3D фирмы Autodesk использует этот формат для экспорта и импорта модели местности.

При выполнении инженерно-геодезических изысканий, среди прочих, приходится решать две важные задачи:

1) собрать, обработать и поместить в базу данных (БД) топографо-геодезическую информацию;

2) организовать долговременное хранение баз данных.

Система управления базами данных (СУБД) должна обеспечивать возможность решения обеих задач, что особенно актуально

для небольших изыскательских организаций.

Выбор СУБД представляет собой сложную многопараметрическую задачу и является одним из важных этапов при разработке приложений баз данных. Выбранный программный продукт должен удовлетворять как текущим, так и будущим потребностям предприятия, при этом следует учитывать финансовые затраты на приобретение необходимого оборудования, самой системы, разработку необходимого программного обеспечения на ее основе, а также обучение персонала [3].

Основные критерии выбора СУБД.

1. Используемая модель данных.
2. Особенности архитектуры и функциональные возможности.
3. Контроль работы системы.
4. Особенности разработки приложений.
5. Производительность.
6. Надежность.
7. Требования к рабочей среде.

Существует множество моделей данных, самые распространенные – иерархическая, сетевая, реляционная, объектно-реляционная и объектная.

В настоящее время на рынке представлено несколько десятков СУБД от ведущих фирм и энтузиастов. В основном, это реляционные СУБД. Реляционная модель данных в подавляющем большинстве случаев вполне достаточна для моделирования любых данных. Однако проектирование базы данных в терминах схемы отношений на практике может вызывать большие затруднения, т.к. в этой модели изначально не предусмотрены механизмы описания семантики предметной области [4]. Указанный недостаток можно компенсировать, если использовать гибридные СУБД.

Одним из приоритетных мероприятий ГП является «...развитие информационных технологий на базе свободного программного обеспечения...». Если учесть это обстоятельство, то список доступных СУБД для изыскательских организаций будет не так велик. Некоторые гибридные некоммерческие СУБД представлены в таблице. В таблице не представлены разработки энтузиастов и «форки»,

например, СУБД MariaDB – одна из ветвей MySQL, т. к. для таких программных продуктов не гарантируется техническая поддержка и развитие. Также из рассмотрения исключены СУБД, которые не обновлялись в течение последних пяти лет.

Анализ представленных в таблице СУБД выявил следующее:

Informix Innovator-C и DB2 Express-C име-

Список некоторых гибридных некоммерческих СУБД

Наименование	Правообладатель
Informix Innovator-C	IBM
DB2 Express-C	IBM
Oracle XE	Oracle
MySQL	Oracle
PostgreSQL	PostgreSQL Global Development Group

ют ограничения в использовании оперативной памяти (до 2 Гб), что снижает производительность сервера. (современные серверы используют до 32 Гб оперативной памяти);

Oracle XE имеет ограничения на размер базы данных (до 4 Гб). При этом до 30 % выделенной памяти отводится под системные таблицы;

MySQL имеет ограниченные возможности по работе с XML-файлами (всего две функции). Кроме того, развитие этой СУБД под эгидой Oracle теперь идет по пути коммерциализации. В состав СУБД включаются платные модули.

Единственная СУБД, не имеющая указанных выше ограничений, – PostgreSQL, которая обладает следующими основными возможностями [5,6]:

1) объектно-реляционная модель. Работа с данными в PostgreSQL основана на объектно-реляционной модели, что позволяет задействовать сложные процедуры и системы правил. Примерами нетривиальных возможностей этой категории являются декларативные запросы SQL, контроль параллельного доступа, поддержка многопользовательского доступа, транзакции, оптимизация запросов, поддержка наследования и массивов;

2) полноценная поддержка SQL. PostgreSQL соответствует базовой спецификации SQL99 и поддерживает такие нетривиальные средства, как объединения стандарта SQL92;

3) проверка целостности ссылок. PostgreSQL поддерживает проверку целостности ссылок, обеспечивающую правильность данных в базе;

4) гибкость API. Гибкость API PostgreSQL позволяет легко создавать интерфейсы к РСУБД PostgreSQL. В настоящее время существуют программные интерфейсы для Object Pascal, Python, Perl, PHP, ODBC, Java/JDBC, Ruby, TCL, C/ C++ и Pike;

5) клиент-сервер. В PostgreSQL используется архитектура «клиент-сервер» с распределением процессов между пользователями. В целом она напоминает методику работы с процессами в Apache. Главный (master) процесс создает дополнительные подключения для каждого клиента, пытающегося установить соединение с PostgreSQL;

6) опережающая регистрация изменений. Опережающая регистрация изменений (Write Ahead Logging, WAL) повышает надежность данных. Все изменения данных протоколируются до их непосредственной актуализации в базе. Наличие протокола изменений гарантирует, что в случае сбоя базы данных (что весьма маловероятно) данные можно будет восстановить по запротоколированным транзакциям. После восстановления системы пользователь продолжает работу с состоянием, непосредственно предшествовавшего сбою;

7) поддержка XML. Встроенная поддержка XML в PostgreSQL предлагает эффективные и разносторонние возможности для управления XML-данными. PostgreSQL хранит и обрабатывает XML в собственном иерархическом формате, избегая ограничений по производительности и гибкости, имеющих при записи XML в виде текста в CLOB-полях или при отображении в реляционные таблицы. В отличие от баз данных, работающих только с XML-данными, например, Tamino, PostgreSQL

обеспечивает также плавную интеграцию реляционных данных и XML-данных в одной базе данных, даже в одной строке таблицы. Эта гибкость отображается в поддержке языка, что позволяет обращаться к реляционным данным, XML-данным или обоим типам одновременно. Однако в PostgreSQL нет возможности производить проверку вводимых значений данных типа XML согласно включаемому описанию типа документа (DTD), даже когда входное значение задает какой-нибудь DTD. Также в настоящий момент не существует встроенной поддержки валидации с другими схемовыми языками XML, такими как XML Schema. Следовательно контроль за правильностью XML-данных остается за пользователем;

8) поддержка OpenGIS. В комплект дополнительных модулей входит PostGIS - расширение объектно-реляционной СУБД PostgreSQL, предназначенное для хранения в базе географических данных. PostGIS включает поддержку пространственных индексов R-Tree/GiST и функции обработки геоданных.

Таким образом, PostgreSQL на сегодняшний день является оптимальной СУБД инженерно-геодезических изысканий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации. - Интернет-портал ГИС-Ассоциации. Режим доступа: <http://www.gisa.ru/32507.html>.
2. Государственная программа Российской Федерации «Информационное общество (2011 - 2020 годы)». - Интернет-портал Правительства Российской Федерации. Режим доступа: <http://www.government.ru/gov/results/12932/>.
3. А. Аносов. Критерии выбора СУБД при создании информационных систем - [Электронный ресурс], WWW.COMPROG.RU. Режим доступа: http://www.comprog.ru/OtherOfDatabases/article_1279.html.
4. С. Д. Кузнецов. Концептуальное проектирование реляционных баз данных с использованием языка UML - [Электронный ресурс], WWW.COMPROG.RU. Режим доступа: http://www.comprog.ru/OtherOfDatabases/article_1278.htm.
5. Дж. Уорсли, Дж. Дрейк. PostgreSQL. Для профессионалов. - СПб.: Питер, 2003.
6. Richard Blum. PostgreSQL 8 for Windows. - McGraw-Hill Osborne Media, 2007.

Поступила 24 апреля 2012 г.
Рекомендована кафедрой геодезии МИИГАиК

О ПОДХОДАХ К СОЗДАНИЮ РАСПРЕДЕЛЕННОГО ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА ПЕРЕДАЧИ, ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ КОМПЛЕКСНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ТЕРРИТОРИЙ МИИГАИК

Профессор, доктор техн. наук **А.А. Майоров**, доцент, кандидат техн. наук **Ф.В. Шкуров**,
кандидат техн. наук **С.С. Дубов**, магистрант **А.С. Шевчук**
Московский государственный университет геодезии и картографии
E-mail: feodorsh@miigaik.ru

Аннотация. Излагаются основные подходы, использованные коллективом научной группы «Информационные системы и технологии» Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий (КЛИВТ) при построении распределенного информационно-технологического инфраструктурного комплекса передачи, хранения и обработки информационных ресурсов.

Ключевые слова: программно-технический комплекс, хранилище данных, архитектура информационной системы, информационные ресурсы

Abstract. The paper presents the main approaches used by members of research group «Information Systems and Technologies» of MIIGAIK Extraterrestrial Laboratory (MExLab) during the construction of distributed information technology infrastructure for data storage, transmission, and processing.

Keywords: software and hardware, data storage, information system architecture, information infrastructure for spatial data, information resources

Основу деятельности Лаборатории (КЛИВТ) составляет использование фотоснимков, данных лазерного и радиозондирования, полученных с различных космических аппаратов: орбитальных и посадочных модулей, роверов и зондов с целью проведения их обработки и анализа с помощью методов математического и компьютерного моделирования, создания информационных продуктов, используемых как для планирования и обеспечения космических миссий, так и для изучения процессов, происходящих на телах Солнечной системы.

Реализация потенциала Лаборатории как системы требует слияния многих факторов из разных областей деятельности. Многие из этих факторов нематериальны и с трудом поддаются оценке, например, с какой эффективностью используются информационные ресурсы, насколько качественно управление, какова адаптивность организации, насколько гибкой и упругой является система в целом. Именно они вносят существенный вклад в эффективную реализацию потенциала Лаборатории в ходе решения практических задач. Учитывая особенности исследований, базирующихся на анализе и обработке больших массивов информационных ресурсов и требующих значительных (по современным оценкам) вычислительных мощностей, оснащение исследовательских лабораторий современными информационно-

технологическими комплексами является обязательной составляющей, прямо влияющей на эффективность исследовательской деятельности, а вопросы информационного обеспечения деятельности выходят на один уровень с решаемыми исследовательскими задачами и становятся их неотъемлемой частью.

С целью создания технологической базы Лаборатории, позволяющей проводить исследования на современном мировом уровне, на основе ранее разработанных подходов [1–4] группой авторов был проведен анализ современных информационных технологий, смоделированы основные информационные процессы, сформулирована общая схема сервисов информационного обеспечения Лаборатории (рис.1).

Информационная инфраструктура КЛИВТ поделена на два сегмента по уровню доступа: внешний и внутренний. Накопление информационных ресурсов происходит во внутреннем сегменте, доступ к которому возможен по защищенному каналу извне. Ключевые информационные сервисы связаны с накоплением и эффективным распределением информационных ресурсов (база знаний, хранилище пространственных данных и др.), а также вычислительных мощностей (виртуальные рабочие места для проведения вычислений) и лицензий на дорогостоящее программное обеспечение.

Применение указанных информационных

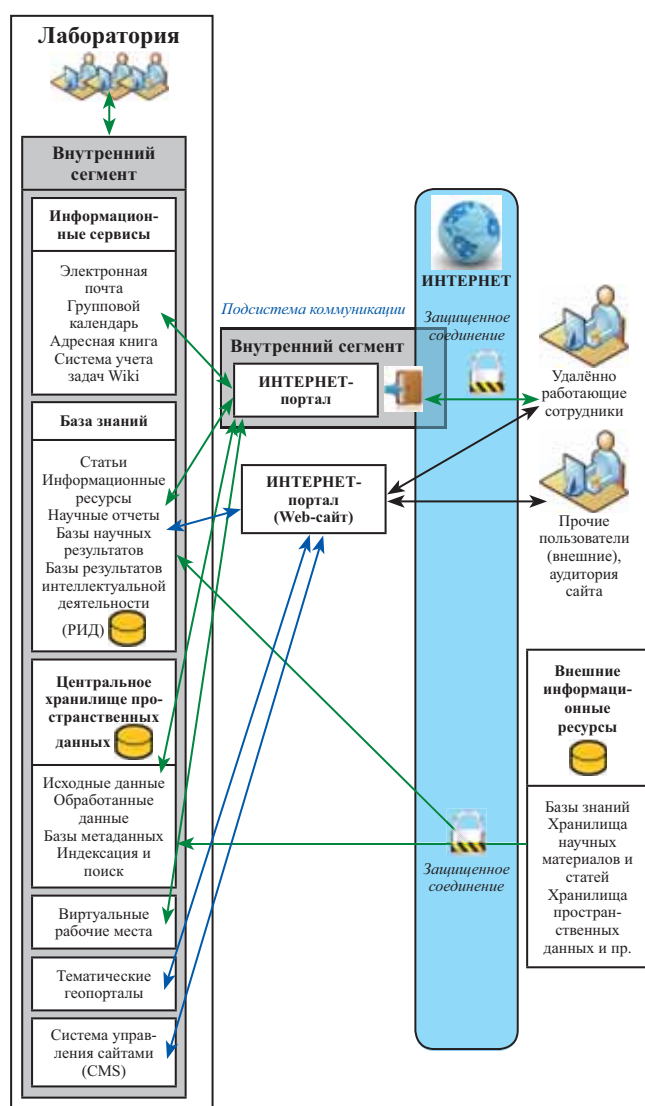


Рис. 1. Схема сервисов информационного обеспечения Лаборатории

сервисов направлено на решение фундаментальных проблем управления Лабораторией (проблема «тумана»; проблема «трения»; проблема разрывности информационно-функционального пространства), подробно описанных в [5], и развитие Лаборатории с учётом текущих и перспективных потребностей научных групп в информационно-технологическом обеспечении.

Проведенный анализ позволил определить основные факторы и условия, влияющие на построение архитектуры распределённого инфраструктурного информационно-технологического комплекса (ИТК) Лаборатории. Сформулированы следующие основополагающие принципы построения ИТК:

необходимость обеспечения информацион-

ных и производственных потребностей (по стадиям разработки информационных продуктов); обеспечение масштабируемости сегментов технологической инфраструктуры (особенно – в части накопления информационных ресурсов);

надёжность, отказоустойчивость, безопасность элементов технологической инфраструктуры;

централизация управления и контроля за функционированием ИТК;

открытость применению различных информационных технологий и систем, независимо от технологических платформ, применяемых при проведении исследований;

обеспечение возможности коммуникации и обмена научной информацией между исследователями независимо от их местоположения.

Комплекс задач, направленный на формирование ИТК.

1. Создание единого информационного пространства Лаборатории [5].

2. Формирование механизмов накопления и сохранения знаний и опыта, полученных в результате деятельности исследователей.

3. Создание условий для эффективного накопления и систематизации знаний и материалов (создание базы знаний и хранилища данных).

4. Создание инструментов координации и поддержания информационного соответствия [1,5] между научными группами лаборатории.

5. Построение отказоустойчивой высокопроизводительной информационно-коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей гибкое распределение вычислительных мощностей.

6. Обеспечение безопасности данных при их хранении и передаче по каналам связи.

7. Предоставление функциональной возможности работы с информационными ресурсами лаборатории извне (из сети Интернет).

8. Представление основных результатов деятельности Лаборатории в сети Интернет.

В результате анализа и обобщения информационных и функциональных потребностей исследователей было сформулировано общее видение по обеспечению КЛИВТ программно-техническими комплексами (рис.2).

Одной из типовых задач при проведении исследований в комплексной лаборатории исследования внеземных территорий является обработка снимков небесных тел и их спутников, полученных с использованием космических

аппаратов. Как известно, процесс обработки является ресурсоемким в части используемых вычислительных ресурсов и дискового пространства. Поэтому важнейшим аспектом при проведении исследований является организация хранения полученной информации и обеспечение эффективного доступа к ней на основе стандартизации описания информационных ресурсов (пример стандарта: ISO 19115:2003 – Geographic information. Metadata).

Информационные ресурсы, полученные в разное время по результатам различных космических миссий, имеют различные наборы метаданных и формат хранения. Информационные системы, осуществляющие сервис доступа к ним, имеют сложные механизмы поиска. По этой причине информация зачастую становится труднодоступной для исследователя, не обладающего специализированными навыками в использовании информационно-поисковых систем. В связи с этим, создание технологической платформы для обеспечения оперативного поиска, сбора, обработки и хранения пространственных данных, позволяющей систематизированно хранить большие объемы разнородной пространственной информации и формировать базы метаданных, используемых при разработке информационных продуктов, является важной и актуальной задачей. Результаты исследований особенностей хранения пространственных данных, проведенных группой авторов, подробно изложены в [6–8].

Немаловажными аспектами деятельности, связанной с космическими исследованиями,

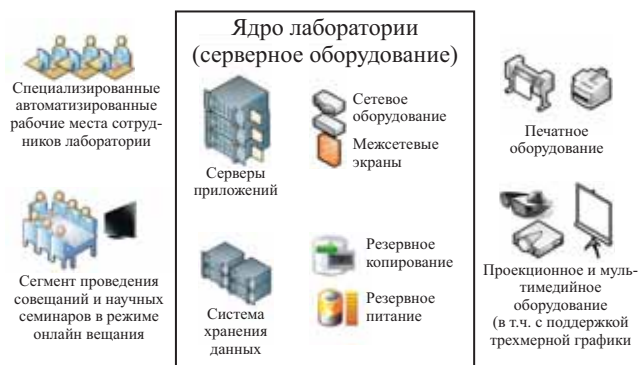


Рис. 2. Схема основных технологических элементов инфраструктуры Лаборатории

является систематизация и унифицированное хранение результатов научных экспериментов, а также описание технологического процесса их получения. Технологический процесс получения научной продукции можно описать следующими логическими блоками (рис.3).

Хранение данных научных экспериментов в информационно – коммуникационной среде позволяет сделать их воспроизводимыми, своевременно определять потребность в ресурсах (аппаратных, программных, человеческих, временных). Появляется возможность оперативно подготавливать специалистов по направлению исследований.

Проектирование ИТК проводилось в 2010–2011 гг., в настоящее время комплекс осуществляет функционирование с учётом заложенных базовых принципов, постоянно масштабируется в направлении увеличения вычислительных

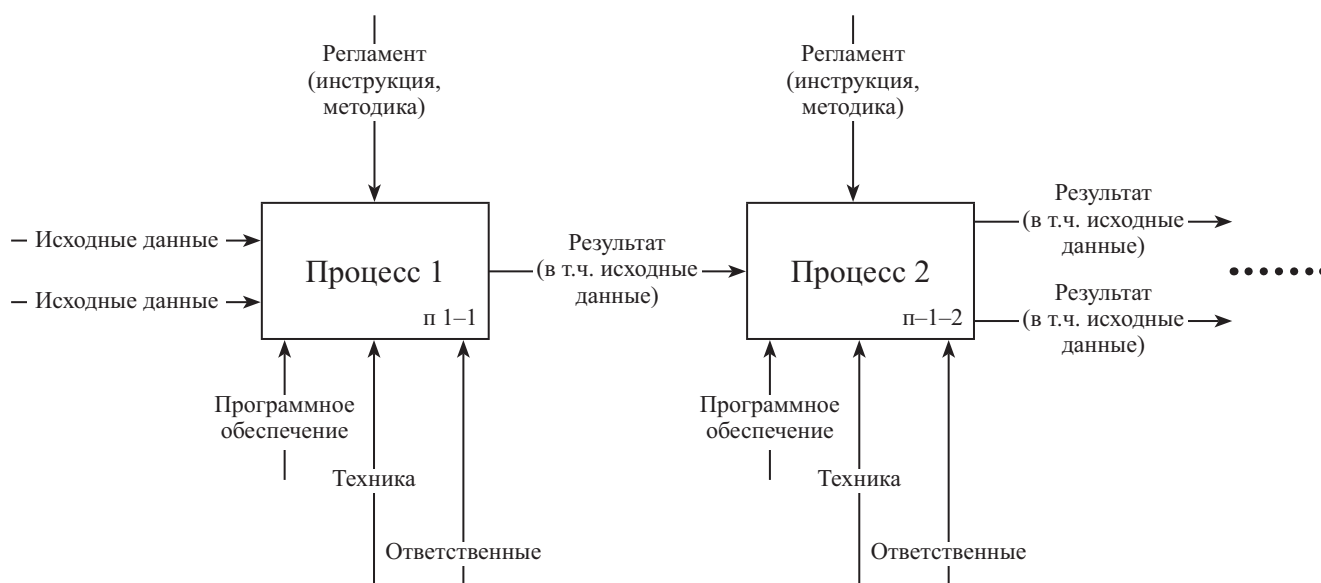


Рис. 3. Схема процесса получения научной продукции Лаборатории

мощностей и объёмов для хранения информационных ресурсов. В состав функционирующего ИТК входит: более 60-ти специализированных автоматизированных рабочих мест исследователей, оснащённых современными пакетами программного обеспечения (INPHO, ISIS, SPICE, VICAR, IDL, ArcGIS, Photomod, ENVI, MAPinfo и др.), включая специализированные фотограмметрические комплексы; более 30 единиц серверного коммуникационного оборудования (обеспечивающего скорость передачи в локальной сети до 5 Гбит/с); 6 серверов кластера системы виртуализации; сервера системы хранения данных (общим объёмом более 40ТБ.); специализированный комплекс для проведения научных семинаров и мероприятий с возможностью трансляции в Интернет и проведения демонстраций трёхмерных моделей и другое оборудование. Функционирует и постоянно развивается комплекс сервисов информационного обеспечения ИТК. Созданы базы пространственных данных. Объём накопленных информационных ресурсов превышает 200 тыс. единиц, объёмом более 30ТБ.

В перспективе коллективом авторов планируется продолжение исследований аспектов функционирования ИТК, специфики хранения и обработки пространственных данных, развитие базы знаний Лаборатории, создание высокопроизводительных комплексов и развитие существующих вычислительных мощностей Лаборатории с целью поддержания и развития

технологического потенциала для проведения дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соловьёв И.В., Майоров А.А. Проектирование информационных систем. Фундаментальный курс /Под ред. В.П. Савиных – М.: Академический проект, 2009. – 398 с.
2. Шкуров Ф.В. Разработка и исследование принципов построения и архитектуры комплекса программно-технических средств для обучения геоинформационным технологиям: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. Наук.– МИИГАиК, 2009.
3. Майоров А.А., Соловьёв И.В., Шкуров Ф.В., Купцов А.Б. Разработка модели требований к комплексу программно-технических средств обучения специалистов картографо-геодезического профиля методом компьютерной деловой игры // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка». – 2008. – № 5. – С. 79–83.
4. Майоров А.А., Соловьёв И.В., Купцов А.Б., Шкуров Ф.В. Разработка концептуальной модели информационно-лингвистического обеспечения компьютерной системы для обучения геоинформационным технологиям специалистов картографо-геодезического профиля методом компьютерной деловой игры // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъёмка». –2008. –№ 6. – С. 74–78.
5. Тихонов А.Н., Иванников А.Д., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект – М.: Макс пресс, 2010.
6. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации// Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъёмка». –2011. –№ 5. – С.85–90.
7. Дубов С.С. Современные задачи организации хранения планетарных данных Российской Федерации // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъёмка». –2011. – № 6. –С. 85–88.
8. Дубов С.С. Разработка архитектуры и алгоритмов работы федерального хранилища планетарных данных: Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук.– МИИГАиК, 2009.

Поступила 8 ноября 2012г.

Рекомендована кафедрой
информационно-измерительных систем МИИГАиК

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИС-СЕРВИСОВ В СИСТЕМАХ С ПОДВИЖНЫМИ GPS-ПРИЕМНИКАМИ

Доцент, кандидат техн. наук **И.Н. Кондауров**, инженер **В.А. Беляев**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: kondaurov@miigaik.ru, vlad6117b@yandex.ru

Аннотация. Разработана структура и практически реализована система сбора координатной информации от подвижных GPS-приемников, позволяющая хранить и отображать положение объектов на карте за счет использования веб-сервисов. Выполнен анализ статистических параметров координатных данных.

Ключевые слова: геоинформационные системы, веб-сервисы, GPS-измерения, беспроводные сети

Abstract. An architecture of a system for collecting coordinate information from mobile GPS receivers was developed and implemented. The system allows to store and display information on position of the objects on a map using web services. Statistical parameters of the coordinate data was analysed.

Keywords: geoinformation systems, web services, GPS measurements, wireless networks

Введение. В настоящее время широкое распространение получили устройства, работающие в беспроводных сетях: коммуникаторы, карманные переносные компьютеры

(КПК), ноутбуки с модемами Wi-Fi, Bluetooth и WiMax, специальные мобильные терминалы-роверы из комплекта GPS-аппаратуры. Все эти устройства способны либо обмениваться координатной информацией с ГИС-системой, либо непосредственно выполнять функции географической информационной системы локально или в режиме клиент-сервер после установки соответствующего программного обеспечения. Применение ГИС-технологий на мобильных платформах дало стимул к разработке вопросов оптимальной навигации подвижных объектов, логистике, автоматизации учета координатных поправок. Рассмотрение этих вопросов тесно увязано с разработкой сетевых протоколов для высокопроизводительного обмена данными между подвижными устройствами. При этом топология сети, как правило, основана на нескольких основных моделях, в том числе модели с центральным (шлюзовым) элементом, обеспечивающим выход в проводную сеть или Интернет. Такая беспроводная сеть получила название Ad-Нос. Наряду с вопросами обеспечения скорости ввода данных в мобильную ГИС-систему важнейшим является вопрос качества координатной информации. Сигнал GPS-приемника, расположенного на подвижном объекте, в процессе его перемещения, сильно зависит от рельефа и застройки. Кроме этого, исследования показывают, что GPS-приемники бытового класса, предназначенные для работы с КПК и коммуникаторами, даже одинаковой марки обладают существенно различающимися параметрами приема сигнала. Поэтому для обеспечения точностных характеристик координатных данных, вводимых в мобильную ГИС-систему, требуется оперативный контроль качества на основе статистических характеристик информации от GPS-приемников.

Рассматриваемая в данной статье система, позволяет собирать координатную информацию одновременно от множества GPS-приемников, перемещающихся по территории, обслуживаемой Wi-Fi или Bluetooth сетью, рассчитывать, хранить, отображать статистические характеристики координатных данных и показывать на карте положение всех доступных через сеть объектов. Для картографического представления объектов в системе предусмотрен программный модуль подключения

к веб-сервисам ArcGIS и Microsoft MapPoint. Функциональность мобильной ГИС-системы в данном случае полностью определяется импортируемыми функциями веб-сервисов.

Описание системы. Архитектура системы была разработана с учетом следующих функций и требований:

система подразделяется на клиентскую и серверную части;

клиентская часть расположена на КПК (одно из возможных расположений) и обеспечивает: прием через последовательный порт и преобразование данных с GPS-антенны в формате NMEA 0183, передачу данных на сервер, картографическое отображение позиции;

серверная часть расположена на ПК и обеспечивает: асинхронный прием информации с мобильных устройств, передачу данных для хранения в БД под управлением MS SQL Server 2008, отображение информации с помощью веб-сервисов ArcGIS, Microsoft MapPoint, статистический анализ геоданных.

Система была разработана с использованием Microsoft Visual Studio 2008. Картографическое отображение информации на клиенте осуществляется посредством Google Maps путем отправки координатных данных и приему ГИС-информации через интернет канал. Для реализации приема информации и записи ее в БД на сервере была выбрана технология асинхронной обработки вызовов и данных, для того чтобы обеспечить одновременную работу сервера с несколькими сотнями устройств (максимально поддерживается до нескольких тысяч устройств). Данная технология реализуется на базе шаблона Microsoft .NET Framework.

Основная функция системы – использование возможностей геоинформационных веб-сервисов, с целью формирования карт с динамическим содержанием. Для этого сервису (ArcGIS, MapPoint) пересылаются необходимые геоданные и команды через интернет, в ответ сервис отправляет карту. Для этого в программный проект импортируются свободно распространяемые для некоммерческого использования программные библиотеки компаний ESRI, Microsoft. Исходные геоданные хранятся в БД, сформированной путем обработки входящих сообщений от клиентов сер-

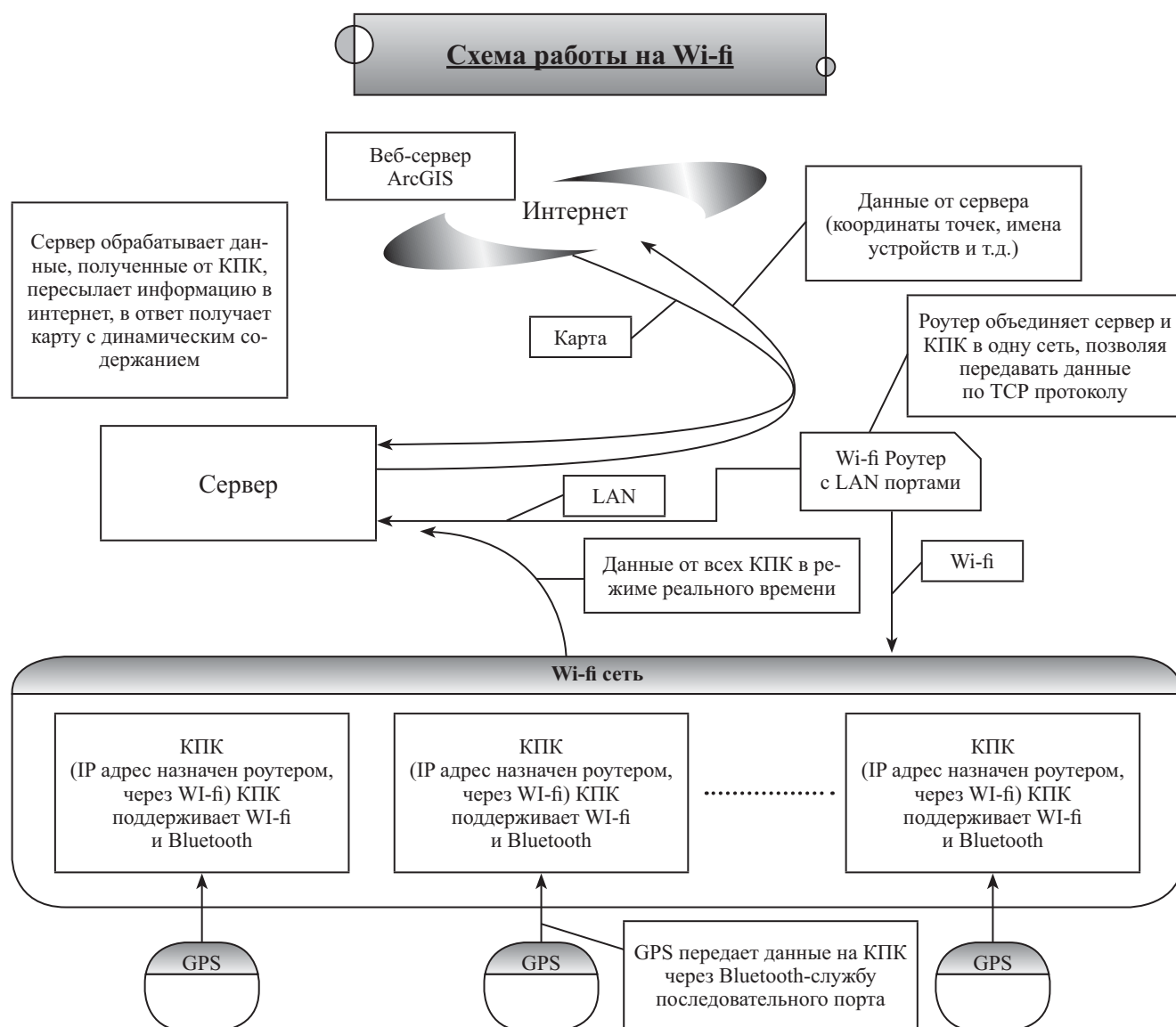


Рис. 1. Схема системы на основе Wi-Fi

вера. Примерная схема работы системы представлена на рис. 1.

Данная система также позволяет проводить аналитические исследования статистических характеристик наборов отсчетов. В процессе экспериментальных исследований были получены следующие результаты. Данные обрабатывались на временных интервалах через 5 с, т.е. в среднем, каждые 5 отсчетов. Были построены гистограммы распределений. Параллельно рассчитывались статистические оценки полученных координатных данных, на основе характеристик и формул для t -распределения с вероятностью $P = 0,95$. В качестве GPS-приемников для исследований были использованы различные версии бытового

приемника компании GlobalSat BT-821.

Частичные результаты исследований представлены в таблице и на рис. 2–4.

Гистограммы распределений для широты B и долготы L измеряемой координаты неподвижного приемника сильно зависят от количества измерений (см. рис. 2). Близость к функции Гаусса визуально наблюдается на гистограмме, показанной на рис 2, б. Вычислялась наилучшая оценка для измеряемых величин и доверительный интервал среднего. Видно, что уже через одну минуту интервал сужается в 20 раз. Напомним, что в нашей системе для сбора координатных данных мы использовали непрофессиональный приемник. Мы не приводим рисунок, на котором отображено положение

Статистические оценки измерений

Число измерений n	Оценка среднего $\bar{x}$		Доверительный интервал среднего $\Delta\bar{x}$	
	L	B	L	B
5	37,859679	55,745498	0,018305	0,019474
10	37,859682	55,745496	0,007010	0,007480
15	37,859686	55,745493	0,004277	0,004580
20	37,859689	55,745490	0,003064	0,003291
30	37,859694	55,745485	0,001945	0,002099
50	37,859703	55,745478	0,001117	0,001215
100	37,859712	55,745483	0,000541	0,000596
500	37,859730	55,745489	0,000106	0,000118
12 ч (43200)	37,859722	55,745466	0,000001	0,000001

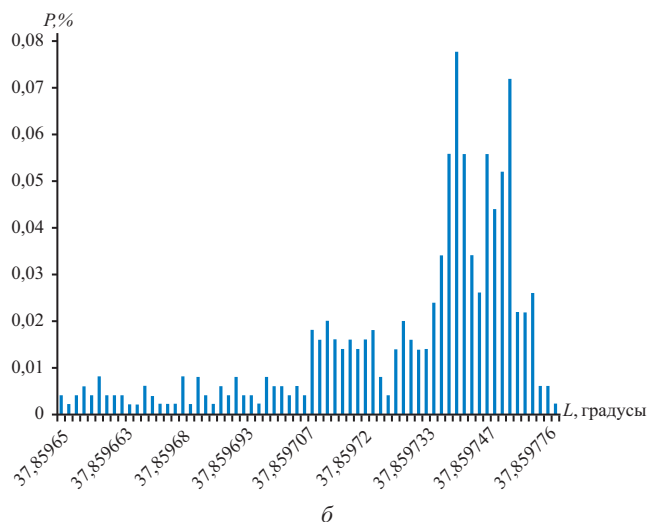
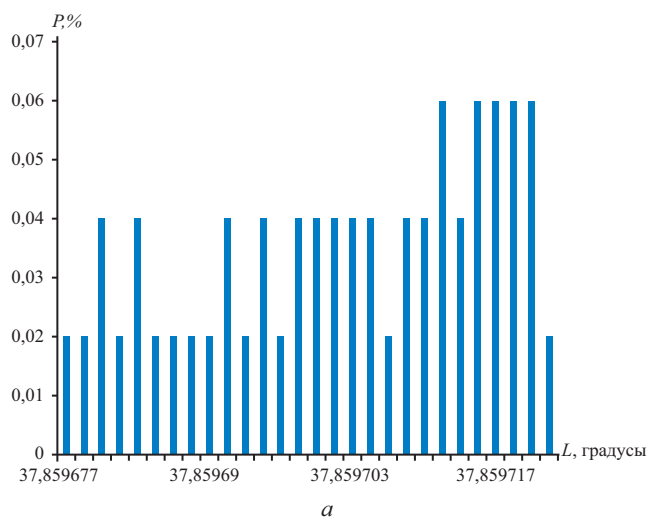


Рис. 2. Распределение вероятности долготы:

a — 50 отсчетов; b — 500 отсчетов

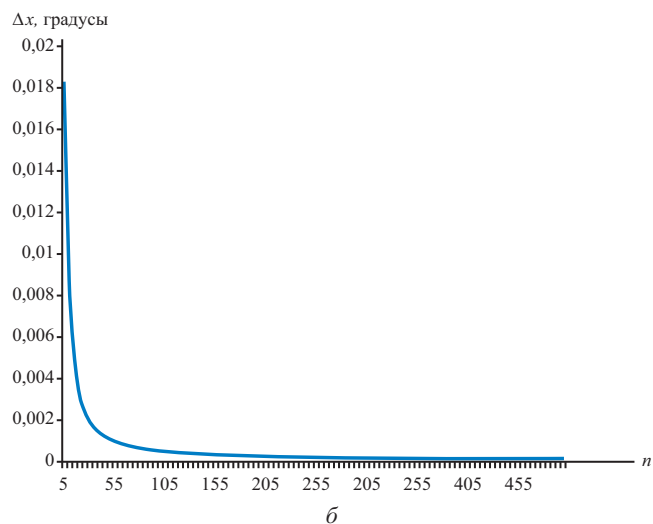
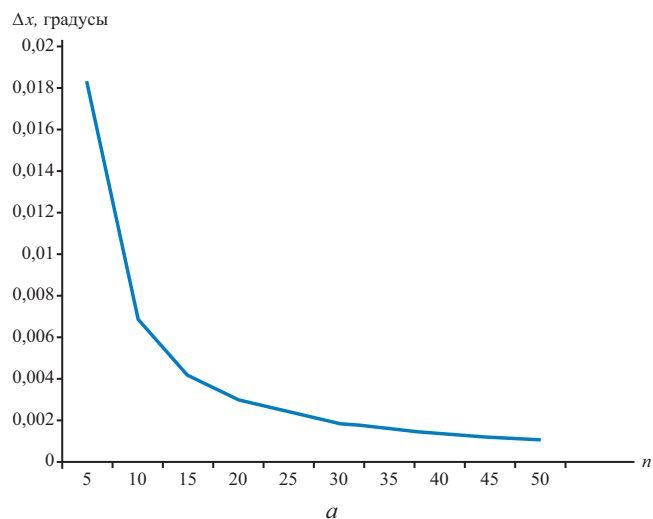


Рис. 3. Изменение доверительного интервала среднего:

a — 50 отсчетов; b — 500 отсчетов

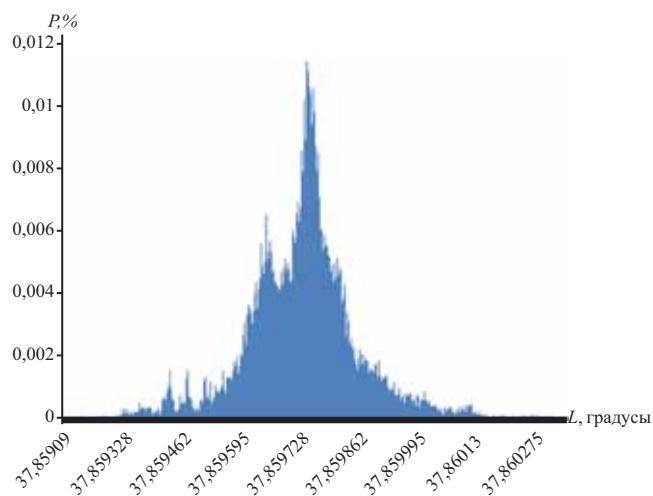


Рис. 4. 12-ти часовое распределение вероятности долготы

точек на карте с использованием веб-сервиса, так как этот результат в данном случае является второстепенным.

Таким образом, разработанная система позволяет выполнять прием данных от GPS-приемников с последующим хранением и анализом качества получаемых данных для использования в ГИС-системах, размещенных на

переносных компьютерах. Для GPS-приемника определенного типа в результате испытаний можно определить минимальное число отсчетов, которые дадут удовлетворительное значение оценки координатных данных.

Поступила 29 июня 2011 г.

*Рекомендована кафедрой
информационно-измерительных систем МИИГАиК*

О МНОГОУРОВНЕВОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ КОНЦЕПЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ХРАНИЛИЩА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ИЛИ КАРТОГРАФО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Профессор, доктор техн. наук **А.А. Майоров**, профессор, доктор техн. наук **И.В. Соловьев**,
доцент, кандидат техн. наук **Ф.В. Шкуров**, кандидат техн. наук **С.С. Дубов**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: feodorsh@miigaik.ru

Аннотация. Излагается новая многоуровневая архитектурная концепция информационного хранилища пространственных или картографо-геодезических данных.

Ключевые слова: информационное хранилище данных, витрина данных, картографо-геодезический фонд

Abstract. The paper presents a new multi-level architectural concept of a warehouse for spatial data or cartographic and geodetic data.

Keywords: data warehouse, data marts, cartographic and geodetic fund

Одним из важнейших институциональных преобразований, предусмотренных Концепцией развития отрасли геодезии и картографии до 2020 г. [1], является создание федерального автономного учреждения – оператора базовых пространственных данных (далее – оператор данных). Очевидно, что это потребует по новому взглянуть на проблему организации электронных хранилищ пространственных или картографо-геодезических данных как в региональных, так и в общегосударственном масштабах.

Известно, что электронная информационная инфраструктура пространственных данных (ЭИИ ПД) для субъектов картографо-геодезической деятельности (КГД) должна представлять собой единую среду хранения актуальных и достоверных данных [2,3]. К сожалению, сегодня не существует единой общегосударственной ЭИИ ПД. В настоящее время Центральное хранилище данных реализуется в картографо-геодезическом фонде РФ, а параллельно с ним на собственных принципах функционирует не

менее десятка ведомственных хранилищ картографо-геодезических данных [3].

Идея создания единых межведомственных баз данных, в которые предполагалось бы копировать исходную информацию из различных ведомственных источников данных, является не вполне жизнеспособной, поскольку транзакционные системы ведомств (и даже субъектов КГД внутри одного ведомства) разрабатывались без единого плана, и содержат, как правило, противоречивую и несогласованную информацию, не говоря уже о различных форматах хранения и описания, различных платформах.

Территориальная распределённость и организационная структура ЭИИ ПД требуют специфического подхода к информационному обслуживанию субъектов КГД и организации электронных хранилищ пространственных данных. Возможным решением является сочетание идеи распределённых федеральных информационных хранилищ с витринами данных, которые гипотетически могут содержать

необходимое (для субъектов КГД) подмножество информации из ведомственных хранилищ. В случае сбоя информация может быть легко восстановлена из хранилища с минимальными потерями.

В основе концепции информационных хранилищ заложена идея гибкой архитектуры данных, когда каждому пользователю из числа доверенных лиц должна быть обеспечена возможность доступа к любому разрешенному для использования участку данных, которыми располагает организация. Такого рода доступ осуществляется путем закладки в организационно-методологические основы построения системы сбора и хранения данных соответствующих возможностей, а также согласования принципов формирования и взаимодействия аппаратного, программного комплексов и структуры накапливаемых и хранимых сведений [4]. Эта идея реализуется в основном в рамках свойств, так называемых открытых систем [4–6].

Среди этих свойств, к электронным хранилищам данных можно отнести следующие (из представляющих интерес для организации единой общедоверительной ЭИИ ПД):

1) расширяемость — возможность включения новых или изменения существующих прикладных функций ведомственных информационных систем (ВИС), не затрагивая при этом остальные функциональные подсистемы ВИС;

2) масштабируемость — возможность изменения количественных характеристик (размерность решаемых задач, число обслуживаемых пользователей и т. д.) прикладных программ и локальных баз данных (ЛБД), реализуемых на разных платформах, путем настройки параметров, а не путем перепроектирования;

3) переносимость — возможность перемещения ВИС на другие аппаратно-программные платформы в случае их модернизации или замены с наименьшими затратами (как в части приложений, так и в части данных);

4) интероперабельность — свойство, обеспечивающее взаимодействие ВИС с другими системами при обращении к их информационным или вычислительным ресурсам;

5) способность к интеграции — объединение нескольких ВИС различного назначения

в многофункциональную систему типа региональный или главный информационно-аналитический центр;

6) защищенность и надежность хранения данных — разграничение доступа к данным, а также возможность использования криптографических средств шифрования и электронно-цифровой подписи в процессе информационного обмена с взаимосвязанными автоматизированными системами;

7) бесперебойность — обеспечение безотказной работы хранилища с использованием резервирования основных подсистем;

8) высокая готовность — способность системы принимать и успешно выполнять запросы и задания за доступный интервал времени даже в случае отказа какого-либо компонента путем гарантированного автоматического восстановления работоспособности и сохранение целостности баз данных.

9) персонализация данных — включение в состав загружаемых в информационное хранилище данных сведений о лицах, непосредственно выполнивших те или иные операции, ответственных за выполнение работ и т. д.

10) качество и целостность данных — гарантия полноты, точности, воспроизводимости и целостности данных за счет контроля на этапе их загрузки в хранилище путем выполнения проверок.

Существует множество подходов к проектированию хранилищ данных и известны десятки различных вариантов нормализованных и гибридных архитектур [7]. Обобщенно, все подходы сходятся в главном — в необходимости современных средств управления информационными потоками для принятия своевременных и обоснованных управленческих решений, в необходимости создания соответствующих структур для хранения данных, их координации и интеграции [8]. Однако обилие различных подходов, методов и рекомендаций приводят к путанице понятий, достоинств, недостатков и границ применимости тех или иных архитектурных решений к построению единой общедоверительной ЭИИ ПД. В этой связи целесообразно рассмотреть возможные варианты решений в рамках абстрактной шестиступенчатой архитектурной концепции информационного хранилища данных (рис. 1).

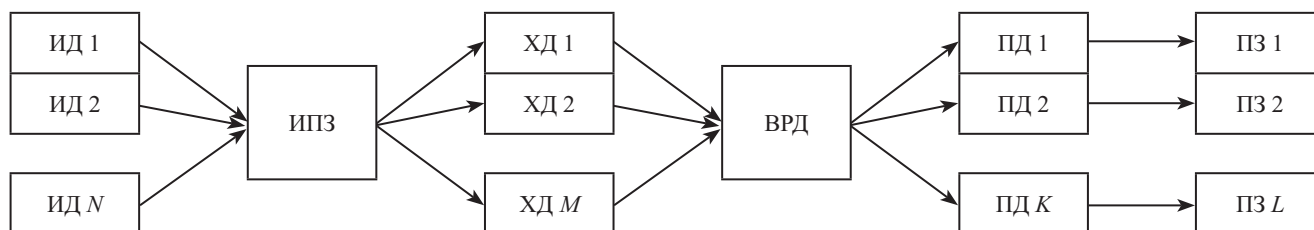


Рис. 1. Абстрактная шестиуровневая архитектурная модель

Первый уровень представлен источниками данных (ИД), в качестве которых для ЭИИ ПД выступают ЛБД оперативной информации транзакционных ВИС, архивы пространственных данных, нормативно-справочные документы, подготовленная для отображения информация, а также иные источники структурированных данных. На втором уровне размещается система извлечения, преобразования и загрузки данных (ИПЗ). На третьем уровне размещаются собственно хранилища данных (ХД). Предполагается, что на этом уровне также должны размещаться системы ведения метаданных и нормативно-справочной информации (НСИ), оперативный (операционный) склад данных (ОСД) и зоны временного (промежуточного) хранения (ЗВХ). Оперативный (операционный) склад необходим, когда требуется обеспечить более оперативный доступ к неполным, не до конца согласованным данным, доступным с наименьшей возможной задержкой. Зоны временного хранения нужны для реализации критических приложений, например, когда перед загрузкой данных требуется санкция на их загрузку в хранилище.

На четвертом уровне размещается система выборки, реструктуризации и доставки данных (ВРД). В отличие от системы ИПЗ, которая извлекает данные из множества внешних систем, система ВРД выполняет выборку из единого хранилища данных; система ИПЗ получает несогласованные данные, которые надо преоб-

зывать к единому формату, а система ВРД имеет дело с очищенными данными, структуры которых должны быть приведены в соответствие с требованиями различных приложений; система ИПЗ загружает данные в центральное хранилище, а система ВРД должна доставить (в соответствии с правами доступа, графиком доставки и требованиями к составу) информацию в различные витрины данных (ВД), которые размещаются на очередном — пятом уровне модели. Уровень предоставления данных (ПД) предназначен для разделения функций хранения и функций обслуживания различных задач. Витрины данных должны иметь структуры данных, максимально отвечающие потребностям обслуживаемых прикладных задач. Последний — шестой уровень представлен множеством прикладных задач (ПЗ), решаемых в ЭИИ ПД.

Проанализируем в терминах абстрактной модели (см. рис. 1) возможные варианты архитектурных решений ЭИИ ПД.

Вариант 1. Виртуальные хранилища данных. Концепция виртуального хранилища данных (рис. 2), предполагает работу прикладной задачи с источниками данных, максимально минуя все промежуточные уровни-посредники. Прикладная задача по запросу пользователя должна сама обращаться к требуемым источникам, доставлять данные на автоматизированное рабочее место (АРМ), преобразовывать форматы, выполнять первичную и вторичную обработку, а также отображать данные.

К неочевидным достоинствам для ЭИИ ПД можно отнести значительное сокращение ожидаемых расходов: на дорогостоящее оборудование, обслуживающий персонал, серверные комплексы и т.д., а также возможность работы с самыми «свежими» данными.

В качестве очевидных недостатков для ЭИИ ПД выступает «жесткая» связь между источниками данных и приложениями, так как



Рис. 2. Абстрактная модель виртуального хранилища данных

любое изменение в источнике данных должно согласовываться с разработчиками, чтобы избежать передачи искаженных и неверно интерпретируемых данных в прикладную задачу. Даже опосредованное обращение приложения к источнику данных нагружает ВИС, что при значительном количестве обращений может потребовать увеличения ее вычислительной мощности с необходимостью установки более мощных серверов. Кроме того, на каждом АРМ необходимо поддерживать набор интерфейсов доступа к различным системам-источникам. Неочевидность сокращения расходов также означает, что с появлением нового источника (или переформатирования старого) требуется переписывать прикладные задачи (с затратами на разработку).

Вариант 2. Независимые витрины данных. Концепция независимых витрин данных в абстрактной форме (рис. 3), предполагает такую организацию работы с данными, когда они копируются на регулярной основе из транзакционной ВИС в унифицированные витрины данных и обслуживаются одним приложением. Будем называть это также прикладной витриной данных (ПВД).

На наш взгляд, имеется два достоинства варианта независимых витрин данных в отличие от варианта виртуального хранилища. Во-первых, это разделение транзакционной и аналитической обработки данных как конфликтующих по следующим направлениям: интенсивное против единичного обращения к ЛБД; (кило)байтные против мегабайтных размеров данных за одно обращение; тысячи против десятков пользователей; круглосуточная бесперебойная против регулярной дневной работы; равномерная против пиковой нагрузки; оперативные против ретроспективных данных; актуальные против неизменных данных, что, очевидно, генерирует другие более прагматичные требования к реализующему концепцию программно-аппаратному комплексу в части производительности, пропускной способности, доступности, моделям данных,

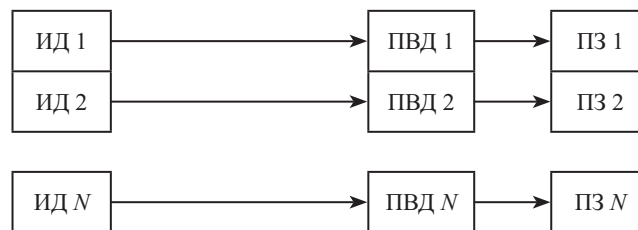


Рис. 3. Абстрактная модель независимых витрин данных

организации хранения данных, способам доступа к данным, пиковым нагрузкам, объемам обрабатываемых данных и методам обработки. Во-вторых, устранение «жесткой» связи между источниками данных ВИС и приложениями (прикладными задачами) при достаточном уровне унификации форматов витрин данных.

Таким образом, при реализации абстрактной шестиуровневой архитектурной концепции информационного хранилища данных более предпочтительным является вариант независимых витрин данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 декабря 2010 г. № 2378-р «Об утверждении Концепции развития отрасли геодезии и картографии до 2020 года».
2. Малинников В.А., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Проблемы развития государственного картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Инженерные изыскания. – 2011. – №12 (декабрь). – С.34 – 37.
3. Савиных В.П., Соловьёв И.В., Цветков В.Я. Развитие национальной инфраструктуры пространственных данных на основе развития картографо-геодезического фонда Российской Федерации // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2011. – № 5. – С.85 – 90.
4. Белов В.С. Информационно-аналитические системы. Основы проектирования и применения. – М.: МЭСИ, 2005. – 111 с.
5. Самуйлов К.Е. Открытые системы: введение в архитектурную концепцию интеллекта интеллектуальной сети. – М.: ВЦ РУДН. – <http://www.osp.ru/os/1996/02/178824>.
6. Гуляев Ю.В., Олейников А.Я. Открытые системы: от принципов к технологии // ИТ и ВС. – 2003. – №3. – С. 4-12.
7. Асадуллаев С.С. Архитектуры хранилищ данных – I. – http://www.ibm.com/developerworks/ru/library/sabir/axd_1/index.html.
8. Анисимова О.Л., Зраенко Ю.Д., Комоско В.В. и др. Хранилище пространственных объектов в составе регионального узла ИПД УрФО: модели хранилища // Пространственные данные. – 2010. – № 2. – <http://www.gisa.ru/70297.html>.

Поступила 14 ноября 2012 г.
Рекомендована кафедрой информационно-измерительных систем МИИГАиК

СВЁРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЗАДАЧ КЛАССИФИКАЦИИ И РАСПОЗНАВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБРАЗОВ

Аспирант **Е.А. Вербицкая**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: jene-jsolo@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены преимущества сверточных нейронных сетей в задачах классификации и распознавания образов. Представлено разработанное автором преобразование структуры сверточной нейронной сети для распознавания трехмерных пространственных образов.

Ключевые слова: распознавание образов, сверточные нейронные сети, пространственные образы

Abstract. In this paper we consider Convolutional Neural Networks and its advantage over other neural network types in recognition and classification tasks. The author presents her research on convolutional neural network structure modification for 3D spatial patterns recognition.

Keywords: pattern recognition, convolutional neural network, 3D spatial patterns

О применении нейронных сетей в задачах распознавания имеется достаточно много литературных публикаций. Однако на сегодняшний день появился ряд модификаций нейронных сетей, позволяющих использовать их более продуктивно для решения задач распознавания трехмерных объектов. К их числу относятся сверточные нейронные сети (СНС), как альтернатива полносвязной сети (много-слойному перцептрону), предложенные американским ученым Яном ЛеКуном [1]. Идея СНС заключается в чередовании сверточных слоев (*C-layers*), подвыборочных слоев (*S-layers*) и наличии полносвязных (*F-layers*) слоев на выходе. Рассмотрим это подробнее.

В классическом многослойном перцептроне межслойные нейронные соединения полносвязны, и изображение представлено в виде *n*-мерного вектора, не учитывающего ни двумерную локальную организацию пикселей, ни возможности их деформации. Архитектура СНС направлена на преодоление этих недостатков и основывается на принципах архитектуры неокогнитрона. Как известно из открытых источников, неокогнитрон имеет иерархию нейронных слоев, причем каждый слой содержит массив плоскостей. Плоскости бывают двух видов и располагаются парами. В каждой паре плоскостей первая состоит из так называемых простых нейронов, а вторая – из сложных. Простые нейроны получают сигналы от предыдущего слоя и выделяют определенные образы. Полученный результат попадает на сложные нейроны второй плоскости, которые делают выделенные образы менее зависимыми от их положения.

При обучении сети каждая пара плоскостей настраивается на выделение определен-

ного образа, причем только в определенном положении. Если угол поворота, форма или какие-либо еще признаки образа меняются, то на его выделение требуется уже новая пара плоскостей. Таким образом, при больших объемах информации, неокогнитрон представляет собой огромную структуру с большим числом плоскостей и слоев нейронов, что не всегда удобно с точки зрения вычислительных и временных ресурсов [2].

В отличие от неокогнитрона, СНС частично устойчива к изменениям масштаба, смещениям, поворотам, смене ракурса и прочим искажениям входного образа, что весьма важно при распознавании объектов изображения. Сравнение эффективности СНС и других нейронных сетей в задачах распознавания проводилось неоднократно и описывалось в открытых источниках. Эти исследования подтверждают, что использование СНС в большинстве случаев дает более быстрый результат [<http://yann.lecun.com/exdb/mnist/index.html>].

В процессе собственного исследования возможностей сверточных нейронных сетей был проведен эксперимент на возможность применения СНС для классификации трехмерных объектов. За основу была взята структура СНС такого вида, какие можно встретить в реализациях задач распознавания лиц на изображениях и рукописных символах, с двумерными картами особенностей и локальными плоскостями. Но в данном случае каждый элемент такой сети был преобразован из двумерного в трехмерный.

Рассмотрим задачу распознавания отдельных помещений на трехмерном плане этажа здания. Задача сети в этом случае – «просмотреть» не плоское изображение, а трехмерное,

при помощи объемной сканирующей области фиксированного размера (рис. 1), и выделить отдельные помещения подобно тому как на фотографии выделяются изображения лиц людей.

Используемая в работе трехмерная СНС состоит из шести слоев (рис. 2). Входными данными являются трехмерные матрицы размером $16 \times 16 \times 16$ ячеек (нейронов), полученные из трехмерной сканирующей области плана размером $16 \times 16 \times 16$ вокселей (воксель — трехмерный аналог пикселя в пространстве), которые классифицируются как «помещение» или «не помещение». Так как задача, решаемая нейронной сетью — классификация, то для ее решения достаточно одного выхода. Выходное значение нейронной сети находится в интервале $[-1; 1]$, что соответственно означает отсутствие или присутствие помещения в классифицируемой области.

Входной слой размером $16 \times 16 \times 16$ нейронов не несет какой-либо функциональной нагрузки и служит лишь для подачи входных данных в нейронную сеть. Следом за входным слоем находится сверточный слой $C1$. Каждый нейрон в объеме сверточного слоя получает свои входы от некоторой области предыдущего слоя (локальное рецепторное поле), то есть входная матрица предыдущего слоя как бы сканируется небольшой кубической областью и пропускается сквозь набор весов, а результат отображается на соответствующий нейрон сверточного слоя.

Слой $C1$ состоит из шести сверточных объемов и выполняет свертывание входного пространства с помощью синаптической маски размером $5 \times 5 \times 5$, таким образом, слой $C1$ осуществляет шесть свёрток входной матрицы ячеек. Наглядное представление одной свертки показано на рис. 3.

Размер сверточного объема определяется в соответствии со следующими выражениями: $l_c = l_u - K + 1$; $w_c = w_u - K + 1$; $h_c = h_u - K + 1$, где l_c , w_c , h_c — длина, ширина и высота сверточного объема соответственно; l_u , w_u , h_u — длина, ширина и высота объема предыдущего слоя; K — длина (ширина, высота) куба сканирования.

Исходя из выражений для расчета размера сверточного объема имеем, что размер объема сверточного слоя $C1$ — $12 \times 12 \times 12$ нейронов. Нейроны в слое организованы в «объемы» (по аналогии с плоскостями в классической, двухмерной СНС), в пределах которых все нейроны имеют один и тот же набор синаптических

коэффициентов. Набор выходных сигналов в таком объеме называют картой характеристик. Полный свёрточный слой составлен из нескольких карт характеристик с различными наборами синапсов так, чтобы множественные характеристики могли быть извлечены в каждом местоположении. Таким образом, набор объемов представляет собой карты характеристик, и каждый объем находит «свой» участки трехмерного плана в любом месте предыдущего слоя.

Как уже было сказано, каждый объем слоя $C1$ имеет собственную синаптическую маску и нейронное смещение, рецепторные поля нейронов пересекаются, нейроны извлекают одни и те же особенности входного пространства, независимо от их точного местоположения. Таким образом, в нашей сети слой $C1$ имеет

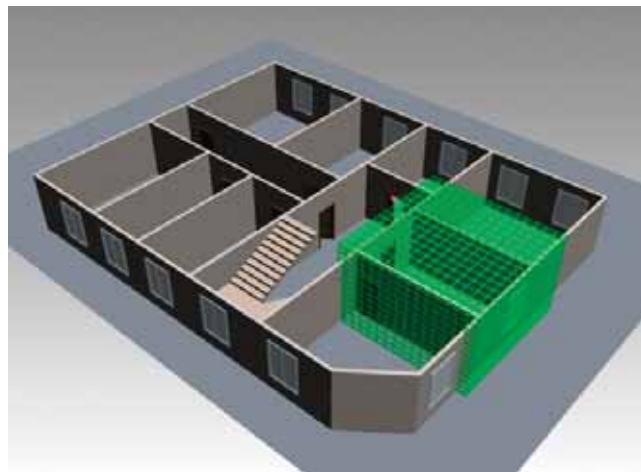


Рис. 1. Наглядное представление того, как в трехмерную сканирующую область попадает участок трехмерной модели

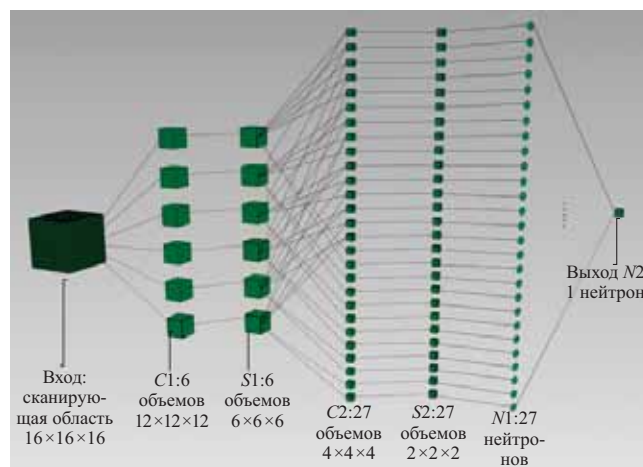


Рис. 2. Структура трехмерной сверточной нейронной сети из рассматриваемого примера

156 настраиваемых параметров (синапсов).

Следующий за слоем $C1$ подвыборочный слой $S1$ состоит из шести карт характеристик и обеспечивает локальное усреднение и подвыборку. Этот слой также состоит из объемов, и количество их такое же, как и в предыдущем слое. Рецепторное поле каждого нейрона —

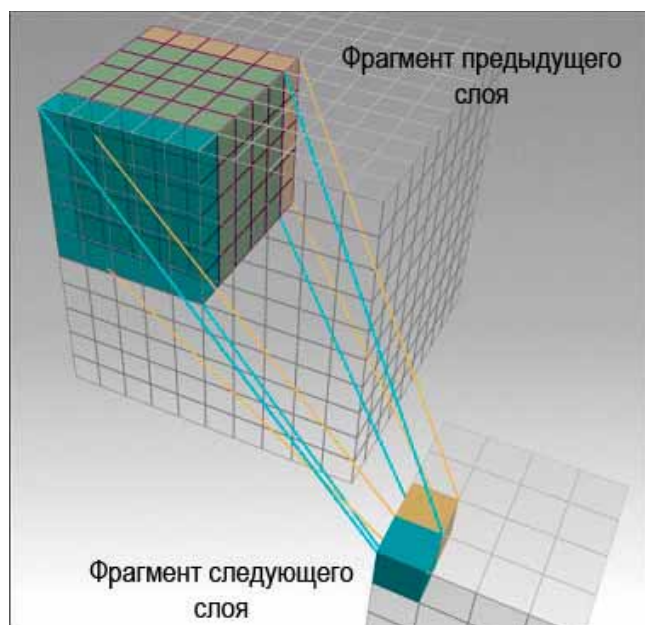


Рис. 3. Схема трехмерной свертки (рецепторное поле $5 \times 5 \times 5$)

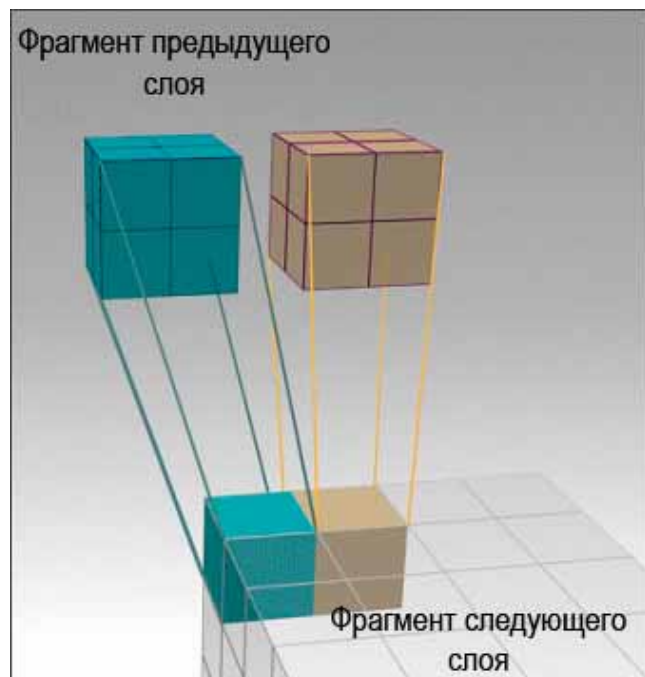


Рис. 4. Схема трехмерной подвыборки (рецепторное поле $2 \times 2 \times 2$)

область $2 \times 2 \times 2$ в соответствующей карте особенностей предыдущего слоя (рис. 4). Каждый нейрон вычисляет среднее его восьми входов, умножает на синаптический коэффициент, добавляет нейронное смещение и передает результат через активационную функцию.

После операции подвыборки, точное местоположение и специфические признаки каждой особенности входного трехмерного плана становятся менее важными, что дает нейронной сети довольно большую степень инвариантности. Смежные нейроны в подвыборочном слое имеют непересекающиеся рецепторные поля. Следовательно, карта особенностей слоя подвыборки имеет половину числа рядов и колонок карты особенности в предыдущем слое. В качестве активационной функции используется

гиперболический тангенс $y = 1,7159 \operatorname{tg}\left(\frac{2}{3}x\right)$.

Каждый объем слоя $S1$ связан лишь с одним объемом слоя $C1$. Размер каждого объема слоя $S1$ — $6 \times 6 \times 6$ нейронов, что вдвое меньше, чем размер объема предыдущего слоя. Каждый объем слоя $S1$ имеет единственный синаптический коэффициент и нейронное смещение, что дает в итоге 12 настраиваемых параметров.

Свёрточный слой $C2$ состоит из 27 объемов, слой $S1$ и $C2$ перекрестно связаны. Объемы слоя $C2$ формируются следующим образом: каждый из шести объемов слоя $S1$ свёрнут двумя различными синаптическими масками $3 \times 3 \times 3$, обеспечивая 12 объемов в $C2$, другие 15 объемов $C2$ получены, суммируя результаты двух свёртываний на каждой возможной паре объемов слоя $S1$. Таким образом, сети добавляется способность объединять различные виды характеристик, чтобы составлять новые менее зависящие от искажений входного образа. Размер объема слоя $C2$ — $4 \times 4 \times 4$ нейронов. Таким образом, данный слой имеет 1080 синаптических коэффициентов. Слой $S2$ состоит из 27 объемов, размер каждого $2 \times 2 \times 2$ нейрона, рецепторное поле каждого нейрона — $2 \times 2 \times 2$. Каждый объем слоя $S2$ имеет единственный синаптический коэффициент и нейронное смещение, что дает в итоге 54 настраиваемых параметра.

Слой $N1$ и $N2$ содержат простые нейроны. Роль этих слоев состоит в обеспечении классификации, после того как выполнены извлечение особенностей и сокращение размерности входа. В слое $N1$ находится 27 нейронов (по одному на каждый объем слоя $S2$), каждый нейрон

полностью связан с каждым нейроном только одного объема слоя S_2 , он выполняет взвешенное суммирование своих 8-ми входов, добавляет нейронное смещение и пропускает результат через активационную функцию. Таким образом, данный слой содержит 243 синаптических коэффициента. Единственный нейрон слоя N_2 полностью связан со всеми нейронами слоя N_1 . Роль этого нейрона в вычислении окончательного результата классификации. Выход этого нейрона используется для классификации входной области на помещения и не помещения. Использование принципа объединения весов дает эффект уменьшения количества настраиваемых параметров нейронной сети.

В качестве обучающего алгоритма для трехмерной СНС, так же, как и в большинстве случаев с обычной (двумерной) СНС, предполагается использовать стандартный для нейронных сетей алгоритм обратного распространения ошибки.

Отметим основные особенности проведенного эксперимента. Во-первых, в этой задаче мы имеем дело с трехмерными объектами, что, конечно, увеличивает ресурсоемкость вычислительной системы. Во-вторых, необходимо учитывать различные по размеру помещения, огромное разнообразие планировок, искажений, таких как различная толщина стен и т. п.

В-третьих, при применении подобной трехмерной версии нейронной сети для распознавания помещений на плане, необходимо в каждом конкретном случае подбирать такие параметры как размер сканирующей области, количество слоев сети, размеры рецепторных полей и т.д.

В результате проведения эксперимента было выявлено весьма значимое качество сверточных нейронных сетей: за счет гибкости своей структуры сверточная нейронная сеть может быть достаточно легко модифицирована в трехмерную, а при необходимости и в n -мерную. При этом такая сеть позволяет оперировать непосредственно трехмерными (n -мерными) областями, не теряя локальные зависимости между соседними вокселями. Эта возможность в ближайшем будущем может открыть довольно привлекательные перспективы расширения круга задач, решаемых при помощи СНС.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Y.LeCun*. Generalization and network design strategies // Proc. Of the Intern. Conf. Connectionism in Perspective. – University of Zurich, 10–13 October 1988. – P. 143–155

2. *Терехов С. А.* «Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей», ВНИИТФ, Снежинск (http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_ch10.htm).

Поступила 26 января 2012 г.

Рекомендована кафедрой ВТ и АОАИ МИИГАиК

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ В КАЧЕСТВЕ СРЕДСТВА РАЗГРАНИЧЕНИЯ ДОСТУПА К ИНФОРМАЦИИ

Профессор, кандидат техн. наук **В.В. Гаврилова**, аспирант **Р.Ф. Хусаинова**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: gavrilovavv@yandex.ru

Аннотация. Сегодняшний день характеризуется обширным применением данных от ГНСС в различного рода технологических областях. Одними из таких применений являются технологии разграничения прав доступа к информации на мобильных устройствах и технологии ускорения поиска информации по территориальному признаку. Речь идёт о возможности создания приложений для мобильных устройств, реализующих данные технологии.

Ключевые слова: ГНСС; GPS; ГЛОНАСС; ограничение доступа к данным; геолокация; геотаргетинг

Abstract. Nowadays various technologies extensively use data from GNSS. It is applied in technologies limiting access to information on mobile devices, and in possibility of acceleration of location-based search. The possibility of development of applications for mobile devices that will implement these technologies is described in the article.

Keywords: GNSS; GPS; GLONASS; Access limitation to data; Location-Based Service (LBS); geo targeting

Применение глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с каждым годом становится всё более необходимым. ГНСС уже сегодня стала неотъемлемой частью большо-

го числа технических систем и помогает в решении множества задач, как для гражданских лиц, так и для представителей промышленности и военного комплекса.

Одной из перспективных областей применения ГНСС может стать возможность разграничивать права доступа к различного рода информации за счёт использования данных, которые может получить приёмник системы глобального позиционирования от орбитальной группировки одной или нескольких существующих ГНСС. В первую очередь для функционирования такой технологии важны координаты XYZ, обеспечивающие возможность позиционирования пользователя не только на плоскости, но и в пространстве. К второстепенным параметрам, которые можно использовать для вышеупомянутых целей разграничения доступа, можно отнести точное время, полученное за счёт атомных часов, а также параметры, которые вычисляет приёмник на основе координат и времени (скорость, ускорение, направление движения и прочие параметры движения). Все данные можно использовать для разграничения доступа как совместно со значениями координат XYZ, так и индивидуально. Подобная идея лежит в основе разрабатываемого нами программного обеспечения, позволяющего запретить или открыть доступ к информации на основе данных, принимаемых от группировки спутников ГНСС.

Чтобы лучше понять принципы работы подобного рода системы рассмотрим несколько примеров. В качестве первого примера покажем использование вместе с одним из основных продуктов сферы ГИС – цифровыми топографическими картами (ЦТК). Представим пользователя, у которого есть с собой мобильное устройство и на нём имеется, например, ЦТК Японии и приёмник одной из существующих ГНСС. При этом ЦТК находится в защищённом программном контейнере (подобие архива с паролем) и по установке производителя, заинтересованного региона (в данном случае Японии), или по иным соображениям решено сделать доступ к картографической информации исключительно лицам, находящимся в стране, на которую и есть ЦТК. Таким образом, пользователь, находящийся за территориальными границами Японии, даже имея оболочку ГИС и непосредственно ЦТК не будет иметь возможности её использования или же сможет просматривать её исключительно в мелкомасштабном виде. В случае же, если пользователь пересекает границу Японии, то доступ ко всей ЦТК или же отдельному региону на ней становится полным. Так в упрощённом виде

выглядит региональное разграничение доступа к ЦТК и прочим ГИС-материалам с применением параметров, принятых за счёт модуля ГНСС в устройстве. Подобное региональное разделение доступа похоже на применяемую технологию региональной защиты мультимедиа носителей информации, где пользователь может привезти оптический диск из США, но он не будет читаться на проигрывателе, купленном в РФ, также и сам проигрыватель, привезённый из Японии сможет считывать информацию только с носителей, произведённых в родном регионе, а никак не в России. [1]. Ту же идею регионального разделения доступа возможно использовать и для туристов и путешественников. Если пользователь приобретает навигационную карту за деньги, то он может пользоваться этой картой на местности в полноценном масштабе. Если же пользователь загрузил полноценную версию с сайта разработчика карты, но не оплачивал её использование, то он не сможет получить доступ в крупномасштабном виде, только в качестве демонстрации возможностей, где и вмешается система разграничения доступа к информации за счёт ГНСС. Она сможет открыть доступ для пользователя на определённое время, которое будет синхронизироваться по средствам сигнала ГНСС с любым из участников орбитальной группировки спутников плюс данные о позиционировании пользователя, в сумме это даст пользователю право опробовать полноценный вариант карты, находясь непосредственно в регионе, картографирование которого было произведено. Так будет обеспечено выполнение функции вспомогательного средства по защите информации, в данном случае картографической. И наконец, ещё один пример использования данной технологии в более сложных условиях, а именно ограничение на использование какой-либо информации в объёме одного этажа здания или отдельной комнате. Характерный материал для защиты таким образом – это картографический, достаточно вспомнить про существование первых отделов в государственных учреждениях, когда доступ к крупномасштабным картам обеспечивается исключительно в определённой комнате, ограниченной всего парой рабочих мест. Возникновение схожей проблемы характерно также и для ситуации, когда ведётся работа несколькими организациями над одним материалом и существует необходимость оперативно ограничивать доступ к нему

для каждой организации исключительно её территорией целиком или частью. Как следствие, в случае кражи, утери или передачи материала третьим лицам, не относящимся к организации, просмотреть защищаемый цифровой материал не представится возможным, если не будет доступа к территории его разработки даже при наличии всего цифрового материала.

Рассмотренные примеры по большей части затрагивают именно области применения в ГИС, но важно отметить, что обеспечить разграничение доступа и защитить с помощью такого способа можно не только материалы ГИС, но и любые другие материалы в цифровой форме. Всё зависит от области интересов.

Как видно из рис. 1 система разграничения прав доступа к информации состоит из наземной части и орбитальной группировки спутников ГНСС. Наземная часть представляет собой множество мобильных устройств пользователей, с установленным на них ПО. При нахождении мобильного устройства на территориях, где доступ к данным разрешён (на рис. 1 территории, окрашенные в зеленый цвет) аппаратная часть мобильного устройства получает сигнал от группировки ГНСС, программная часть изымает этот сигнал и локализует местоположение данного пользователя в пространстве, после чего программа-оболочка с помощью соответствующего алгоритма шифрования решает разрешить или запретить доступ пользователю мобильного устройства к какой-либо информации на нём. На некоторых территориях (красный цвет) доступ не разрешён, на других территориях (жёлтый цвет) – доступ к данным ограничен.

Для успешного функционирования системы разграничения доступа необходимо иметь в виду наличие нескольких проблем, решение которых напрямую не зависит от разработчика системы.

Первой из таких проблем является точность позиционирования за счёт выбранной ГНСС. Важную роль играет и высотная составляющая позиционирования (координата Z). Требования к точности в данном случае должны быть обозначены в зависимости от задач, для которых планируется использовать систему разграничения доступа. Значение высотной составляющей обозначено особо — это важно в случае тех ситуаций, когда работа с данными, доступ к которым разграничивается, ведётся, например, на одном из этажей многоэтажного здания и в

этом аспекте очень важно, чтобы данные были доступны на каких-то этажах и недоступны на других.

Вторая проблема – это возможность приёма сигнала ГНСС в тяжёлых условиях, в частности внутри зданий. На сегодняшний момент для решения данной проблемы существует несколько способов. Самый очевидный способ – использование ГНСС GPS III поколения [2]. Новое поколение технологии спутниковой навигации претерпит в ближайшем будущем существенную модернизацию, и первые 12 спутников будут запущены уже в 2014 г. Главным нововведением станет 500-кратное увеличение мощности спутниковых передатчиков, а это значит, что сигнал будет проходить сквозь препятствия, которые ранее считались непреодолимыми. Сигнал станет стабильно сильным в крупных городах, в лесах и даже в помещениях. Ещё одним способом является применение повторителей ГНСС-сигнала, частично решающих данную проблему [3]. Они позволяют устройствам внутри зданий получать координаты ГНСС-антенны, которая находится в доступном для сигнала месте. Принцип действия повторителя основан на получении им сигналов со спутников ГНСС от антенны, размещённой снаружи здания и последующей их передаче на приёмник в закрытое пространство. Таким образом, приёмник может принять спутниковый сигнал, даже будучи расположенным внутри здания. Использование переизлучённых сигналов позволяет ГНСС-приёмнику постоянно находиться в рабочем режиме, не меняя своего статуса.

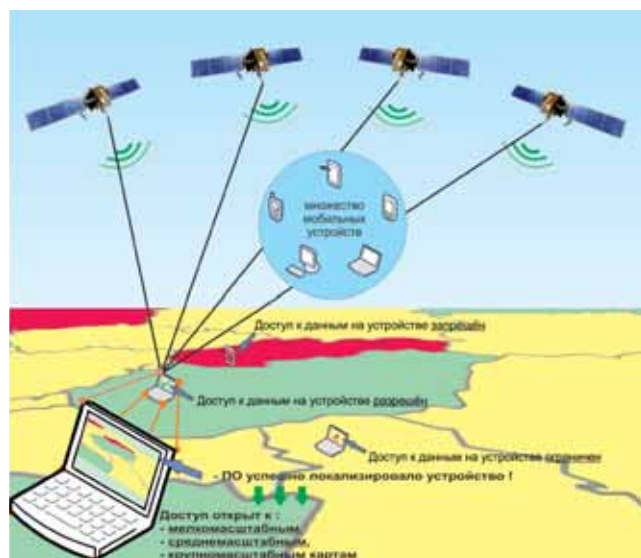


Рис. 1. Функциональная схема работы систем

Это означает, что при перемещении навигационного устройства из помещения на открытое пространство, приёмник мгновенно обновит данные своего положения.

Кроме того существует ещё один способ решить проблему позиционирования в помещении — это использование технологии приёма Locata совместно с передатчиками LocataLites, что обеспечивает достижение сантиметровой точности позиционирования там, где ГНСС работает некорректно или вовсе недоступна [4]. Открытый доступ к документу IDC (Interface Control Document), который описывает требования к интерфейсу для новой технологии наземного позиционирования разработки компании Locata, позволяет начать использование гибридной (ГНСС + LocataLites) технологии позиционирования в коммерческих, государственных и потребительских целях. Набор технологий Locata позволяет создать легко размещаемую сеть для покрытия зон, где ГНСС сигнал не стабилен или недоступен. Locata называет такую сеть «Local Constellation». Сигналы Local Constellation можно легко объединить с существующими ГНСС (GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Compass). Сеть Locata Constellation уже используется в ВВС США. Помимо этого происходит её интеграция в системы спутникового позиционирования ведущих мировых производителей, таких как, например, Leica Geosystems.

Основополагающим элементом в идее разграничения доступа лежит необходимость разработки специализированного программного обеспечения. ПО должно выполнять функции по защите информации, к которой разграничивается доступ. Информация может быть любого рода (картографическая, текстовая, изображения, видео и т.д.). Поэтому на первом этапе необходимо выполнить три задачи, а именно: 1) проанализировать и выбрать один или несколько существующих алгоритмов, с помощью которых можно обеспечить шифрование информации, опираясь на особенности конечного устройства применения; 2) соответственно, необходимо определиться с типом конечного устройства, на котором будет использоваться ПО и под управлением какой программной оболочки это устройство функционирует; 3) в зависимости от решения по первым двум пунктам потребуется выбор среды разработки для подходящего языка программирования.

Безусловно, в рамках последней задачи имеет большое значение решение вопроса о

конечном типе устройства. Характерно, что в данном случае под конечным устройством понимают мобильное устройство, поскольку предполагается, что в этом секторе будет самое интенсивное использование данной системы. Важно отметить, что на сегодняшний день таких устройств великое множество — это и карманные компьютеры с коммуникаторами, и смартфоны, и планшетные компьютеры, и даже электронные книги. Комплексно эти устройства поддерживают и используют множество программных оболочек, в данном случае операционных систем (ОС), таких как Windows Mobile, Windows Phone, Symbian, Android и т.д. Такое множество кажется довольно значительным, но несмотря на это можно прийти к определённой знаменательной выборке ОС, в первую очередь по критерию популярности того или иного типа мобильного устройства, во вторую очередь — по степени универсальности применения той или иной ОС в различного типа устройствах, и в третью очередь необходимо учитывать перспективы развития той или иной аппаратной платформы в совокупности с программной составляющей. Например, на сегодняшний день уже и без глубокого анализа ясно, что устройства в виде карманных компьютеров без GSM-модуля как вместе с ОС Windows Mobile, так и оболочка Windows Mobile отдельно становятся менее популярны и очень вероятно в ближайшем будущем использоваться не будут. В конечном итоге, определившись с выбором оптимальной программно-аппаратной платформы требуется выбрать среду разработки ПО.

Также целесообразно применение данной разработки для ускорения поиска информации среди большого массива данных — это так называемый геотаргетинг (от англ. *geo targeting*) — метод выдачи посетителю содержимого, соответствующего его географическому положению. Владельцы данных, используемых на мобильных устройствах, могут присваивать определённые данные, хранящиеся на устройстве. Такие метки могут быть координатами тех мест в пространстве, к которым данные имеют смысловое отношение. И тогда пользователь, находясь в определённом месте, может с лёгкостью по таким меткам найти на устройстве данные, имеющие отношение именно к этому месту.

Таким образом, в связи с развитием техни-

ческой составляющей группировки ГНСС, всё более стремительным распространением мобильных устройств и увеличением их вычислительных мощностей, стала возможным разработка технологий разграничения прав доступа к информации на мобильных устройствах на основе данных, принимаемых от ГНСС, а также технологий ускорения поиска информации. Данные технологии представляют научный интерес в связи с рядом задач, которые необходимо решить для их использования. К таким задачам относятся исследования по возможностям применения такой технологии на современных мобильных устройствах, разработка функциональной схемы работы технологий, выработка критериев оценки, по которым возможно классифицировать годность применения того или иного алгоритма шифрования данных на мо-

бильной платформе, изучение возможностей, а также инженерные изыскания в части проектирования и практической разработки ПО, выполняющего требуемые технологические задачи на мобильных устройствах пользователей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новичков А., Сардарян Р. Рынок средств защиты ПО от копирования: анализ и рекомендации // PCWEEK.— 2004.— № 6 (420).
2. Карпов М. GPS нового поколения будет работать даже в помещениях. — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.mobiledevice.ru/gps-iii-lockheed-martin-navigation-sistema-satellite-transmitter.aspx>.
3. [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://www.gps-repeating.com>
4. Новая система навигации Locata будет в сотни раз точнее GPS. — [Электронный ресурс] — Режим доступа: <http://mirnt.ru/aviation/sistema-navigacii-locata>.

Поступила 10 апреля 2012 г.

Рекомендована кафедрой ВТ и АОАИ МИИГАиК

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ О ТРОПИЧЕСКИХ ЦИКЛОНАХ

Младший научный сотрудник Е.С. Митюшина

Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»

E-mail: elenamityushina@gmail.com

Аннотация. Представлен обзор данных об опасных мезомасштабных процессах, таких как тропические циклоны, а также источников получения этих данных. На основании значимых параметров тайфунов разработана структура Базы данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ», приведены ее основные характеристики и модули. В Базу данных будут входить данные как по конкретному тропическому возмущению, так и по всей акватории Мирового океана, что позволит проводить научные исследования в зонах тропического циклогенеза на основании глобального и локального подходов. Возможность визуализации информации поможет анализировать изначально разнородные данные комплексно, наглядно и находить новые взаимосвязи природных процессов и географической среды.

Ключевые слова: тропический циклон, космический мониторинг, дистанционное зондирование Земли, база данных

Abstract. The paper presents an overview of data on hazardous mesoscale processes such as tropical cyclones, as well as the sources of the data. Based on the significant parameters of typhoons structure a database of tropical cyclones "Aerospace-TC" was developed, its key features and modules are cited. The database will include data on both individual tropical disturbances, and throughout the world's oceans. That will enable researches of tropical cyclogenesis based on global and local approaches. The possibility of visualizing the information helps to analyze different data comprehensively and clearly, to find new relationships of natural processes and geographical environment.

Keywords: hurricane, satellite monitoring, remote sensing of the Earth, data base

Введение. Такие опасные мезомасштабные процессы на границе атмосферы и океана как тропические циклоны, являются одним из наиболее разрушительных естественных явлений на Земле и серьезным источником экологической опасности для человечества. Тропический циклон часто сопровождается значительными человеческими жертвами, а наносимый мате-

риальный ущерб исчисляется миллиардами долларов США [1-4].

Космические методы безусловно актуальны при изучении тропических циклонов. Они позволяют проводить регулярные неконтактные измерения различных параметров среды, анализировать полученные данные и выявлять различные закономерности ее изменения [1, 3, 5, 6].

В настоящее время накоплен большой объем информации об атмосферных и гидросферных процессах. Созданы огромные архивы данных, в том числе по космическим изображениям, результаты контактных и дистанционных измерений. Однако проблема современных исследований тропического циклогенеза заключается в том, что проанализировать такой объем информации достаточно сложно, особенно если она разнородна по месту, времени, а также форматам и пространственно-временной привязке.

Актуальность создания Базы данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» для проведения комплексных научных исследований обусловлена следующими факторами:

несовершенством существующих систем сбора и анализа информации о тропических циклонах;

наличием неконтролируемого потока информации, формируемого для наблюдения за атмосферой и океаном;

нерешенностью проблемы эффективного мониторинга и прогнозирования тайфунов;

необходимостью разработки единой системы оценки и комплексного анализа космической и подспутниковой информации для создания эффективной системы комплексного мониторинга зон тропического циклогенеза.

Перечень параметров для построения Базы данных. Использование спутниковых данных для изучения тропических циклонов позволяет наиболее полно охарактеризовать это мезомасштабное явление [1, 7, 8]. При этом данные в видимом диапазоне длин волн дают представление о динамике развития циклона по структуре облачного покрова, радиолокационные данные позволяют судить о волнении океана, данные СВЧ-диапазона предоставляют информацию о влажности, силе ветра и температуре. Создание на основе спутниковых данных полного каталога тропических циклонов и возмущений дает возможность подробного изучения их климатообразующей функции [1, 8, 9].

Для того чтобы разработать Базу данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» с целью мониторинга и прогнозирования тайфунов, необходимо определить перечень ключевых параметров, важных для исследования этих мезомасштабных процессов.

Экспериментальной базой проведения научных исследований должны служить систематизированные дистанционные данные о глобальном тропическом циклогенезе, т.е. о физических процессах, происходящих во всём Мировом океане, а не на отдельных его акваториях.

Так, например, категория циклона определяется давлением, ветром и высотой нагонной волны, создаваемой действием циклона. Потому данные о давлении и профили давления одни из центральных параметров, характеризующих тропический циклогенез, и всегда используются для исследований. Также важными параметрами для исследования тропических возмущений являются вертикальные профили температуры, влажности и основных газовых компонент атмосферы; пространственные распределения температуры, скорости приповерхностного ветра, содержания водяного пара, уровней осадков. Одно из перспективных направлений — исследование взаимодействия нижних слоев атмосферы в период зарождения, активности и затухания тропического циклона с ионосферой [10, 11].

Известно, что возникновение тропических возмущений тесно связано с процессами, происходящими в Мировом океане, и одним из важных условий формирования тропического циклона является температура поверхности океана (ТПО): температура воды в слое океана от поверхности до глубин порядка 50 м должна быть выше 26°C [1, 12]. Следовательно, глобальное распределение ТПО является одним из наиболее важных параметров, которые необходимо включить в Базу данных.

Рассматривая существующие средства космического мониторинга тайфунов, можно сделать вывод о том, что всю поступающую с орбиты информацию можно подразделить по следующим основным классам способов и условий получения:

спектральный диапазон (видимый, инфракрасный, СВЧ, радио и др.);

тип используемых методов ДЗЗ;

способ дистанционного зондирования (надирный, затменный и др.);

используемые методики получения информационных продуктов;

пространственно-временная дифференци-

ация (различное пространственное разрешение, полосы обзора, масштаб изображений, время повторного пролета над точкой).

Основными параметрами, размещаемыми в создаваемую Базу данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» будут численные, графические и профильные данные об индивидуальных мезомасштабных тропических возмущениях (первичных, зрелых и посттайфунных формах), а также данные глобального распределения параметров атмосферы и океана: траектория;

температура поверхности океана ($^{\circ}\text{C}$);

водяной пар в атмосфере (мм);

скорость приповерхностного ветра с использованием 11 и 37 ГГц каналов (м/с);

содержание жидкой воды в облаках (мм);

уровень осадков (мм/ч);

давление (мбар);

покрытие облаками (%);

полное содержание водяного пара ($\text{кг}/\text{м}^3$);

температура поверхности ($^{\circ}\text{C}$);

температура воздуха на 700 мбар ($^{\circ}\text{C}$);

ионосферные данные.

Таким образом, разрабатываемая База данных предоставит возможности для построения интегрированных методик анализа тропических возмущений на основе выбранного перечня параметров.

Источники космических данных о тропических циклонах. Методические проблемы возникают при классификации и идентификации различных форм тропических структур, при обмене информацией и при последующей детальной систематизации и архивации. Они связаны с широким распространением федеральными организациями и коммерческими компаниями в средствах массовой информации и по сети Internet текстовых сообщений, отдельных фрагментов спутниковой информации и предварительных прогнозов активных фаз развития тропических циклонов с целью предупреждения населения о надвигающейся опасности и принятии мер безопасности [13].

Большинство данных дистанционных наблюдений за состоянием атмосферы и океана космические агентства NASA, ESA и метеорологические агентства JMA, WMA предоставляют научному сообществу на бесплатной основе. Многие порталы NASA разработа-

ны специально для распространения данных. Сбор информации для Базы данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» проводился по следующим источникам:

Remote Sensing Systems [<http://www.remss.com/>] – портал, посредством которого осуществляется доступ к продуктам обработки данных микроволнового зондирования Земли, получаемым приборами SSM/I, TMI, AMSR-E, QuikScat, SeaWinds, NSCAT. На сайте также представлен архив данных по тропическим циклонам за 1999–2012 гг. Основной целью проекта является предоставление высококачественных геофизических данных для мирового научного сообщества;

Digital Typhoon [<http://www.digital-typhoon.org/>] – портал Японского метеорологического агентства (JMA), содержащий обширную коллекцию спутниковых изображений тропических циклонов с 1978 по 2012 гг. для западной части Тихого океана, представляющих собой пример научной базы пространственно-временных данных. В настоящее время на нем доступны данные, полученные MTSAT-2;

NRL [<http://www.nrlmry.navy.mil/TC.html>] – портал, представляющий собой общедоступный сервис Научно-исследовательской лаборатории ВМФ США (NLR) по тропическим циклонам. Он предоставляет доступ к данным дистанционного зондирования, получаемым приборами SSMI, SSMIS, TMI, AMSRE, WINDSAT, AMSUB, GAC, GEO, MODIS, OLS с 1997 по 2012 гг. для всех зон тропического циклогенеза;

Weather Underground [<http://www.wunderground.com/tropical/>] – портал компании The Weather Underground, Inc. (WUI), представляющий пользователям текущие, прогностические и архивные данные о погоде и атмосферных явлениях. Один из разделов полностью посвящен тропикам. Представлены данные, как спутникового зондирования, так и информация с наземных погодных станций и радаров;

National Hurricane Center [<http://www.nhc.noaa.gov/satellite.shtml>] – портал Национального центра прогнозирования ураганов США (NHC), предоставляющий доступ к данным, полученным спутниками GOES-East/West, NOAA, MTSAT, METEOSAT-8, DMSP, TRMM;

OceanColor Web [<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>] – один из официальных ресурсов NASA для распространения данных дистанционного зондирования океана. Посредством данного веб-ресурса осуществляется доступ к данным дистанционного зондирования (например, распределение температуры поверхности океана), получаемым аппаратурой MODIS по океану.

Помимо перечисленных порталов, работают еще такие Интернет-ресурсы, как Atmospheric Science Data Center [<http://eosweb.larc.nasa.gov/>] – портал, который предоставляет данные, получаемые приборами TES/AURA и MOPITT. Также данные по прибору MODIS предоставляют ресурсы Национального управления США по аэронавтике и исследованию космического пространства [<http://modis.gsfc.nasa.gov/>, <http://ladsweb.nascom.nasa.gov/>, <http://modis-atmos.gsfc.nasa.gov/>].

Структура Базы Данных. База данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» разрабатывается для систематизации и анализа данных дистанционного и наземного мониторинга об опасных мезомасштабных процессах на границе атмосферы и гидросферы. Создаваемая база данных, в том числе технические и программные средства для ее формирования и организации удаленного доступа, включает в себя систему хранения данных, средства обработки, а также обмена данными и обеспечивает:

- ввод спутниковых данных, а также численной и текстовой информации;
- архивирование исходных данных и результатов обработки;
- систему поиска и запроса данных из архива;
- систему визуализации данных;
- долговременное хранение информации.

Для удобства систематизации и хранения информации о тропических циклонах была разработана структура базы данных, которая обеспечивает быстрый и удобный доступ к информации, позволяет исключить дублирование информации об объекте, а также соответствует требованиям о систематизации данных для различных регионов и объектов. При выборе и определении представления данных была обеспечена удобная, логичная и гибкая система классификации для хранения информации с тем, чтобы можно было бы использовать ее при описании разнообразных наборов данных

и результатов их обработки.

База данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» включает в себя специализированные разделы, каждый из которых подразделяется на сегменты в соответствии с характером хранимой в них информации. Приведем общее описание разделов создаваемой базы данных.

В первом разделе содержится информация по конкретным возмущениям (тропическим циклонам, штормам и депрессиям). В этом разделе представляются данные о хронологических, кинематических, геофизических и климатологических характеристиках мезомасштабных тропических процессов в мировом океане. Они достаточно полно характеризуют конкретное возмущение и сформированы на основе локального подхода к тропическому циклогенезу [14].

Во втором разделе представляется информация, которая не привязана к конкретному возмущению, но отражает процессы, происходящие на всем Земном шаре за 1983–2010 гг. Эти данные (после нескольких уровней обработки) в совокупности со статистическими данными об отдельных возмущениях позволяют реализовывать глобальный подход к тропическому циклогенезу [15].

Анализ состава информации, особенностей ее хранения и обработки позволил сформировать обобщенную структуру Базы данных (рис. 1).

На входе создаваемой базы данных имеется разнородная космическая и иная информация различных уровней пространственной, временной, спектральной и иной дифференциации. Это те данные дистанционных и наземных наблюдений, которые поступают в файловое хранилище, расположенное на сервере Научного центра аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС». Далее следует сортировка и предварительная обработка данных, осуществляемая соответствующим модулем.

В предварительную обработку данных об опасных мезомасштабных процессах на границе атмосферы и гидросферы входят следующие процедуры: систематизация данных в соответствии с разработанной структурой Базы данных; трансформирование данных; геопривязка

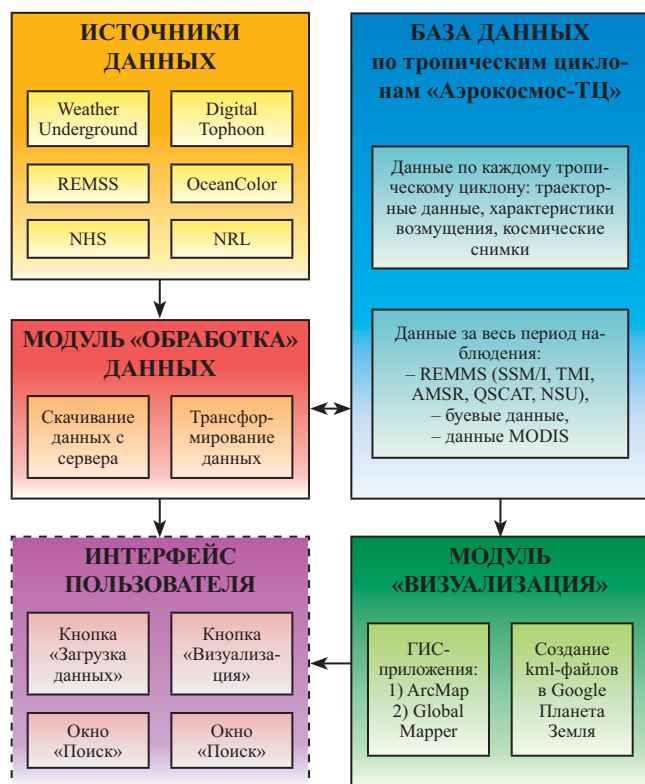


Рис. 1. Обобщенная структура Базы данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ»

вязка данных (если требуется).

После сортировки и предварительной обработки, информация о тропических циклонах вводится в базу данных, а также поступает на модули программной обработки и построения файлов визуализации.

Для организации доступа к Базе данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» необходимо создание интерфейса пользователя, основными элементами которого должны являться: определение параметров загрузки данных дистанционного зондирования; визуализация данных по запросу пользователя; поиск информации по каталогам Базы данных; конвертирование данных.

Визуализация космической информации.

Для удобства и быстроты доступа к данным, а также возможности получения информации по конкретному тропическому возмущению, целесообразно создать систему визуализации информации о тропических циклонах. Такая система должна соответствовать некоторым требованиям:

- наглядность отображения информации;
- географическая привязка данных;

простота создания конечного продукта;

- доступность пользователям любого уровня знаний;

возможность предоставления удаленного доступа к данным;

распространенность формата отображения данных;

небольшой вес загружаемой информации;

возможность предоставления круглосуточного и стабильного доступа к информации для пользователя их любой точки Земного шара;

бесплатное программное обеспечение для отображения информации.

В данной работе, учитывая все особенности используемых информационных продуктов, был проведен обзор существующего программного обеспечения для отображения геопривязанной информации о тропических возмущениях. В результате для отображения информации из Базы данных, а также ее дальнейшего анализа, была выбрана система Google Планета Земля. Основным форматом данных, использующимся в этой системе, является формат KML, который используется для отображения географических данных в различных средствах просмотра. Основными преимуществами такого способа отображения информации является простота его создания и доступность пользователям. KML создан на основе стандарта XML и использует основанную на тегах структуру с вложенными элементами и атрибутами. KML является языком разметки открытого стандарта и используется для отображения географических данных в геобраузерах. Еще одним преимуществом формата KML является то, что он поддерживается многими приложениями, такими как Google Планета Земля, Карты Google, Карты Google для мобильных устройств, NASA WorldWind, ESRI ArcGIS Explorer, Adobe PhotoShop, AutoCAD и Yahoo!. Pipes.

Рассмотрим структуру и содержание геопривязанного файла о конкретном тропическом возмущении. Программное обеспечение Google поддерживает следующие элементы KML (то есть запросы KML в окне поиска и объекты GeoXml в API Карт): метки; значки; папки; описательный HTML; KMZ (сжатый KML, включающий вложенные изображения); ломаные линии и многоугольники; стили для



Рис. 2. Создание геопривязанного файла о тропическом циклоне

ломанных линий и многоугольников, включая цвет, заливку и прозрачность; сетевые ссылки для динамического импорта данных; накладываемые изображения поверхности Земли и накладываемые изображения экрана.

На рис. 2 показан пример отображения посредством Google Планета Земля информации из Базы данных по тропическим циклонам «Аэрокосмос-ТЦ» о тропическом циклоне «MORAKOT», проходившем в северо-западной зоне тропического циклогенеза 03.08.2009 – 10.08.2009 гг.

Создание файлов в формате KML и использование технологии Google Планета Земля для изучения тропических циклонов является одним из перспективных направлений, ввиду своей универсальности, доступности, а также возможности проводить всесторонние исследования опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы.

Заключение. Проанализированы значимые параметры тайфунов, выбраны основные источники космических данных, на основании чего разработана структура и пользовательский интерфейс Базы данных. В качестве программного обеспечения для отображения геоданных об опасных мезомасштабных процессах выбрана система «Google Планета Земля», которая работает с данными в формате

KML. Это дает преимущества при проведении всесторонних исследований опасных мезомасштабных процессов на границе атмосферы и гидросферы, помогая анализировать данные комплексно, наглядно и находить новые взаимосвязи природных процессов и географической среды.

Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондур В.Г., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Мониторинг и прогнозирование природных катастроф. М.: Научный мир, 2009. – 594с.
2. Израэль Ю.А. Экология и контроль состояния природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1979. – 375с.
3. Кондратьев К.Я. Глобальный климат - Л.: Наука, 1992. – 359с.
4. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Наука и общество. – 2001. – № 4. – С.291–302.
5. Будыко М.И., Голицын Г.С., Израэль Ю.А. Климатические Катастрофы. М.: Гидрометеиздат, 1987.
6. Бондур В.Г., Васякин С.А. Космический мониторинг атлантической зоны тропического циклогенеза // «Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка». – 2012. – №5. – С.73–81.
7. Крэкнекк А.П. (ред.) Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии. М.: Мир, 1984. – 535с.
8. Бондур В.Г., Калери А.Ю., Лазарев А.И. Наблюдения Земли из космоса. Орбитальная станция «Мир» март-август 1992. СПб.: Гидрометеиздат, 1997. – 92с.
9. Шарков Е. А., Ким Г. А., Покровская И. В. Эволюция тропического циклона GONU и его связь с полем интегрального водяного пара в экваториальной области // Исследование Земли из космоса. – 2008. – № 6. – С.12–16.
10. Бондур В.Г., Пулинец С.А., Ким Г.А. О роли вариаций галактических космических лучей в тропическом циклогенезе на примере урагана Катрина // Доклады Академии наук. – 2008. – т. 422 (2), С.1–6.
11. Бондур В.Г., Пулинец С.А., Узунов Д. Воздействие крупномасштабных атмосферных вихревых процессов на ионосферу на примере урагана Катрина // Исследование Земли из космоса. – 2008. – № 6. – С.3–11.
12. Gray W.H. Tropical cyclone genesis // Atmos. Sci. Paper. Colo. St. Univ., 1975, No. 234, 119 p.
13. Шойгу С.К., Воробьев Ю.Л., Владимиров В.А. Катастрофы и государство. М.: Энергоатомиздат, 1997. – 158с.
14. Шарков Е.А., Покровская И.В. Региональные тропические циклогенезы в поле поверхностной температуры мирового океана. // Исследование Земли из космоса – 2010. – № 2. – С.54–62.
15. Шарков Е.А., Покровская И.В. Глобальный тропический циклогенез и поля поверхностной температуры океана: проблемы спутникового мониторинга. Институт космических исследований РАН // Исследование Земли из космоса. – 2006. – №6. – С. 3–9.

Поступила 26 июня 2011 г.

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ЛОГИСТИКЕ

Профессор, доктор техн. наук **А.А. Майоров**, профессор, доктор техн. наук **В.Я. Цветков**,
соискатель **В.М. Маркелов**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E mail: cvj2@mail.ru

Аннотация. Рассмотрены вопросы применения методов геоинформатики при решении логистических задач. Дано сравнение информационного и геоинформационного подходов. Показана особенность геоинформационного подхода и преимущество применения геоинформационного подхода при решении логистических задач.

Ключевые слова: информационный подход, геоинформационный подход, логистические задачи

Abstract. The paper deals with application of geoinformatics in solving logistical problems. Informational and GIS approaches are compared. An advantage of geoinformation approach for solving logistical problems is shown.

Keywords: informational approach, GIS approach, logistical problems

Современная логистика широко использует информационные методы. Геоинформатика близка к информатике, а геоинформационный подход близок к информационному подходу [1]. Поэтому целесообразно сравнить геоинформационный и информационные подходы в аспекте их применения в логистике.

Информационный подход включает в себя использование: информационных технологий, информационных систем, информационных единиц, информационных моделей, информационного мониторинга [2], информационного моделирования, информационных потоков. Все это применяется для решения практических задач, получения и накопления знаний. Все это применяется также для решения практических задач в логистике.

Структурно *геоинформационный подход* к анализу процессов и явлений показан на рисунке. Рассмотрим его особенности. Выделение трех групп данных «место» «время» «тема» позволяет проводить классификацию различных данных и последующую интеграцию их в единую информационную основу.

Интегрирующей функцией обладают цифровые модели и цифровые карты, что создает возможность объединять разнородные информационные ресурсы. Интегрирующая функция дает возможность создавать гипертекстовую структуру данных, входящих в информационную основу. Графические и картографические визуальные модели в геоинформатике отображают обширное информационное пространство. В это пространство входит множество отношений между объектами реального мира

и их атрибутами.

Стратификация данных с включением отношений иерархии [3] означает создание иерархической модели, визуально представляемой как совокупность слоев с общей тематикой и признаками. Принципиальным в таком описании является возможность использования логических и теоретико-множественных операций для получения новых знаний об объектах изысканий и явлениях на поверхности Земли.

Выявление пространственных отношений дает возможность находить слабые и сильные, явные и неявные связи между объектами, находящимися в разных точках пространства. Визуальное моделирование является ключевым в представлении, интерпретации и обработке геоданных. Объемы и главное сложность геоданных настолько велики, что традиционные методы анализа (простой) информации становятся неприемлемы.

Уточним, что под сложностью понимаем число связей и отношений, которые описываются четкими [4] или нечеткими [5] графами. Снижение информационной нагрузки на пользователя в геоинформатике достигается использованием визуальных средств представления и анализа геоинформации.

Геоинформационный подход включает в себя применение общих информационных и специальных геоинформационных методов. К общим методам геоинформационного подхода относят:

использование информационных и геоинформационных систем;

использование логических информацион-

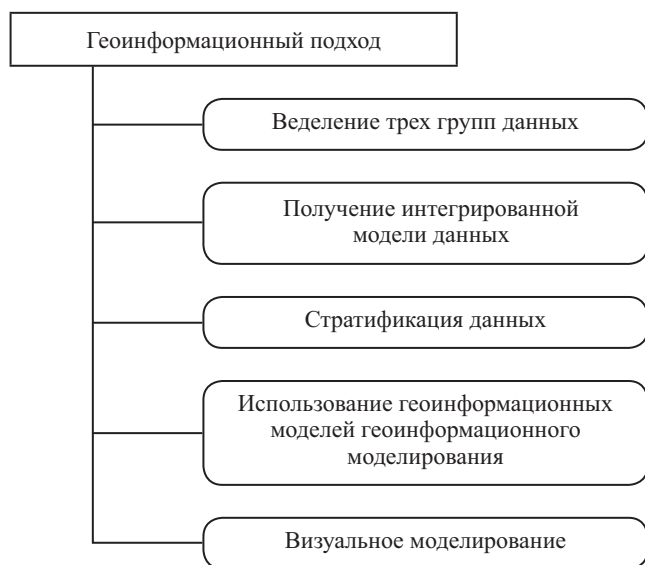


Рис. 1. Геоинформационный подход к анализу объектов и явлений

ных единиц для описания процессов обработки и хранения информации и геоинформации [6];

использование интерфейса ODBC для связи между базами данных и для связи между ГИС и внешней информационной системой;

использование интеграции данных и интеграции технологий [7].

К специальным методам геоинформационного подхода относят:

применение в качестве информационной основы данных — геоданных [8];

сбор и интеграция информации из разных источников с преобладанием технологий сбора из области наук о Земле;

ассоциативную связь различных (непространственных) данных с пространственной информацией;

использование баз данных в режиме ассоциативной связи с графическим представлением содержимого БД;

визуализацию информации с использованием картографических моделей;

использование спутниковых технологий как инструмента мониторинга и управления реальными объектами;

оценку функциональной, экономической, технологической, социальной неоднородности между явлениями и ситуациями за счет выявления пространственных отношений между реальными объектами и территориями.

Проанализируем различия между информационным и геоинформационным подходами.

Информационный подход направлен на обработку любой информации и решение любых задач, но требует адаптации при этом. Это определяет его абстрактность и оторванность от практики. Геоинформационный — направлен на обработку пространственной информации, геоданных и решение задач, связанных с положением, размещением и перемещением объектов на земной поверхности, а также с возникновением, протеканием и исчезновением различных процессов и явлений на поверхности Земли. Он не требует адаптации, поскольку ориентирован на конкретную область и конкретные структуры данных.

Информационный подход играет роль посредника в обработке исходных данных, собираемых пользователем, и решении задач поставленных пользователем. Геоинформационный подход — роль прикладного инструмента при решении задач пользователя.

Информационный подход в большей степени ориентирован на обработку, безотносительно к приложениям. Это определяет его инструментальный характер и позволяет рассматривать как инструмент посредника (программиста). Геоинформационный подход ориентирован не только на обработку, но и на обобщение и анализ информации с целевым выходом — получение управленческой информации или информации для поддержки принятия решений. Это определяет его интеграционный характер с приложениями и позволяет рассматривать как инструмент пользователя-исследователя процессов и явлений на земной поверхности.

Информационный подход появился раньше и был ориентирован на обработку данных, безотносительно к пространственным отношениям. Исторически геоинформационный подход появился позже, в нем учтены недостатки информационного подхода и добавлена специфика, позволяющая находить и использовать пространственные отношения для решения комплекса задач.

Фактор координатной среды в информационном подходе отсутствует. Фактор координатной среды присутствует и играет в геоинформационном подходе интегрирующую ключевую роль.

Информационный подход направлен на

выявление и моделирование связей, геоинформационный подход – на выявление и использование связей и отношений, среди которых ведущую роль играют пространственные [9].

Для информационного подхода характерен посреднический аспект между методами обработки и приложениями. Это определяет в нем аспект дифференциации как основной. Для геоинформационного подхода характерен интеграционный аспект.

Таким образом, геоинформационный подход имеет свою специфику и определенные преимущества применительно к задачам, связанным с пространственными отношениями и пространственным распределением информации. Логистика связана с различными пространственными задачами. Отсюда следует преимущество геоинформационного подхода для решения логистических задач [10].

Главная идея логистики — организация в рамках единого потокового процесса перемещения материалов и информации по всей цепи от одного «клиента» к другому «клиенту». Это может быть производитель и потребитель или промежуточные потребители. Объектами логистики являются сложные динамические производственно-коммерческие комплексы, включающие организационно-экономическую и производственно-технологическую деятельность в области не только снабжения, но и учета и распределения основного производства и сопутствующих транспортных и вспомогательных операций. Характерная особенность таких объектов – распределение ресурсов на значительной территории. Это делает необходимым учет пространственных отношений при решении логистических задач. Информационный подход не может обеспечить этого в полной мере, в то время как геоинформационный подход эту задачу решает эффективно.

Современная логистика включает в себя группы задач: управления; регулирования и контроля; снижения затрат; оптимизация доставки, оптимизации функционирования логистических систем.

Комплексное решение логистических задач требует интеграции материально-технического обеспечения, производства, транспорта, сбыта и передачи информации в единую систему

Логистическое управление базируется на

выборе наилучшего решения из нескольких возможных. В современных условиях сетевой экономики и возрастании роли электронных ресурсов и методов управления, для логистики исключительно важным становится управление информационными потоками и решения оптимизационных задач перемещения материальных потоков. Причем эти решения необходимо выполнять до начала физического перемещения потоков, то есть возрастает значение времени поддержки принятия решений и времени принятия решений.

Задачи логистики включают в себя создание интегрированной эффективно действующей *системы регулирования и контроля* материальных и информационных потоков. Эта система может быть создана на основе или с применением ГИС.

Оптимизация доставки связана с понятием «логистическая цепь», которую на практике отображают с помощью топологической модели. Для управления логистическими цепями используют методы, описывающие взаимосвязанные материальные, финансовые и информационные (геоинформационные) потоки и концепции системного подхода.

В сферу логистики входят задачи *анализа и синтеза логистических систем* для оценки их эффективности, оптимизации их функционирования, и снижения затрат для сферы материального производства. В силу этого во многих случаях логистика примыкает к кибернетике, использующей методы исследования операций и теории систем. Комплекс решений должен обеспечить минимизацию затрат, максимальную приспособленность фирмы к меняющейся рыночной обстановке, получение конкурентных преимуществ, повышение прибыли.

Если рассматривать «сущность» логистики с позиции категорий Аристотеля [11], то можно отметить, что категории: качества, количества, отношения, места, времени, действия, состояния, обладания – соотносятся с геоинформатикой и ее методами. Рассмотрим конкретные задачи логистики и роль геоинформатики при их решении.

Разработка научных *принципов оптимального управления* материальными и информационными потоками. Геоинформатика дает инструментарий управления с включением в него

пространственных отношений и визуальных картографических моделей.

Построение рациональной *структуры логистической цепи* для обслуживания материальных потоков. Логистические цепи описывают с помощью топологических моделей. Геоинформатика включает пространственную топологию в пространственные модели гео-данных и параметрическую топологию в атрибуты геоданных.

Решение проблем *размещения складских предприятий*. Геоинформатика дает дополнительный инструментарий для решения пространственных задач размещения с использованием кластерного анализа и картографического моделирования.

Задача идентификации и определения размеров торговых зон. Эта задача решается методами ГИС–технологий на картографических моделях с использованием процедур стратификации, оверлея и построения буферных зон. Такой инструментарий отсутствует в других информационных технологиях и системах.

Определение *сравнительной эффективности перевозок* продукции различными видами транспорта. Геоинформатика дает дополнительные методы решения этих задач с использованием логистических карт и специальных моделей.

Определение *оптимальных маршрутов*. Геоинформатика дает дополнительные методы решения этих задач с использованием технологий спутниковой навигации, интегрированных в ГИС.

Таким образом, применение геоинформационных технологий позволит качественно повысить эффективность методов, применяемых в логистике, и обеспечить решение новых логистических задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. The Geoinformation approach // European Journal of Natural History. – 2009. – № 5. – p. 102–103.
2. Майоров А.А., Цветков В.Я. Информационный мониторинг // Математические методы и модели анализа и прогнозирования развития социально-экономических процессов черноморского побережья Болгарии / Материалы Международной научно-практической конференции 5–12 марта 2012 г. – Поморие, Болгария, 2012. – С. 28–30.
3. Цветков В.Я. Логика в науке и методы доказательств – М. МГОУ, 2012. – 68 с.
4. Подольский В.Е., Толстых С.С. Повышение эффективности региональных образовательных компьютерных сетей с использованием элементов структурного анализа и теории сложности. – М.: Машиностроение, 2006. – 176 с.
5. Берштейн Л.С., Боженик А.В. Нечеткие графы и гиперграфы. М.: Научный мир, 2005. – 256 с.
6. Tsvetkov V.Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2. – p. 99–100.
7. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
8. Малинников В.А., Савиных В.П., Майоров А.А., Цветков В.Я. Геоинформатика. Состояние и перспективы развития // Сборник статей по итогам Международной научно-технической конференции, посвященной 230-летию основания МИИГАиК. Вып. 2 (в двух частях). – часть 2. – М. МИИГАиК, 2009. – С. 174–178.
9. Цветков В.Я. Пространственные отношения в геоинформатике // Науки о Земле. – Вып. 1–2012. – С. 59–61
10. Маркелов В.М. Геоинформационные логистические системы / 8-я Международная научно-практическая конференция «Геопространственные технологии и сфера их применения». Материалы конференции. – М.: Информационное агентство «Гром», 2012. – С. 90–95
11. Аристотель. Сочинения. В 4 т. (Серия «Философское наследие»). – Т. 2. «Категории». – М.: Мысль, 1975–1983. – 688 с.

Поступила 10 мая 2012 г.
Рекомендована кафедрой экономики
и предпринимательства МИИГАиК

УДК 528:658.51

КАДАСТР, ЭКОНОМИКА И РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАСЛЕВОЙ МУНИЦИПАЛЬНОЙ ГИС ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННО-АНАЛИТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Аспирант А.В. Кудинова, аспирант А.Ю. Андреева

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: kudinovaav@gmail.com, E-mail: a.nastasia@mail.ru

Аннотация. Рассмотрено информационное наполнение системы «Реестр единых объектов недвижимости города Москвы» (ИС РЕОН). Приведен пример решения плановой пространственно-аналитической задачи территориального управления по формированию балансов земель по различным критериям в границах кадастрового квартала г. Москва.

Ключевые слова: пространственно-аналитическая задача, инвентаризация, баланс земель, территориальное управление

Abstract. The information content of The register of objects of real estate information system (IS REON) was considered. An exemplary solution of a current spatial-analytical task of territory management to form balances of land on different standards within a cadastral area of Moscow was declared.

Keywords: spatial-analytical task, land balance, taking inventory of land resources, territory management

Для информационного обеспечения органов управления городом в Москве были созданы, эксплуатируются и развиваются различные геоинформационные ресурсы. Начиная с 2008 г. руководители и служащие исполнительных органов власти г. Москвы получили возможность перейти на качественно новый уровень работы с информацией, необходимой для принятия решений, за счет поэтапного ввода в эксплуатацию информационной системы «Реестр единых объектов недвижимости города Москвы» (ИС РЕОН) [1]. В [2] были рассмотрены вопросы общей организации пространственных данных в проекте ИС РЕОН и предложены пути решения некоторых оперативных пространственно-аналитических задач городского управления.

Как было представлено в [2], основное информационное наполнение данной системы осуществляется на базе данных Департамента земельных ресурсов города Москвы, Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, Департамента имущества города Москвы, ГУП «МосгорБТИ» (Адресного реестра зданий и сооружений г. Москвы), а также данных других городских организаций. Все вышепе-

речисленные структуры отвечают за актуальность базового раздела и обновляют его части самостоятельно. Базовый и дополнительный разделы ИС РЕОН формируются на основании запросов органам исполнительной власти и городским организациям.

Таким образом, информационное взаимодействие между органами исполнительной власти Москвы и городскими организациями, а также объединение больших объемов данных позволяют решать совместные пространственно-аналитические задачи, касающиеся территории Москвы.

В статье проиллюстрирован пример решения плановой пространственно-аналитической задачи территориального управления по построению балансов земель, связанной с инвентаризацией зданий, строений и сооружений. В рамках этой задачи Департаментом земельных ресурсов города Москвы и ГУП МосгорБТИ были сформированы балансы земель по различным критериям в границах кадастрового квартала, полученные в результате проведения геопространственного анализа на базе интегрированных данных ИС РЕОН. В качестве критериев были выбраны: степень и виды застроенности территорий, соответствие цели использования земельных участков раз-

решенному виду использования, возможность оформления земельно-правовых отношений.

Возможно составление следующих балансов земель.

1. Баланс земель по критерию сформированности земельных участков. (рис. 1):

сформированные земельные участки (ЗУ);
территория, на которой предусмотрено формирование ЗУ с дальнейшей постановкой на кадастровый учет;

территория, на которой не предусмотрено формирование ЗУ;

2. Баланс земель по критерию оформленности прав на землю:

земельные участки с оформленными земельно-правовыми отношениями;



Рис. 1. Баланс земель по критерию сформированности земельных участков:

- сформированные земельные участки;
- территория, подлежащая формированию;
- территория, не подлежащая формированию;
- свободная от земельных участков территория;
- границы кадастрового квартала

Количество ЗУ	Площадь, м ²	Площадь, %
49	338095,5*	88,17
1	658,4	0,17
2	36545,6	9,53
	8143,0	2,12
	383442,5	100,00

*Площадь сформированных земельных участков, включая территорию, расположенную вне квартала — 376182,1 м²

земельные участки, земельно-правовые отношения на которые не оформлены.

3. Баланс земель в разрезе функционального назначения (рис. 2).

Вышеуказанные балансы земель построены с применением технических средств, включая ИС РЕОН, при помощи стандартных возможностей платформы ArcGis 9.3.

Рассмотрим процесс составления баланса. На начальной стадии в ArcMap была создана рабочая среда, в которую из ИС РЕОН подгружались базовые векторные слои г. Москвы: границы Москвы, границы кадастровых кварталов, все земельные участки, здания и сооружения и улично-дорожная сеть. Для баланса 1



Рис. 2. Баланс земель в разрезе функционального назначения:

- земельные участки (ЗУ) под объекты торговли;
- ЗУ под административные здания;
- ЗУ транспортной инфраструктуры;
- ЗУ учреждения образования и здравоохранения;
- ЗУ объекты религиозного и культурного назначения;
- ЗУ под объекты иного назначения;
- свободная от земельных участков территория;
- границы кадастрового квартала

Количество ЗУ	Площадь, м ²	Площадь, %
17	8000,0*	2,09
4	5663,6	1,48
11	59750,2	15,58
5	61159,3	15,95
10	190197,9*	49,60
5	19625,3	5,12
	33883,0	8,84
	383442,5	100,00

*Площадь земельных участков, включая территорию, расположенную вне квартала — 228281,6 м²

с помощью инструментов пространственной селекции из слоя всех ЗУ г. Москвы были выбраны ЗУ, попадающие и пересекающиеся с интересующим кадастровым кварталом; а при помощи инструментов атрибутивной селекции – сформированные земельные участки, то есть только ЗУ, поставленные на кадастровый учет (КУ). Аналогичные процедуры проводились и для баланса 2. В дальнейшем для получения количественных характеристик посредством инструментов обработки гео-данных ArcToolbox производился подсчет количества ЗУ согласно выбранному критерию, а также вычисление их графических площадей.

В балансе 3 был составлен обобщенный классификатор видов функционального назначения на основе Приказа Минэкономразвития РФ «Об утверждении Методических указаний по государственной кадастровой оценке земель населенных пунктов» [3] и Постановления Правительства Москвы «Об утверждении Перечня видов разрешенного использования земельных участков и объектов капитального строительства в городе Москве» [4]. В зависимости от поставленных задач для проведения работ по инвентаризации объектов недвижимости возможно дальнейшее, более детальное предметное развитие данного классификатора. В ходе формирования баланса 3 анализирова-

лись не только графические данные, но и подробная семантическая информация по зданиям и земельным участкам.

ИС РЕОН по своей эффективности не уступает многим современным ГИС-решениям и является удобным средством для анализа больших объемов пространственных данных [2]. В дальнейшем система позволит интегрировать новые информационные ресурсы и решать различные пространственно-аналитические задачи территориального управления, что становится особенно актуальным в условиях интенсивного расширения границ мегаполиса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дамурчиев В.Н., Ракунов С.В., Радионова Т.А., Кожухов А.В. ИС РЕОН – современный подход к интеграции информационных ресурсов // ArcReview. – М.: Дата+, 2009. – №3.
2. Андреева А.Ю., Кудинова А.В. Вопросы использования отраслевой информационной системы в составе единого геоинформационного пространства города Москвы // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2012. – №4. – С. 93–97.
3. Приказ Минэкономразвития РФ от 15.02.2007 № 39 «Об утверждении Методических указаний по государственной кадастровой оценке земель населенных пунктов».
4. Постановление Правительства Москвы от 25.05.2011 № 228-ПП «Об утверждении Перечня видов разрешенного использования земельных участков и объектов капитального строительства в городе Москве».

*Поступила 11 сентября 2012 г.
Рекомендована кафедрой кадастра
и основ земельного права МИИГАиК*

АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕОРИИ ГРАФОВ

Член-корр. РАН **В.П. Савиных**, профессор, доктор техн. наук **И.Ю. Васютинский**,
доцент, кандидат эконом. наук **Е.С. Якушова**

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: yes-miigaik@mail.ru

Аннотация. Организация как открытая система, ориентированная на самосохранение, вынуждена корректировать свои внутренние параметры в соответствии с изменениями внешней среды. Неотъемлемым атрибутом любой системы является структура, которая характеризует взаимосвязь между составляющими её элементами. Статья посвящена комплексному анализу организационной структуры компании «НАТЕКС» на основе методологии теории графов, что позволило авторам разработать практические рекомендации по её совершенствованию.

Ключевые слова: организационная структура, теория графов, структурная компактность

Abstract. An organization being an open system is focused on self-preservation, it has to adjust its internal parameters in response to changes of external environment. The structure is an essential attribute of any system, it characterizes the correlation between the constituent elements. The article is devoted to comprehensive analysis of the organizational structure of «NATEX» company with the use of graph theory, that enabled the authors to develop practical recommendations for its improvement.

Keywords: organization structure, graph theory, structural compactness

В настоящее время в условиях жесткой конкуренции предприятиям необходимо постоянно развиваться, чтобы адаптировать-

ся к внутренним и внешним изменениям. Оргструктура является одним из важных элементов конкурентного потенциала предпри-

ятия, т.к. от эффективности структуры зависят качество коммуникаций и скорость принятия решений. И хотя проблема совершенствования оргструктуры является актуальной для всех предприятий вне зависимости от их отраслевой и/или национальной принадлежности, до сих пор отсутствуют единые формальные критерии и методы анализа организационной структуры. В данной работе представлена попытка проведения комплексного анализа структуры предприятия с применением теории графов и табличного метода.

Содержание методики рассмотрим на примере организационной структуры Научно-технического центра «НАТЕКС», штат сотрудников которого насчитывает 200 человек. Компания «НАТЕКС» разрабатывает и производит широкий спектр оборудования для сетей телефонной связи и передачи данных (рис. 1).

Предварительный анализ показывает, что на предприятии применена линейно-функциональная структура управления. Для проведения дальнейшего анализа представим оргструктуру в виде графа $G = \{X, U\}$, где X — множество вершин, соответствующее множеству структурных элементов; U — множество ребер, соответствующее множеству связей между

структурными элементами предприятия [1].

Для описания графа G построим матрицу смежности, которая для неориентированного графа имеет вид $A = \|a_{ij}\|$, где a_{ij} — элементы матрицы смежности, определяемые следующим образом:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{— при наличии связи} \\ & \text{между элементами } i \text{ и } j; \\ 0 & \text{— при отсутствии связи.} \end{cases} \quad (1)$$

1. По матрице смежности определим ранг каждого элемента

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij}} = \frac{\rho_i}{\sum_{i=1}^n \rho_i}. \quad (2)$$

В компании «НАТЕКС» наиболее высокий ранг (0,2) имеют первый и восьмой элементы структуры. Это генеральный директор и его заместитель.

2. Определим неравномерность распределения связей E . Данный показатель характеризует недоиспользование возможностей данной структуры, имеющей m ребер и n вершин, в достижении максимальной связности.

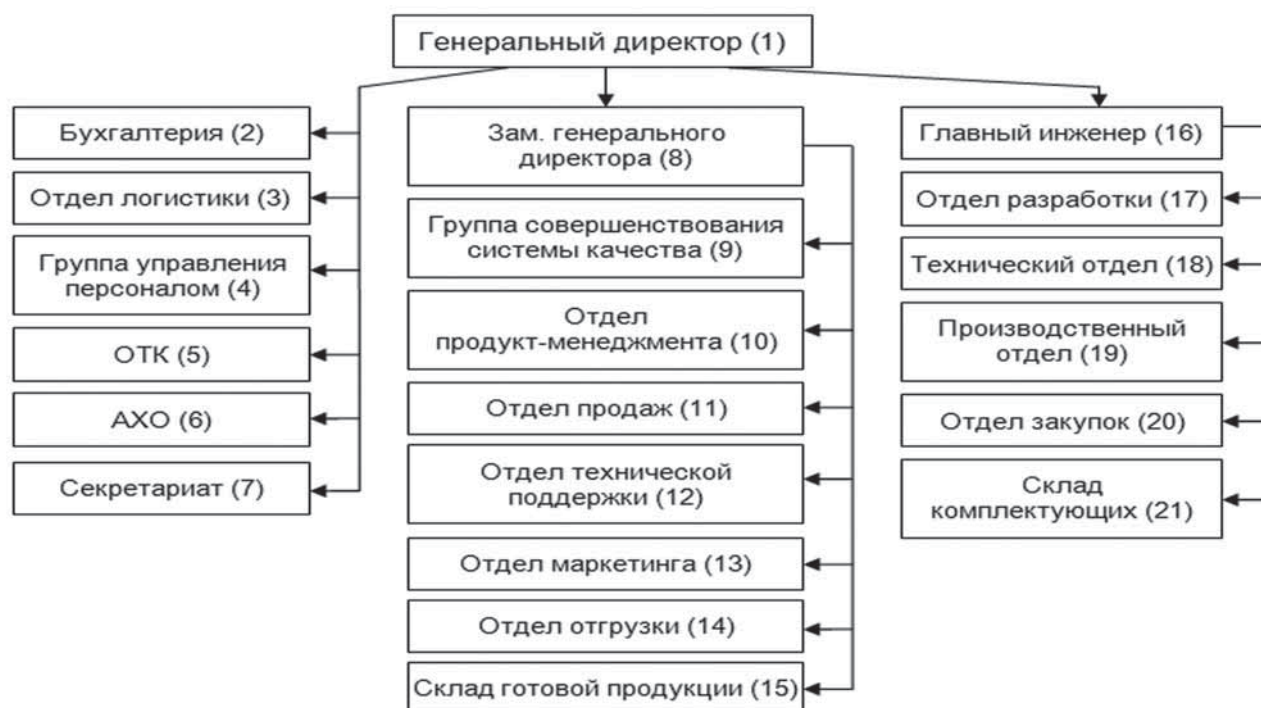


Рис. 1. Организационная структура НТЦ «НАТЕКС»

Величина E определяется по формуле

$$E = \sqrt{\sum_{i=1}^n \rho_i^2 - \frac{4m^2}{n}}, \quad (3)$$

где $\rho_i = \sum_{j=1}^n a_{ij}$ — вес i -го элемента или количество связей i -го элемента со всеми остальными.

Для нашего случая $E = 9,89$.

Однако для сравнения различных структур по неравномерности связей используют относительную величину

$$E_{\text{отн}} = E/E_{\text{max}}, \quad (4)$$

где E_{max} — максимальное значение неравномерности связей, которое достигается в системе, имеющей максимально возможное число вершин, имеющих одну связь.

Величину E_{max} определяют по формуле

$$E_{\text{max}} = \sqrt{\frac{1}{4}(x^2 - 2y - 3x)^2 - 1 + 2y(y+1) + n(n-1) - \frac{4m^2}{n}}, \quad (5)$$

где $y = m - n$; $x = \frac{-1 + \sqrt{8y+9}}{2}$.

Для нашего случая $y = -1$; $x = 0$; тогда $E_{\text{max}} = 18,54$, а $E_{\text{отн}} = 0,53$.

Величина $E_{\text{отн}}$ для различных типов структур изменяется от 0 (для структур с равномерным распределением связей) до 1. В компании «НАТЕКС» распределение связей в структуре довольно равномерное.

3. Определим структурную компактность оргструктуры Q , которая отражает общую структурную близость элементов между собой. Для этого используем формулу [2]

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij}, \quad i \neq j, \quad (6)$$

где d_{ij} — расстояние от элемента i до элемента j , то есть минимальное число связей, соединяющих элементы i и j .

Для определения величины общей структурной компактности построим матрицу расстояний $D = \|d_{ij}\|$. По таблице определяем $Q = 1144$.

Однако для количественной оценки структурной компактности и возможности объективного сравнения различных организационных структур, чаще используют относительный показатель — $Q_{\text{отн}}$, определяемый по формуле

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{min}}} - 1, \quad (7)$$

где $Q_{\text{min}} = n(n-1)$ — минимальное значение компактности для структуры типа «полный граф» (каждый элемент соединен с каждым). Для нашей структуры $Q_{\text{min}} = 420$. Тогда $Q_{\text{отн}} = 2,72$.

Структурную компактность можно характеризовать и другим параметром — диаметром структуры: $d = \max d_{ij}$, равным максимальному значению расстояния d_{ij} в матрице расстояний. Для нашей структуры $d = 5$.

С увеличением $Q_{\text{отн}}$ и d увеличиваются средние временные задержки при обмене информацией между подразделениями, так как каждый элемент тратит время на обработку информации и передачу ее дальше, что вызывает снижение оперативности структуры. С этой точки зрения структура исследуемого предприятия имеет оперативность среднего уровня (максимальную оперативность имеет полный граф, у которого $Q_{\text{отн}} = 0$, а $d = 1$).

4. Для определения степени централизации системы управления используется показатель центральности структурного элемента Z_i , который характеризует степень удаленности i -го элемента от других элементов структуры. Данный показатель рассчитывается по следующей формуле [3]:

$$Z_i = \frac{Q}{2 \sum_{j=1}^n d_{ij}}. \quad (8)$$

Чем меньше удален i -й элемент от других, тем больше его центральность и тем большее количество связей осуществляется через него. В компании «НАТЕКС» центральным является первый элемент (генеральный директор), для которого $\sum d_{ij} = \min$, то есть он обладает максимальным коэффициентом центральности $Z_{\text{max}} = 17,33$.

Степень центральности в структуре в целом может быть охарактеризована индексом центральности:

$$\delta = \frac{(n-1)(2Z_{\text{max}} - n)}{(n-2)Z_{\text{max}}} = 0,83. \quad (9)$$

Значение степени центральности находится в диапазоне $1 \geq \delta \geq 0$, при этом для структур с равномерным распределением связей $\delta = 0$, для структур, имеющих максимальную степень централизации $\delta = 1$.

Для нашего случая, высокое значение степени центральности структуры ($\delta = 0,83$) предъ-

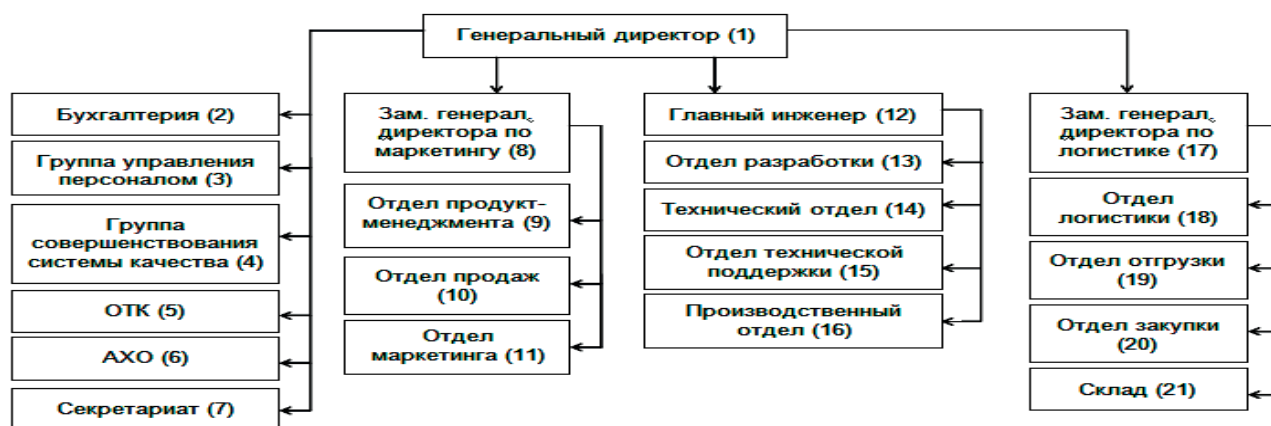


Рис. 2. Усовершенствованная организационная структура НТЦ «НАТЕКС»

являет высокие требования к пропускной способности центра (элемент 1), через который устанавливается большое число связей по приему и переработке информации и надежности его функционирования, так как отказ центрального элемента ведет к полному разрушению структуры. Следовательно, целесообразно продумать меры по дублированию центрального элемента для повышения надежности структуры организации.

Для более детальной диагностики оргструктуры формализованный графоаналитический анализ целесообразно дополнить составлением Таблиц ответственности и Таблиц информационного обмена. Таблица ответственности представляет собой таблицу, где в строках перечисляют бизнес-процессы, а в графах — структурные подразделения. Эта таблица составляется на основе изучения внутренних организационных документов. Информация для формирования таблиц информационного обмена собирается в ходе специализированного анкетного опроса. Опросный лист позволяет оценить в баллах степень интенсивности информационного обмена каждого подразделения со всеми остальными. Сопоставление этих двух видов таблиц позволяет выявлять проблемные и перспективные места во внутрифирменных коммуникациях.

По результатам проведенного анализа организационной структуры компании «НАТЕКС» были сформулированы рекомендации по её совершенствованию.

1. Группа совершенствования системы качества должна перейти под непосредственное управление генерального директора, чтобы исключить конфронтации между заместителем директора и главным инженером.

2. Отдел технической поддержки целесо-

образно перевести в ведение Технического отдела, чтобы более оперативно и квалифицированно решать проблемы клиентов. Кроме того, это позволит «технарям» выявлять наиболее типичные проблемы, связанные с оборудованием и его эксплуатацией.

3. Целесообразно создать отдельное направление по вопросам логистики, в которое объединить отдел логистики, отдел отгрузки и отдел закупок. Таким образом удастся оптимизировать издержки транспортировки и хранения готовой продукции и комплектующих. Кроме того, это упростит процесс взаимодействия между отделом отгрузки, отделом закупок и отделом логистики.

Вариант усовершенствованной организационной структуры компании «НАТЕКС» представлен на рис. 2.

В заключение отметим, что совершенствование оргструктуры — это не самоцель, а один из инструментов повышения эффективности деятельности предприятия. Поэтому критерием эффективности при сравнении различных вариантов организационной структуры служит возможность наиболее полного и устойчивого достижения конечных целей системы управления при относительно меньших затратах на ее функционирование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Григан А.М. Исследование систем управления: методические указания. — Ростов н/Д: Ростовский государственный университет, 2006.
2. Экономико-математические методы и модели / Кол. авторов; под ред. С.И. Макарова. — М.: КНОРУС, 2009.
3. Мишин В.М. Исследование систем управления. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2010.

Поступила 31 мая 2012 г.
Рекомендована кафедрой экономики
и предпринимательства МИИГАиК

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

МНОВОВОЛНОВЫЙ ЛИДАР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ
АТМОСФЕРНОГО АЭРОЗОЛЯ

Аспирант Н.Н. Волков

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: nn-volkov@yandex.ru

Аннотация. Проводится оценка характеристик лидара на основе Nd:YAG лазера с генератором третьей гармоники, требуемых для проведения зондирования с использованием упругого (рэлеевского) и неупругого (рамановского) рассеяния в диапазоне высот 1 – 10 км.

Ключевые слова: аэрозоль, лидар, рамановское рассеяние

Abstract. The paper provides description of lidar configuration for simultaneous measurements of aerosol extinction and backscattering coefficients at several wavelengths in 355 and 1064 nm spectral range. Computation of main lidar parameters such as laser power, telescope aperture, spatial and temporal resolution of the measurement at heights up to 10 km is described.

Keywords: aerosol, lidar, Raman scattering

Введение. Увеличение количества антропогенных аэрозольных выбросов в атмосферу, повышение концентрации CO_2 и других парниковых газов оказывает воздействие на радиационный баланс планеты, и, как следствие, на её климат. Следует отметить, что среди перечисленных факторов воздействие аэрозоля на радиационный баланс изучено в наименьшей степени. Воздействие атмосферного аэрозоля на радиационный баланс Земли двояко. Во-первых, аэрозоль влияет на радиационный баланс путём рассеяния и поглощения солнечной радиации (прямое воздействие). Во-вторых, это влияние происходит за счёт модификации свойств облаков (косвенное воздействие). Для уменьшения погрешностей в климатических моделях необходима глобальная информация об основных микрофизических параметрах аэрозоля, таких как радиус частиц, концентрация и комплексный показатель преломления.

Одними из наиболее перспективных инструментов, способных дистанционно проводить измерения параметров частиц являются лидары. Малая длина волны излучения, сопоставимая с размером аэрозолей, и высокое пространственное разрешение делают лидары уникальным инструментом для исследования

аэрозолей и облаков. Возможности метода значительно расширяются при проведении зондирования одновременно на нескольких длинах волн, а также при одновременном измерении сигналов упругого рассеяния и рамановского рассеяния азота [1]. Теоретические и экспериментальные исследования последних лет показывают, что наиболее удобными с практической точки зрения являются лидары на основе Nd:YAG лазера с генератором третьей гармоники. Такая система позволяет измерять три коэффициента обратного рассеяния β на длинах волн 355; 532; 1064 нм и два коэффициента экстинкции α на длинах волн 355; 532 нм. Вычисление коэффициентов экстинкции может быть проведено с использованием рамановского рассеяния на молекулах азота [2], высотное распределение плотности которого предполагается известным. Рамановские компоненты азота для второй и третьей гармоники Nd:YAG соответствуют длинам волн 608 и 387 нм. Детальное описание процедуры расчета коэффициентов β и α по сигналам упругого и рамановского рассеяния приведено в работе [2]. Измеренные коэффициенты обратного рассеяния и экстинкции аэрозоля могут быть инвертированы в микрофизические параметры

частиц путем решения обратной задачи зондирования [1].

Цель данной работы — оценка параметров многоволнового лидара, предназначенного для исследования различного типа аэрозолей: индустриального, пустынного и вулканического происхождения.

Оценка параметров лидарной системы.

Сечение рамановского рассеяния азота почти на три порядка меньше сечения рэлеевского рассеяния [3], поэтому для надежной регистрации рамановского сигнала в нижней тропосфере необходимо использовать мощные лазерные источники излучения и приемные телескопы значительной апертуры. Одной из целей этой работы является оценка параметров лазера и системы регистрации, требуемых для создания многоволнового аэрозольного лидара.

Процесс детектирования рассеянного излучения описывается статистикой Пуассона, и погрешность измерения может быть оценена как $\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{N}}$, где N — количество зарегистрированных фотонов [3]. При измерении лидарного сигнала системой эта ошибка должна составлять не более 0,5%. Таким образом, из одного высотного слоя система должна регистрировать не менее $4 \cdot 10^4$ фотонов.

Количество детектируемых фотонов может быть оценено из лидарного уравнения [3]:

$$N = N_p \frac{N_L S \Delta z T \eta \beta}{z^2} e^{-2 \int_0^z \alpha(z) dz}, \quad (1)$$

где N — количество фотонов, принимаемых системой; N_p — количество усредненных лазерных импульсов; N_L — количество фотонов, излучаемых в атмосферу за один лазерный импульс; S — площадь приемного зеркала телескопа; z — дистанция зондирования; T — коэффициент пропускания оптической системы; η — квантовая эффективность фотоприемника.

Коэффициенты β и α являются суммой молекулярного и аэрозольного рассеяния излучения. В видимой и ультрафиолетовой спектральных областях аэрозольное рассеяние внутри пограничного слоя атмосферы, как правило, меньше молекулярного, поэтому все приведенные ниже расчеты проводились для молекулярного рассеяния.

Коэффициент обратного рассеяния моле-

кул определяется как $\beta = \sigma n_{\text{mol}}$, где σ — дифференциальное сечение рассеяния (рэлеевского либо рамановского); n_{mol} — концентрация молекул. Коэффициент молекулярной экстинкции α связан с коэффициентом обратного рассеяния как $\alpha = \frac{8\pi}{3}\beta$.

Задача, описываемая уравнением (1), является неопределенной, поскольку это уравнение содержит произведение неизвестных $N_p N_L S \Delta z$, а требуемое количество фотонов N может быть обеспечено как за счет увеличения энергии лазера, так и за счет увеличения апертуры телескопа, либо же за счет увеличения толщины слоя Δz (ухудшения высотного разрешения) или времени накопления.

При выборе параметров системы должны приниматься во внимание такие факторы как стоимость, габариты, энергопотребление. В наших расчетах апертура телескопа принималась равной 400 мм. Использование телескопов большей апертуры приводит к усложнению и удорожанию системы. Высотное разрешение $\Delta z = 100$ м позволяет профилировать аэрозольный состав атмосферы и является достаточным для большинства климатологических задач. Максимальная высота H зондирования предполагалась равной 10 км. Энергия излучения составляла 100 мДж на каждой длине волны. Результаты расчетов могут быть легко пересчитаны для любых других параметров системы.

Расчетные лидарные сигналы, обусловленные молекулярным рассеянием длин волн 355; 532; 1064 нм показаны на рис.1.

Результаты расчетов количества зарегистрированных фотонов за один лазерный импульс и соответствующие частоты счета фотонов, принимаемых системой на высотах 1 и 10 км, приведены в таблице. Частота счета ν связана с количеством фотонов N как $\nu = \frac{N}{2\Delta z/c}$.

При выборе параметров системы следует рассматривать сигнал рамановского рассеяния, как наиболее слабый. Из таблицы можно заключить, что на 10 км на длине волны 608 нм регистрируется один фотон за импульс с высоты 10 км, то есть для обеспечения требуемой точности измерения должны проводиться в те-

чение 30 мин (при частоте повторения импульсов лазера 20 Гц). Такое временное разрешение достаточно для отслеживания временной эволюции вертикального распределения аэрозоля.

Помимо количества фотонов, определяемых по формуле (1), при выборе параметров системы необходимо учитывать динамический диапазон изменения лидарного сигнала (который для современных систем регистрации составляет четыре–пять порядков), а также максимальную и минимальную частоту счета фотонов фотодетектором. Лучшие фотоумножители (позволяющие проводить одновременное детектирование в аналоговом режиме и в режиме счета фотонов) надежно работают в диапазоне частот счета 10^3 – 10^2 МГц. На высоте 10 км скорость счета составляет 1,5 МГц для 608 нм, что достаточно для проведения надежных измерений (типичная шумовая частота счета фотонов составляет порядка 1 КГц). С уменьшением высоты частота счета растет и на 1 км она достигает $1,6 \cdot 10^3$ МГц для 387 нм. Следует отметить, что в расчетах не рассматривалось влияние атмосферного аэрозоля. При типичных величинах экстинкции в пограничном слое атмосферы это может приводить к двукратному уменьшению сигнала. Таким образом, скорости счета фотонов в рамановских каналах соответствуют характеристикам детектора. В то же время рэлеевский сигнал на три порядка превосходит рамановский, поэтому для проведения измерений в рэлеевские каналы (каналы упругого рассеяния) должны быть введены ослабляющие фильтры с коэффициентами ослабления от 100 до 1000.

В расчетах не рассматривался геометрический фактор перекрытия, характеризующий высоту, на которой лазерный пучок полностью входит в угловое поле телескопа. Для коаксиальной конфигурации лидара с апертурой телескопа 400 мм с угловым полем зрения 0,5 мрад и расходимостью лазерного пучка 0,1 мрад эта

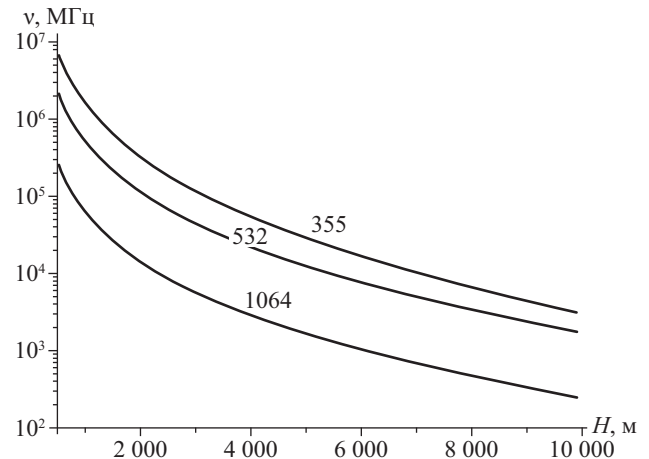


Рис. 1. Зависимость частоты счета детектора от высоты зондирования для молекулярного рассеяния на длинах волн 355, 532 и 1064 нм

высота составляет около 1 км. Таким образом, система позволяет производить измерения на высотах от 1 км.

Результаты дистанционного зондирования аэрозоля многоволновым рамановским лидаром. В соответствии с приведёнными в предыдущем разделе параметрами системы в Центре физического приборостроения института общей физики РАН была создана многоволновая лидарная система, так называемой $(3\beta + 2\alpha)$ конфигурации. Система использует приёмный телескоп с апертурой 400 мм, выполненный по схеме Ньютона. На телескопе установлен излучатель — Nd:YAG лазер Brilliant V, фирмы Quantel. Энергия на длинах волн 1064; 532; 355 нм составляет 200; 100; 100 мДж соответственно, при частоте повторения 10 Гц. Диаметр лазерного пучка, посылаемого в атмосферу, после коллимации составляет 50 мм. В фотоприёмном модуле оптические сигналы разделяются дихроичными зеркалами по соответствующим спектральным каналам. Сигналы выделяются узкополосными интерференционными фильтрами с шириной пропускания, варьирующей от 0,3 нм (для 355 нм) до 1 нм (для 1064 нм).

Параметры многоволновой аэрозольной лидарной системы

Длина волны приемного канала λ , нм	Тип рассеяния	Скорость счета фотонов v , МГц		Количество фотонов N	
		1 км	10 км	1 км	10 км
355	Рэлеевское	$1,62 \cdot 10^6$	$3,05 \cdot 10^3$	$10,81 \cdot 10^5$	$2,04 \cdot 10^3$
532		$0,50 \cdot 10^6$	$1,71 \cdot 10^3$	$3,35 \cdot 10^5$	$1,41 \cdot 10^3$
1064		$0,062 \cdot 10^6$	$0,24 \cdot 10^3$	$0,41 \cdot 10^5$	$0,16 \cdot 10^3$
387	Рамановское на N_2	$1,61 \cdot 10^3$	3,38	$10,74 \cdot 10^2$	2,26
608		$0,43 \cdot 10^3$	1,51	$2,87 \cdot 10^2$	1,01

На рис.2 приведены лидарные сигналы упругого рассеяния на длинах волн 532 и 355 нм, а также лидарные сигналы, обусловленные рамановским рассеянием азота на длинах волн 387 и 608 нм. Для иллюстрации на рис.2 приведены сигналы рассчитанные для молекулярного рассеяния. Основная масса аэрозоля сосредоточена внутри пограничного слоя на высотах до 3 км. На больших высотах преобладает молекулярное рассеяние, однако небольшой аэрозольный слой наблюдается также на высоте 6 км. Приведенные сигналы являются результатом «склеивания» сигналов, измеряемых в аналоговом режиме и в режиме счета фотонов. Как следствие, динамический диапазон системы регистрации составляет около шести порядков. В каналы упругого рассеяния введены нейтральные светофильтры с коэффициентом ослабления порядка 10^3 . Частота счета фотонов в рамановских каналах на 10 км согласуется с результатами, представленными в таблице. Несколько меньшие наблюдаемые скорости счета обусловлены поглощением аэрозоля, который в расчетах не учитывался.

Измеряемые на пяти длинах волн упругие и рамановские лидарные сигналы использовались для вычисления коэффициентов обратного рассеяния β и экстинкции аэрозоля. Вертикальные профили коэффициентов обратного рассеяния аэрозоля на длинах волн 1064; 532; 355 нм показаны на рис. 3. Для длин волн 355 и 532 нм расчеты проводились раманов-

ским методом [2], в то время как для 1064 нм использовался метод Клетта [4].

Как видно из рис.3, вклад аэрозольного рассеяния резко уменьшается на высотах выше 3,5 км, однако, чисто молекулярным рассеяние становится только на высоте около 8 км.

Вычисление коэффициента рамановским методом связано с вычислением производной от рамановского сигнала [3], что приводит к увеличению погрешности при малой концентрации аэрозоля. В рассматриваемом случае коэффициент экстинкции вычислялся до высоты 3 200 м. Полученные профили β и α инвертировались в микрофизические параметры аэрозоля, как это описано в [5].

Заключение. Проблема определения параметров лидарной системы является многопараметрической, и выбор конкретной конфигурации определяется спецификой поставленной задачи. В данной работе была проведена оценка параметров многоволнового рамановского лидара для мониторинга аэрозоля в высотном диапазоне 1–10 км. Проведенные оценки показывают, что для надежного детектирования сигнала рамановского рассеяния азота, достаточной является система с апертурой телескопа 400 мм при энергетике лазера не менее 100 мДж на длинах волн 355 и 532 нм. Для обеспечения требуемой точности на высоте 10 км измерение должно проводиться в течение ~ 30 мин (при частоте повторения импульсов лазера 20 Гц).

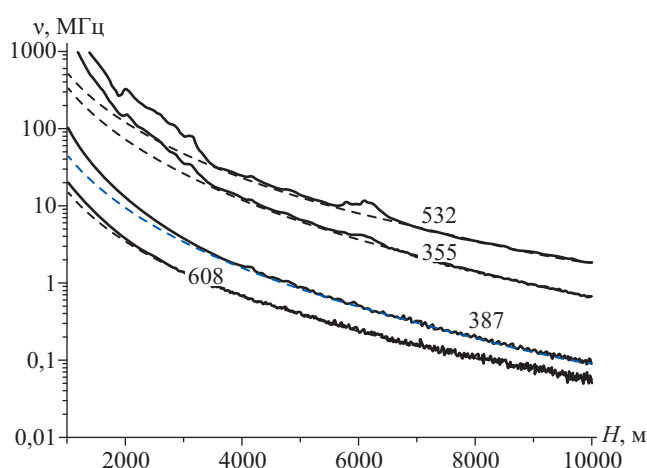


Рис. 2. Лидарные сигналы упругого рассеяния (355; 532 нм) и рамановского рассеяния азота (387; 608 нм) (штриховые линии показывают расчетные сигналы соответствующие молекулярному рассеянию)

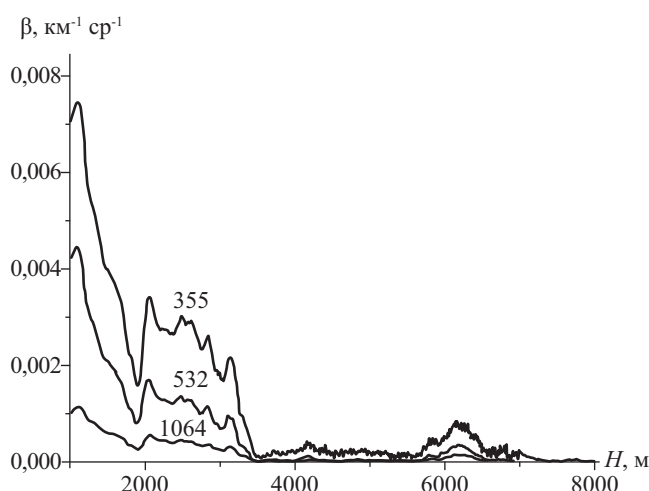


Рис. 3. Коэффициенты обратного рассеяния аэрозоля на длинах волн 355; 532; 1064 нм

Проведённые эксперименты подтвердили, эффективность предложенной системы при измерениях коэффициентов обратного рассеяния и экстинкции в требуемом диапазоне высот. Разработанная лидарная система может явиться прототипом серийного многоволнового лидара, для использования на метеорологических станциях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ansmann, A. and Müller, D.: Lidar and atmospheric aerosol particles, in "Lidar. Range-Resolved Optical Remote Sensing of the Atmosphere", Weitkamp, C. ed., Springer, New York, 2005, pp. 105–141.

2. Ansmann, A., Riebesell, M., Wandinger, U., Weitkamp, C., Voss, E., Lahmann, W., Michaelis, W.: Combined Raman elastic-backscatter lidar for vertical profiling of moisture, aerosols extinction, backscatter, and lidar ratio, Appl. Phys. B 55, 18–28, 1992.

3. Межерис Р. Лазерное дистанционное зондирование: Пер. с англ. – М: Мир, 1987. – 510 с.

4. Klett D., «Stable analytical inversion solution for processing lidar returns», Appl. Opt., 20, 211–220 (1981).

5. Veselovskii I., Kolgotin, A., Griaznov, V., Müller, D., Wandinger, U., Whiteman, D.: Inversion with regularization for the retrieval of tropospheric aerosol parameters from multi-wavelength lidar sounding, Appl. Opt. 41, 3685–3699, 2002.

Поступила 17 мая 2012 г.

Рекомендована кафедрой
оптико-электронных приборов МИИГАиК

КОНСТРУКЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ АППАРАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Профессор, кандидат техн. наук **Н.Н. Попов**¹, доцент, кандидат техн. наук **А.С. Филонов**¹, кандидат техн. наук **Г.А. Донцов**², инженер **А.В. Вурсол**², аспирант **Е.Ю. Родимкина**¹, аспирант **Д.С. Матвеев**¹

¹Московский государственный университет геодезии и картографии

²Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П. Королева

E-mail: mkhoroshev@miigaik.ru; Gennadiy.Doncov@rsce.ru

Аннотация. Представлен аналитический обзор современных типов, свойств и областей применения предполагаемых конструкционно-функциональных металлических и неметаллических материалов: сплавов с минимальным термическим коэффициентом линейного расширения; с высоким удельным электросопротивлением, проводниковые, коммутационные; с низкой температурой перехода в хрупкое состояние; магнитно-мягкие и магнитно-твердые; электротехнические контактные; с высокими упругими свойствами: коррозионностойкие; радиационно-стойкие неметаллические, предназначенные для деталей оптических модулей космических аппаратов дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: вакуум, хрупкость, радиация, чувствительный элемент, электросопротивление, электропроводность, коррозионная стойкость

Abstract. An analytical review of the modern types, properties and applications of the alleged constructional and functional metallic and nonmetallic materials is presented. It includes: alloys with minimal thermal linear expansion coefficient, high electrical resistivity, bridging, switching, low-temperature transition to the brittle state, soft-magnetic and magneto-solid; electrical contact, with high elastic properties: corrosion-, radiation-resistant non-metallic, designed for the details of optical modules of spacecrafts for remote sensing.

Keywords: vacuum, fragility, radiation, sensor, electrical resistivity, conductivity, resistance to corrosion

В МИИГАиК давно и успешно разрабатываются автоматические оптико-электронные системы дистанционного зондирования, в основном в целях выполнения высокоточных измерений в прикладной геодезии [1, 2].

Основные конструкционные материалы деталей и узлов оптических модулей (ОМ) космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), запущенных в последнее десятилетие и имеющих высокое разрешение в полосе захвата, благодаря достижениям отечественных и зарубежных рас-

четчиков, конструкторов и технологов крупногабаритных зеркально-линзовых систем, представлены в работе [3].

Помимо конструкционных материалов оптические модули КА ДЗЗ содержат конструкционно-функциональные материалы, которые, совместно с несущей способностью, обязательно отличаются особыми физико-химическими свойствами. Конструкционно-функциональные материалы обеспечивают функционирование нескольких десятков различных датчиков в ОМ. Датчиками называ-

ют преобразователи контролируемой величины в величину, удобную для дистанционной передачи и дальнейшей обработки, которые подразделяются на два основных класса: параметрические и генераторные, содержащие чувствительный элемент, первым воспринимающий измеряемую величину и преобразующий ее к виду, удобному для дальнейшей обработки [2]. Датчики могут входить в состав систем терморегулирования и термостабилизации, сжатия целевой информации, бортового запоминающего устройства и т. п.

Функциональными называются материалы деталей и узлов, которые не несут внешнюю рабочую нагрузку и для которых высокая несущая способность, удельная прочность и удельная жесткость не являются основными определяющими служебными параметрами. Функциональные материалы отличаются специальными свойствами, без которых вообще невозможно функционирование изделия, например ОМ, либо невозможно достижение необходимого качества и долговечности работы изделия или части изделия. Для длительной, качественной и надежной работы на космической орбите систем оптико-электронного наблюдения (СОЭН) функциональными материалами являются: оптические, некоторые неметаллические с минимальной потерей массы (ПМ) в вакууме, материалы с минимальным количеством летучих конденсирующихся веществ (ЛКВ), радиационностойкие, теплозащитные и т.п. Причем материалом, без которого не может принципиально функционировать СОЭН, являются оптические элементы такие как линзы, зеркала, призмы с отражающими, просветляющими, светоделительными и защитными покрытиями на основе традиционных оптических материалов, стеклокерамики, карбида кремния, бериллия, композиционных и других материалов.

Минимальный термический коэффициент линейного расширения, радиационная стойкость, хладостойкость, электропроводность или электроизоляция, теплозащитные свойства чаще всего обеспечиваются применением конструкционно-функциональных материалов, способных одновременно с несущей способностью, отличаться и вышеуказанными свойствами или достигаться тонкими поверхност-

ными покрытиями типа лаков, эмалей, красок и т.п.

В СОЭН успешно применяются сплавы железоникелевой системы химических элементов с минимальными значениями термического коэффициента линейного расширения (ТКЛР) инварного типа. Это основной базовый сплав — инвар марки 36Н (ГОСТ 10994-74), применяемый в виде прутка (ГОСТ 14082-75, ГОСТ 10160-75) с допускаемым интервалом рабочих температур эксплуатации СОЭН от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$. Сплав 36Н имеет ТКЛР $\alpha = 1,5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$ [4]. С той же целью может применяться сплав 32НКД — суперинвар, используемый в виде ленты (ГОСТ 14080-78) или прутка (ГОСТ 14082-78, ГОСТ 2590-88), работающий в том же интервале допустимых температур и имеющий после соответствующих термических обработок значение ТКЛР $\alpha = 0,5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$ и даже отрицательное значение при нагреве. Для обеспечения вакуумно-плотных спаев со стеклом применяют сплав 29НК (Н29К18), называемый коваром (ГОСТ 10994-74), в виде прутка (ГОСТ 14082-78, ГОСТ 10160-75) или в виде ленты (ГОСТ 140-80-78).

Тепловое регулирование внутри негерметизированного объема конструкции СОЭН осуществляется при помощи многочисленных локальных зон подогрева электротехническими нагревателями сопротивления с допустимым температурным интервалом эксплуатации в системе от -90 до $+150^{\circ}\text{C}$ из нихромовой проволоки марок Х20Н80-Н (ГОСТ 19994-74) и Х20Н80-ВН (ГОСТ 2771-81), имеющих высокое удельное электросопротивление на уровне $1,03\text{--}1,16$ Ом $\cdot$ мм 2 /м и применяющиеся в технике, как жаростойкие сплавы нагревательных элементов с предельной рабочей температурой не более 1200°C [5,6].

Широко применяемые в конструкциях СОЭН конструкционные алюминиевые, титановые сплавы и полимерные композиционные материалы [3] имеют температуру перехода в хрупкое состояние существенно более низкую, чем -170°C . Для оценки работоспособности сплавов при пониженных температурах используют ударные испытания образцов с определением порога хладоломкости T [4, 7]. Порог хладоломкости — температура, при которой ударная вязкость снижается таким об-

разом, что в изломе образца присутствует не более 50% хрупкой составляющей. Для характеристики сопротивления материала ударному нагружению используют величину удельной работы разрушения при ударном изгибе. В зависимости от формы надреза (U -образной или Y -образной) призматических образцов, испытываемых на удар, ударная вязкость характеризуется параметрами КСУ, КСУ или КСТ (Y -образный надрез с нанесенной усталостной трещиной). Перечисленные параметры относятся к критериям надежности материала наряду с относительным удлинением ($\delta, \%$) и относительным или поперечным сужением ($\psi, \%$). Металлы и сплавы с гранцентрированной кубической решеткой, а также титан и его сплавы с гексагональной плотноупакованной решеткой, широко применяемые в качестве деталей СОЭН, не имеют порога хладоломкости. При охлаждении у них ударная вязкость уменьшается монотонно. Хладостойкость таких материалов оценивается температурой, при которой ударная вязкость составляет не менее $0,3 \text{ МДж/м}^2 - T_{\text{КСУ}} = 0,3$.

Т а б л и ц а 1

Граничная температура надежной работы материала без дополнительной обработки [8]

№ п/п	Материал	Температура надежной работы, °С
1	Высокоазотистые аустенитные стали типа ОЗХ13АГ19, хромоникелевая 12Х18Н10Т	–130 –253
2	Инвар 36Н	–269
3	Сплавы алюминия АМг№, АМц№ /однофазные/ дюралюмины, высокопрочные	–253 ÷ –269 –196
4	Титановые сплавы однофазные ВТ5-1 двухфазные ВТ3-1	–253 –196
5	Медь: М1, М2, М3 Медные сплавы: БрАЖН 10-4-4 Л63 БрБ2	–269 –196 –253 –269

В качестве конструктивно-функциональных материалов деталей СОЭН могут работать магнитно-мягкие, магнитно-твердые, а также магнитнострикционные материалы [4,5]. Магнитно-твердые материалы применяются, в основном, для постоянных магнитов, а магнитно-мягкие для изготовления сердечников реле,

трансформаторов, роторов и статоров электродвигателей и других деталей, работающих в условиях знакопеременных магнитных полей. В случае образования в сплавах между химическими элементами кристаллографических фаз, называемых твердыми растворами, магнитная твердость, т.е. величина коэрцитивной силы, повышается незначительно. При увеличении степени легированности сплавов выше определенного уровня при образовании избыточных фаз и гетерогенных систем, коэрцитивная сила резко увеличивается, что вызывается напряжениями в кристаллической решетке сплавов. Это одновременно увеличивает значения параметров прочности материала, поэтому основным видом термообработки магнитно-твердых материалов является закалка, а магнитно-мягких материалов — гомогенизация, т.е. длительный высокотемпературный отжиг [4].

Базовым магнитно-твердым сплавом, применявшимся в большинстве изделий и программ космического назначения, включая орбитальную космическую станцию «Мир», являлся литейный сплав системы алюминий–никель–кобальт–железо с медью, ниобием и титаном — ЮНДК35Т5БА (ГОСТ 17809-72). Сплав подвергался термомагнитной обработке, состоящей в высокотемпературном нагреве с последующим охлаждением в магнитном поле, приложенном вдоль рабочего направления формы магнита и обязательным отпускком. Такие магниты всегда имеют сильную анизотропию магнитных параметров и направленную столбчатую кристаллическую структуру. Изготавливаются специальными методами литья в сухие песчаные и скорлупчатые оболочковые формы, либо по выплавляемым моделям с минимумом последующей механической обработки, допускающей только шлифование, причем усадка сплава составляет 2–3% [5]. Применялся сплав в допустимом интервале температур при эксплуатации в КА от –60 до +100°С. Основной областью применения сплава являлись магниты для измерительных приборов, автоматических и акустических устройств, поляризованные реле, магнето, электрических машин, магнитных муфт, опор и тормозов [5].

Если принять значение коэрцитивной силы вышеуказанного сплава типа «Алнико» за единицу, то ферриты и платино-кобальтовые

материалы постоянных магнитов имеют в три-четыре раза более высокие значения и в пять-десять раз их превосходят постоянные магниты на основе интерметаллидов самария с кобальтом при стехиометрическом соотношении 1:5 и 2:17 — SmCo_5 и $\text{Sm}_2\text{RCo}_{17}$. Интерметаллиды на основе редкоземельных металлов (РЗМ) с кобальтом к настоящему времени вытеснили традиционные магнитно-твердые материалы. Новые материалы со значением энергетического произведения более 160 кДж/м^3 называются высокоэнергетическими или закритическими, причем, в 14–15 раз более высокие значения коэрцитивной силы по сравнению со сплавами типа «Алнико» имеют магнитно-твердые материалы на основе системы химических элементов неодим–железо–бор и интерметаллиды состава $\text{Sm}_{1-x}\text{R}_x\text{Co}_5$ [9–11]. Закритические материалы имеют ярко выраженную кристаллическую анизотропию магнитных свойств. Температура Кюри изменяется в интервале 300–1200 К. Имеют тетрагональную или гексагональную одноосную атомно-кристаллическую структуру с различными параметрами ячейки, что позволяет производить строго ориентированное направление намагничивания. Закритические материалы имеют атомно-кристаллическую ориентацию магнитных моментов атомов, размеры которых намного меньше размеров доменов, что позволяет более строго производить ориентировку направления намагничивания деталей. Магниты из интерметаллидов РЗМ с кобальтом имеют гораздо меньшие размеры, что приводит к уменьшению размеров полюсных наконечников, сердечников и, соответственно, к снижению материалоемкости прибора или аппарата. Одним из способов производства таких постоянных магнитов является охлаждение жидкого расплава с высокими скоростями, что приводит к образованию металлического аморфного состояния. К положительным свойствам новых интерметаллидных соединений для создания постоянных магнитов относятся: характерная кривая размагничивания с коленом, находящимся в третьем квадранте; более высокие значения твердости, меньшие значения ТКЛР, стабильность сохранения магнитных свойств до 10 лет службы; термическая стабильность магнитных параметров при нагреве на 200°C

уменьшается на 2,2–3% от свойств, соответствующих температуре 25°C . Постоянные магниты на основе РЗМ с кобальтом применяются в качестве активных и пассивных радиальных, радиально-упорных и упорных подшипников, муфт, демпферов и подвесок, имеющих нулевые значения трения в вакууме, не требующие смазки в течение всего периода эксплуатации и бесшумные в работе.

Большинство изделий отечественных космических программ, включая орбитальный комплекс «Мир», содержат сильноточные и слаботочные магнитно-мягкие материалы. В области сильного тока применяются электротехнические стали — изотропная динамная, содержащая до 2% кремния, и анизотропная трансформаторная, содержащая кремний в количестве 3–4% [5]. Динамные стали марок 10880 (Э10), 20880 (Э10), 20895 (Э12), 10895-Б (Э12) по ГОСТ 11036-75 применяются в виде прутка — ГОСТ 2590-88 и листа — ГОСТ 3836-83. Трансформаторные стали, детали из которых изготавливаются вырубкой: 3411 (Э310), 1512 (Э42), 1521 (Э44), 3422 (Э350), производимые по ГОСТ 21427.1-75, используется также аморфная железо-никелевая лента по ГОСТ 10994-74. Все вышеуказанные материалы имеют допустимый интервал эксплуатационных температур в КА от -60 до $+100^\circ\text{C}$.

Сплавы с высокой проницаемостью в слабых полях подробно рассмотрены в работе [5]. Они применяются для магнитных экранов, усилителей, особо чувствительных реле, высокочастотных и измерительных трансформаторов повышенных классов точности. По технологическому признаку они разделяются на деформируемые и литейные: пермаллой и альсиферы. В качестве деталей КА применяются низко- и высоконикелевые пермаллой марок: 79НМ — ГОСТ 10994-74 в виде прутков, листа — ГОСТ 10160-75 и проволоки — ГОСТ 10994-74, подвергающиеся термообработке, сварке, допускающие гибку, вырубку и имеющие высокую коррозионную стойкость (группа А); 50Н — ГОСТ 10994-74, имеющий повышенную магнитную проницаемость и повышенную индукцию насыщения; 50НП в виде листа (ГОСТ 10160-75), имеющий прямоугольную петлю гистерезиса и отличающийся анизотропией магнитных свойств, допускающий сварку,

вырубку, гибку; 16Х (ГОСТ 10994-74) в виде прутка (ГОСТ 10160-75), имеющий высокую коррозионную стойкость и подвергающийся термообработке; 49КФ и 49К2Ф, имеющие высокую магнитную индукцию насыщения и подвергающийся термообработке; 77НМД – в виде микроленты по ТУ 14-1-1306-75, подвергающийся термообработке и имеющий прямоугольную петлю гистерезиса (допустимый рабочий температурный интервал в качестве деталей КА от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$).

В этом же допустимом температурном интервале рекомендуются электротехнические контактные материалы или материалы покрытий на высокочистые (ювенильные) поверхности трущихся деталей в условиях вакуума – это драгоценные металлы и сплавы на их основе, детали из которых могут производиться вырубкой: палладий-иридиевая (ГОСТ 13463-79) проволока (ГОСТ 18390-73) марок ПДИ-10, 18, 40; серебряные марки Ср999 (ГОСТ 6836-2002) и Ср М500 полоса (ГОСТ 7221-80) и проволока (ГОСТ 7222-75). Для работы в интервале допустимых рабочих температур от -60 до $+1000^{\circ}\text{C}$ рекомендуются драгоценные металлы, детали из которых производятся, в основном, вырубкой: золото (Зл.999,9) по ГОСТ 6835-2002, проволока по ГОСТ 7222-75; платина Пл.99,9, Пл.И-10 по ГОСТ 13498-79, проволока (ГОСТ 18389-73), полоса (ГОСТ 13462-79) и полоса (ГОСТ 24718-81).

Основным проводниковым материалом космической техники для коммутационных деталей (кабели, разъемы, клеммы и пр.) является медь и медные сплавы: М1, М2, ММ, М2Т — ГОСТ 859-2001 в виде листа — ГОСТ 495-92, прутка — ГОСТ 1535-91, ленты — ГОСТ 1173-93, трубы — ГОСТ 11383-75 и проволоки — ГОСТ 434-78, ГОСТ 15527-2004. Допустимый интервал рабочих температур деталей КА составляет от -90 до $+100^{\circ}\text{C}$. Применяются и латуни марок: Л63, ЛС59-1 — ГОСТ 15527-70 в виде ленты (ГОСТ 2208-91), листа (ГОСТ 931-90), прутка (ГОСТ 2060-90), трубы (ГОСТ 11383-75) и проволоки (ГОСТ 1066-90, ГОСТ 2771-81). Из бронз применяются: БрОФ7-02, БрОФ6,5-0,15, БРАЖ9-4, БрБ2 (ГОСТ 18175-78, ГОСТ 5017-74), в виде прутка (ГОСТ 10025-78, ГОСТ 1628-78), ленты (ГОСТ 1761-92, ГОСТ 1789-70).

В качестве корпусов электронных блоков

могут применяться: магниевые деформируемые сплавы — МА2-1- ГОСТ 14957-76, в виде листа — ГОСТ 22635-77, плиты — ГОСТ 21990-76; алюминиевые деформируемые: АМг3 — ГОСТ 4784-97, АМг6; деформируемые упрочняемые: Д16, Д16Т, Д16Б (ГОСТ 4784-97); литейные: Ал2-Ал12 по ОСТ 921165-75. Штампованные корпуса, выполняемые с помощью гибки, вытяжки и вырубки могут выполняться из полосовых тонколистовых заготовок низкоуглеродистых качественных сталей (ГОСТ 1050-88) и дюралюминов.

Классические стали и сплавы с высокими упругими свойствами [5–12] применяются в качестве деталей космических аппаратов: 40КХНМ- ГОСТ 14117-85, 42НХТЮМ, 42НХТЮН в виде ленты и проволоки по ГОСТ 14118-85, допускающие вырубку и гибку при изготовлении пружин и других упругих элементов приборов и аппаратов; 36НХТЮ — ГОСТ 10994-74 в виде ленты, прутка и проволоки (ГОСТ 14119-85). Новые высокоазотистые коррозионностойкие и немагнитные стали аустенитного класса, внедренные в качестве упругих подвесов чувствительных элементов электролитических преобразователей угла наклона геодезических приборов, рассмотрены в работах МИИГАиК [10–21].

Современные космические аппараты ДЗ3 среднего и высокого разрешения [3] имеют обычно высоту орбит от 350 до 800 км, т.е. работают в условиях глубокого и очень глубокого вакуума, характеризующегося давлением от $4,0 \cdot 10^{-7}$ Па до $4,0 \cdot 10^{-9}$ Па при плотности атмосферы $3,0 \cdot 10^{-16}$ до $1,0 \cdot 10^{-18}$ г/см³, температуре около 1600К и концентрации метеорных частиц $2,5 \cdot 10^7$ – 10^5 см⁻³. Если в истории космонавтики пока не зафиксировано случаев серьезных повреждений КА и его модулей метеоритами, то радиационные пояса Земли со скоплениями электронов и протонов высоких энергий, космические лучи солнечного происхождения (протоны и ионы гелия), а также корпускулярные излучения галактического происхождения оказывают серьезное радиационное воздействие на материалы деталей негерметизированного ОМ [22].

Радиационное воздействие различных частиц оказывает наибольшее отрицательное влияние на механические свойства и корро-

зионную стойкость конструкционных и конструкционно-функциональных материалов. Облучение приводит к образованию точечных и линейных дефектов атомно-кристаллической структуры, образованию вакансий и микропор, смещению атомов облучаемого материала в межузлия (дефекты Френкеля). По характеру влияния на механические свойства облучение напоминает холодную пластическую деформацию — материал увеличивает параметры прочности, но теряет пластичность. Идет процесс образования вакансий, которые при больших потоках облучения превращаются либо в дислокационные петли, либо в микропоры, что приводит к изменению геометрических размеров деталей и разбуханию облученного материала. В некоторых материалах при облучении происходят ядерные реакции с выделением газообразных продуктов.

Особенно сильное влияние радиация оказывает на неметаллические органические конструкционно-функциональные материалы [23]. Различаются два периода влияния ионизирующего излучения: в момент облучения и в послерадиационный период. Изменение свойств органических материалов при облучении называется термином «радиационное старение». В полимерах с кристаллической и аморфной фазами радиационному повреждению в большей степени подвергается аморфная фаза и приграничная область между ними. В полимерах одновременно могут происходить два процесса: сшивание макромолекул с увеличением прочности и хрупкости материала и деструкция — распад макромолекул на составные части с потерей материалом механических свойств. Радиационно-химические превращения обычно ускоряются при повышении температуры, интенсивнее снижается механическая прочность, ускоряется потеря массы и увеличивается термическая деструкция полимеров, образуются промежуточно активные частицы (ПАЧ) в виде анионов, катионов и анион-катионных радикалов. Спектры оптического поглощения ПАЧ смещаются в длинноволновую часть по сравнению со спектром исходных молекул, что приводит к более интенсивному нагреву деталей КА. Комбинированное воздействие радиационного облучения и оптического вызывает физико-химические процессы в полимерах,

называемые фоторадиационными.

Энергия падающих частиц взаимодействует с электронами и атомами облучаемого материала, в результате чего происходит ионизация и возбуждение молекул вещества, а также образование каскада вторичных заряженных частиц, обладающих достаточно высокой энергией для проведения актов ионизации и возбуждения. Ионизация производится либо непосредственно заряженными частицами (электронами, протонами и т.д.), либо косвенно — за счет взаимодействия такого излучения со средой, при котором образуются заряженные частицы. К косвенно ионизирующим относятся, например, фотонное и нейтронное излучения.

Основная физическая величина оценки ионизирующего излучения — поглощенная доза или просто доза излучения, представляющая собой поглощенную энергию излучения, отнесенную к единице массы облученного вещества. Единица поглощенной дозы в системе СИ — грей (Гр); внесистемная единица поглощенной дозы — рад ($1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг} = 100 \text{ рад}$).

В табл. 2 представлены неметаллические материалы с допустимыми условиями эксплуатации в вакууме по интервалу температур и дозе радиации, применявшиеся в отечественных космических программах, включая орбитальную станцию «Мир».

Как следует из табл. 2 допустимая доза радиации для большинства неметаллических конструкционно-функциональных материалов составляет 10^7 – 10^9 рад.

В результате радиационного воздействия на конструкционно-функциональные полимерные материалы существенно изменяются следующие оптические характеристики [23]: интегральный и спектральный коэффициенты поглощения света; интегральный коэффициент поглощения солнечной радиации ($\lambda = 0,2 \div 2,5 \text{ мкм}$); интегральный и спектральный коэффициенты отражения света; интегральный коэффициент отражения и пропускания солнечной радиации и т.д. Поэтому многим органическим конструкционно-функциональным материалам деталей ОМ необходима химическая защита. Под химзащитой понимается исключение или значительное уменьшение первоначального строения структуры, влия-

Некоторые конструкционно-функциональные неметаллические материалы деталей отечественных КА

Марка материала	Документ на поставку	Допустимый температурный интервал, °С	Допустимая доза радиации, рад
Стеклотекстолит: СТФ-1-35-0,1/1,0/ СТФ-2-35-0,23/1,5/ СТФ-2-18-0,18	ТУ 2296-003-1143690-02	от –60 до +105	$2 \cdot 10^8$
Стеклотекстолит СФ-2Н-35Г-1/2/	ГОСТ 10316-78	от –60 до +105	$2 \cdot 10^8$
Стеклотекстолит СТФТ-2-35-1/2/	ТУ 2296-002-402-40230483-02	от –60 до +105	$2 \cdot 10^8$
Текстолит, стержень	ГОСТ 5385-74	от –60 до +105	$1 \cdot 10^7$
Трубка Ф-4Д	ГОСТ 22056-76	от –120 до +120	$5 \cdot 10^6$
Пленка ПЭТ-Э, ПЭТ-КЭ	ГОСТ 24234-80	от –65 до +155	$3 \cdot 10^8$
Полиамид 610	ГОСТ 10589-87	от –60 до +70	10^8
Капрон 3К	ОСТ 17-330-2002	от –150 до +150	$1,5 \cdot 10^8$
Компаунд К-153	ОСТ 3-1935-82	от –60 до +100	$3 \cdot 10^8$
Компаунд ЭК-16“Б”	ОСТ 3-1935-82	от –60 до +100	$3 \cdot 10^8$
Компаунд ЭПК-3	ОСТ 3-1935-82	от –50 до +80	$3 \cdot 10^8$
Клей К-153, К-153НК	ОСТ 3-5210-82	от –60 до +100	$3 \cdot 10^8$
Клей К-300-61	ОСТ В6-05-5100-77	от –196 до +300	$3 \cdot 10^8$
Клей оптический ОК-72ФТ ₅ , ОК-72ФТ ₁₅	ОСТ3-5554-84	от –170 до +140	$3 \cdot 10^7$
Клей шпатлевка ЭП-00-10	ОСТ0-5210-82	от –60 до +100	$3 \cdot 10^7$
Герметик УТ-34	ГОСТ 24285-80	от –60 до +130	$2 \cdot 10^8$
Герметик 51-Г-23-1	ТУ 405416-79	от –74 до +120	$3 \cdot 10^7$
Герметик 137-182	ТУ 6-02-1-015-39	от –80 до +200	$2 \cdot 10^8$
Лак УР-231	ТУ6-21-14-90	от –60 до +120	$2 \cdot 10^9$
Лак ЭП-9114	ТУ6-21-3-89	от –60 до +120	$1 \cdot 10^9$
Эмаль ХС-973, ХС-928	ТУ6-21-16-90	от –60 до +150	$3 \cdot 10^8$
Эмаль ЭП-140	ГОСТ 24709-81	от –60 до +150	$3 \cdot 10^7$
Эмаль АК-573	ТУ6-10-1352-78	от –60 до +200	$3 \cdot 10^7$
Эмаль АК-243	ТУ6-10-11-01-117-83	от –60 до +80	$3 \cdot 10^7$
Грунтовка АК-070	ГОСТ 25718-83	от –60 до +80	$3 \cdot 10^8$
Эмаль ПФ-115	ГОСТ 6465-76	от –60 до +150	$3 \cdot 10^8$
Эмаль ЭП-572	ТУ6-10-1539-76	от –60 до +60	$3 \cdot 10^8$

ющей на различные физико-химические, механические, электрические, оптические и др. свойства, с помощью специально вводимых в небольших количествах (менее 1% по массе) химических соединений, называемых антирадами, либо нанесением специальных поверхностных покрытий.

Возможна защита деталей или всего ОМ от радиации, действия метеоритных частиц, космического мусора и других внешних воздействующих факторов специальными поверхностными конструктивными элементами относительно малой собственной массы в соответствии с предварительными расчетами радиационной стойкости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савиных В.П., Соломатин В.А. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования. –М.: Недра, 1995. –310 с.
2. Савиных В.П. /ред./ Теория и практика автоматизации высокоточных измерений в прикладной геодезии. –М.: Академический проект, Альма Матер, 2009. –394 с.
3. Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А., Вурсол А.В., Родимкина Е.Ю. Конструкционные материалы оптических модулей аппаратов ДЗЗ // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофото-съемка». 2012. –№ 5. –С. 101–106.
4. Попов Н.Н., Бурлак И.Ю. Материаловедение и технология конструкционных материалов. –М.: МИИГАиК, 2006. –176 с.
5. Пятин Ю.М. /ред./ Материалы в приборостроении и автоматике. –М.: Машиностроение, 1982. –528 с.
6. Раскатов В.М. /ред./ Машиностроительные материалы. –М.: Машиностроение, 1980. –511 с.
7. Братухин А.Г., Погосян М.А., Суров В.И., Тарасенко Л.В. Конструкционные и функциональные материалы современной авиации. –М.: МАИ, 2007. –304 с.

8. Арзамасов Б.Н. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
9. Михеев В.С., Курлаев А.А., Попов Н.Н. Маятниковые уровни с магнитным подвешиванием // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1988. – №4. – С. 175–173.
10. Попов Н.Н., Михеев В.С., Курлаев А.А. Новые перспективные металлические материалы деталей геодезических приборов // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1991. – №6. – С. 136–144.
11. Рахштадт А.Г. /ред./ Справочник металлста. Том №2, – М.: Машиностроение, 1976. – 720 с.
12. Попов Н.Н., Михеев В.С., Курлаев А.А. Материалы упругих подвесов чувствительных элементов геодезических приборов // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1989. – №6. – С. 140–144.
13. Михеев В.С., Курлаев А.А., Попов Н.Н. Методика оценки некоторых свойств материалов упругих подвесов маятниковых уровней // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1991. – №4. – С. 110–116.
14. Попов Н.Н., Михеев В.С., Курлаев А.А. и др. Упругий подвес из высокоазотистой стали для чувствительного элемента преобразователя угла наклона // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1992. – №3. – С. 171–175.
15. Попов Н.Н., Аношин М.А., Варыгина О.В. и др. Упрочнение материала и снижение внутренних напряжений упругих подвесов маятниковых уровней // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1993. – №1–3. – С. 177–184.
16. Попов Н.Н., Михеев В.С., Соколова Ю. В. и др. Конструктивные и технологические особенности крепления нити подвеса чувствительного элемента маятникового уровня // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1994. – №2–3. – С. 145–151.
17. Попов Н.Н., Михеев В.С., Соколова Ю.В. Коррозия некоторых деталей геодезических приборов // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1994. – №4–5. – С. 144–151.
18. Попов Н.Н. Новые материалы и технология производства деталей маятниковых уровней // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1995. – №2. – С. 128–132.
19. Попов Н.Н., Михеев В.С. Влияние структуры металлических упругих элементов на качество работы геодезических приборов // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1997. – №1. – С. 133–142.
20. Попов Н.Н., Михеев В.С. и др. Высокоазотистые стали для преобразователей угла наклона электронных теодолитов и тахеометров // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 1997. – №2–3. – С. 137–147.
21. Попов Н.Н., Михеев В.С. Высокоазотистые стали для геодезических приборов // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2001. – №1. – С. 82–89.
22. Березин В.Б., Прохоров Н.С., Хайкин А.М. Электротехнические материалы. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 504 с.
23. Милинчук В.К., Туников В.Н. Радиационная стойкость органических материалов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 272 с.

Поступила 26 июля 2012 г.

Рекомендована кафедрой конструирования и технологии оптических приборов МИИГАиК

МЕТОДЫ РАСЧЕТА НЕЦЕНТРИРОВАННЫХ СИСТЕМ

Аспирант В.Б. Влашко

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: vlahko@mail.ru

Аннотация. Дан краткий обзор существующих методов расчета аббераций нецентрированных оптических систем. Проведен анализ численных результатов.

Ключевые слова: эйконал оптической системы, теория аббераций, нецентрированные оптические системы

Abstract. A brief summary of handling calculations of existing off-axial optical systems aberration is given. Numeric results are analysed.

Keywords. Eikonal function, aberration theory, off-axial optical systems

Введение. Как известно зеркальные оптические системы обладают рядом преимуществ по сравнению с линзовыми аналогами. К ним можно отнести: отсутствие хроматических аббераций и, как следствие, возможность использования зеркальных систем в различных широких областях спектра; возможность изготовления зеркал больших размеров, что особенно важно в телескопостроении; а также значительно более низкие тепловые фоны в инфракрасной области спектра.

В настоящее время большинство зеркальных систем являются центрированными, т.е. обладают центральным экранированием, которое ведёт к уменьшению светосилы и увели-

чению интенсивности высших порядков дифракции за счёт первого порядка, что, в свою очередь, приводит к уменьшению разрешающей способности и снижению контраста. В связи с этим одним из перспективных направлений в разработке описанных выше оптических систем является проектирование нецентрированных зеркальных систем.

Краткий обзор существующих методов расчета. В XX в. было опубликовано немало работ, посвященных абберациям оптических систем с нецентрированными элементами. К наиболее значимым работам начала XX в. можно отнести труды А. Gullstrand, М. Herzberger, В.Е. Мурашкинского и А. Conrady. В 1946 г.

[1] впервые был предложен метод, содержащий в себе общую идею о возможности вычисления aberrаций децентрировки в любой точке поля зрения оптической системы, состоящей из бесконечно тонких компонентов по известным значениям основных параметров P и W каждого нецентрированного компонента. В работе [2] по децентрировке представлен метод получения общего выражения для aberrаций системы с одной слабо децентрированной поверхностью. В монографии [3] подробно рассмотрены работы предшественников. В работе [4] приведена теория aberrаций оптических систем при малых наклонах оптических элементов.

Отметим, что все работы, описанные выше, затрагивают вопрос теории aberrаций только для систем со слабо децентрированными элементами. Расчет нецентрированных систем, а именно оптических систем с произвольным расположением элементов представляет собой более сложную задачу.

Большой вклад в развитие математического описания оптических систем с плоскостной симметрией внес А. П. Смирнов [5,6]. Им были получены точные аналитические выражения функции углового эйконала коникоида, и был сделан вывод о том, что децентрировка поверхности может описываться смещением начала координат в пространствах предмета и изображения и не отражается на основной части формулы («ядро» эйконала), зависящем от углов наклона и независящем от параллельного смещения поверхности. Однако использование этого аналитического аппарата для расчета aberrаций представляется довольно сложным.

В наиболее общем виде выражения для коэффициентов aberrаций нецентрированных оптических систем изложены в работе [7], в которой, с помощью разложения эйконала по координатам на входном зрачке системы, получены аналитические выражения коэффициентов волновой aberrации до 4-го порядка оптических систем с произвольно расположенными поверхностями общего вида, содержащих голограммные оптические элементы. Разработанная теория также применима и к оптическим системам без голограммных элементов в теории волновых aberrаций до 4-го порядка.

Еще раньше теория aberrаций оптической системы с плоскостной симметрией, состоящей лишь из единственного оптического элемента – отражательной вогнутой дифракционной решетки, была предложена Н.Г. Beutler [8], однако, в ней оказались неточности, и в окончательном виде эта теория была дана Т. Namioka [9]. В обозначениях работы [10] для случая отражения от вогнутого зеркала величины поперечных aberrаций выражаются в виде:

$$\begin{aligned}\delta y' &= \frac{d'}{\cos \varphi} \left(yV_{200} + \frac{3}{2}y^2V_{300} + \frac{1}{2}z^2V_{120} + \frac{1}{2}y^3V_{400} + \frac{1}{2}yz^2V_{220} \right) + \dots; \\ \delta z' &= d' \left(zV_{020} + \frac{1}{2}yzV_{120} + \frac{1}{2}y^2zV_{220} + \frac{1}{2}z^3V_{040} \right) + \dots\end{aligned}\quad (1)$$

Коэффициенты V_{ijk} определяются как:

$$\begin{aligned}V_{200} &= T + T'; \quad V_{020} = S + S'; \quad V_{300} = \sin \varphi \left(\frac{T'}{d'} - \frac{T}{d} \right) - 4a_{30} \cos \varphi; \quad V_{030} = \sin \varphi \left(\frac{S'}{d'} - \frac{S}{d} \right) - 4a_{12} \cos \varphi; \\ V_{400} &= 4 \sin^2 \varphi \left(\frac{T}{d^2} + \frac{T'}{d'^2} \right) - \frac{T^2}{d} - \frac{T'^2}{d'} + 4a_{20}^2 \left[\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} + 4a_{30} \left(\frac{\sin^2 \varphi}{d} + \frac{\sin^2 \varphi}{d'} - 16a_{40} \cos \varphi \right) \right]; \\ V_{220} &= 2 \sin^2 \varphi \left(\frac{S}{d^2} + \frac{S'}{d'^2} \right) - \frac{TS}{d} - \frac{T'S'}{d'} - 4a_{20}a_{02} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} \right) - 8a_{22} \cos \varphi + 2a_{12} \sin^2 \varphi \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} \right); \\ V_{040} &= 4a_{02} \left(\frac{1}{d} + \frac{1}{d'} \right) - 16a_{04} \cos \varphi - \frac{S^2}{d} - \frac{S'^2}{d'},\end{aligned}\quad (2)$$

где

$$T = \frac{\cos^2 \varphi}{d} - 2a_{20} \cos \varphi; \quad S = \frac{1}{d} - 2a_{20} \cos \varphi; \quad T' = \frac{\cos^2 \varphi}{d'} - 2a_{02} \cos \varphi; \quad S' = \frac{1}{d'} - 2a_{02} \cos \varphi; \quad (3)$$

φ — угол падения; d и d' — расстояния от зеркала до источника излучения и его изображения, соот-

ветственно; a_{ij} — коэффициенты разложения в степенной ряд уравнения поверхности зеркала [10].

$$F(y, z) = \sum_i \sum_j a_{ij} y^i z^j, \quad (4)$$

где j — четное.

Выводы формул (1) базируются на функции оптического пути (разновидности эйконала), выражающей оптический путь от предмета до его изображения.

Рассмотрим последовательно члены разложения функции оптического пути, представленные в выражениях (1).

Коэффициенты V_{ijk} характеризуют: V_{200} — дефокусировку первого порядка в меридиональном сечении; V_{020} — дефокусировку первого порядка в сагиттальном сечении; V_{300} — меридиональную кому второго порядка, вызываемую лучами, идущими в плоскости симметрии, коэффициент; V_{120} — кому второго порядка, создаваемую лучами, идущими вне плоскости симметрии; V_{400} и V_{040} — сферическую aberrацию третьего порядка; V_{220} — несимметричную сферическую aberrацию третьего порядка.

Однако было замечено, что при наличии в нецентрированной системе значительного астигматизма первого порядка величины aberrаций второго порядка отличаются от результатов точного расчета хода лучей. В связи с этим в работе [11] были получены эмпирические формулы, в которых коэффициент астигматизма первого порядка входит в коэффициент меридианальной и сагиттальной комы второго порядка.

T. Namioka и M. Koike [12] получили аналитические выражения точного расчета хода лучей и разложили их в ряд по координатам на входном зрачке, в результате чего были получены выражения для поперечных aberrаций:

$$\begin{aligned} \delta y' &= \frac{d'}{\cos \varphi} \left\{ y V_{200} + y^2 \left(\frac{3}{2} V_{300} + 2 V_{200} \frac{\sin \varphi}{d'} \right) + z^2 \left(\frac{1}{2} V_{120} + V_{020} \frac{\sin \varphi}{d'} \right) + \right. \\ &+ y^3 \left[V_{400} + 3 V_{300} \frac{\sin \varphi}{d'} + V_{200} \left(\frac{\sin^2 \varphi}{d'^2} + \frac{\sec \varphi - 2 \cos \varphi}{r d'} \right) \right] + \\ &+ y z^2 \left[\frac{1}{2} V_{200} + 2 V_{120} \frac{\sin \varphi}{d'} + \frac{1}{2} V_{200} \left(\frac{\sec \varphi - 2 \cos \varphi}{\bar{r} d'} \right) + V_{020} \frac{\sin^2 \varphi}{d'^2} \right] \Big\} + \dots ; \\ \delta z' &= d' \left[z V_{020} + y z \left(V_{120} + V_{020} \frac{\sin \varphi}{d'} \right) + \right. \\ &+ y^2 z \left(\frac{1}{2} V_{220} + V_{120} \frac{\sin \varphi}{d'} - \frac{1}{2} V_{020} \frac{\cos \varphi}{r d'} \right) + \frac{1}{2} z^3 \left(V_{040} - V_{020} \frac{\cos \varphi}{\bar{r} d'} \right) \Big] + \dots , \end{aligned} \quad (5)$$

где r и $\bar{r}$ — меридиональный и сагиттальный радиусы кривизны зеркала.

Как видим из формулы (5), коэффициенты aberrаций первого порядка V_{200} и V_{020} входят в выражения для меридианальной и сагиттальной комы 2-го порядка, а коэффициенты aberrаций второго порядка V_{300} и V_{120} вместе с коэффициентами 1-го порядка входят в выражения для сферической aberrации 3-го порядка. Таким образом, при отсутствии дефокусировки и астигматизма 1-го порядка величины меридианальной и сагиттальной комы не отличаются от величин, полученных с помощью разложения в ряд ФОП, а если к тому же меридианальная и сагиттальная кома равны нулю, то и сферическая aberrация 3-го порядка не отличается от полученной с помощью ФОП.

В работе [13] эмпирические формулы Пейсахсона приведены к виду (5).

Анализ численных результатов. Проведем расчёт поперечных aberrаций с помощью рассмотренных методов расчета децентрированных оптических систем, основанных на разложении в степенной ряд: эйконала [7], функции оптического пути [9, 10] и формул точного расчета хода лучей [12]. Сравним полученные результаты с точным расчетом хода лучей, проведённых с помощью известных программ *Zemax* (*Zemax Development Corporation*), Демос (ГОИ) и Сапо (ГОИ).

Для простоты возьмем в качестве оптической системы одиночное сферическое зеркало, ра-

Поперечные aberrации сферического зеркала для $d=500$ мм

Координаты зрачка, мм		Разложение в ряд						Точный расчет хода лучей	
		эйконала [7]		функции оптического пути [9, 10]		формул точного расчета хода лучей [12]			
В меридианальном фокусе									
<i>Y</i>	<i>Z</i>	$\Delta Y'$	$\Delta Z'$	$\Delta Y'$	$\Delta Z'$	$\Delta Y'$	$\Delta Z'$	$\Delta Y'$	$\Delta Z'$
−50	0	0,750	0	0,757	0	0,812	0	1,01	0
50	0	1,020	0	1,020	0	0,960	0	1,35	0
0	50	0,490	22,10	0,490	22,10	−0,810	21,98	−0,80	21,99
−50	50	1,025	21,44	1,020	21,44	−0,150	22,70	0,56	22,70
50	50	1,730	23,14	1,730	23,14	0,310	21,48	0,16	21,48
В сагиттальном фокусе									
−50	0	33,60	0	33,61	0	34,64	0	38,80	0
50	0	−34,99	0	−34,99	0	−33,97	0	−39,86	0
0	50	−0,46	−0,01	−0,46	−0,011	−0,46	−0,011	−0,52	0,04
−50	50	33,15	0,79	33,15	0,790	34,07	−2,500	38,75	−2,76
50	50	−35,44	−0,80	−35,44	−0,800	−34,32	2,500	−38,73	2,90

диусом 500 мм и размерами 100×100 мм², при положении точечного источника A на расстоянии $d=500$ мм от зеркала, под углом $\varphi=30^\circ$ к его нормали (рис.). Величины aberrаций рассчитаны в меридиональном и сагиттальном фокусах на расстояниях $d'=381,85$ мм и $d'=683,01$ мм от зеркала.

Результаты расчётов представлены в таблице.

Результаты, представленные в таблице показывают, что метод, основанный на разложении в ряд формул расчета хода лучей, в целом, дает наиболее близкие результаты к точному расчету хода лучей, проводимому по программам Zemax, Демос и Соро, которые с высокой точностью совпадают друг с другом. Методы расчёта, основанные на разложении в ряд эйконала и функции оптического пути, дают более грубые результаты. Различие между методами [12] и точным расчетом хода лучей объясняется тем, что последние учитывают влияние aberrаций высших порядков.

Заключение. Таким образом, в случае больших aberrаций необходимо использовать метод расчёта, основанный на разложении в ряд формул расчета хода лучей [12], в случае же малых aberrаций или при последовательной компенсации aberrаций от низшего порядка к высшему порядку могут быть использованы методы [7, 9, 10].

ЛИТЕРАТУРА

1. Слюсарев Г.Г. Геометрическая оптика. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1946. – 332 с.
2. Cox A. A system of optical design. N. – Y. – Lond., «Focal Press», 1964. – 666 p.
3. Губель Н.Н. Aberrации децентрированных оптических систем. Л., Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1975. – 272 с.

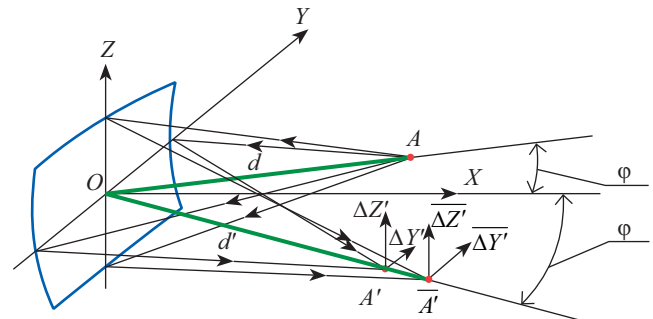


Рис. 1. Меридиональный и сагиттальный фокусы сферического зеркала

4. Sasian J.M. How to approach the design of a bilateral symmetric optical system, Opt. Eng., 1994, V.33, № 66, p. 2045–2061.
5. Смирнов А.П. Угловой эйконал коникоида// Оптика и Спектроскопия. – 2006. – Т.101. – № 2.
6. Смирнов А.П. Аналитический метод aberrационного расчёта оптических систем// Оптика и спектроскопия. – 2007. – Т.102. – №1.
7. Ган М.А. Расчет коэффициентов волновой aberrации для нецентрированных оптических систем с голограммами в окрестности луча, Оптический журнал. – 1995. – № 8. – С.17–21.
8. Beutler H.G. The theory of the concave grating// J.Opt.Soc. Amer. – 1945. – Vol.35, №5. – P.311 – 350.
9. Noda H., Namioka T., and Seya M. Geometric theory of the grating// J.Opt.Soc.Amer. – 1974. – Vol. 64, №9. – P.1031 – 1036.
10. Бажанов Ю.В. Соотношения между параметрами нарезных и голографических вогнутых дифракционных решеток// Оптико-механическая промышленность. – 1979. – №10. – С.1 – 3.
11. Пейсахсон И.В. Оптика спектральных приборов на рубеже столетий// Оптический журнал. – 2002. – №1. – С. 21 – 35.
12. Namioka T., Koike M. Analytical Representation of Spot Diagrams and Its Application to the design of Monochromators, Nuclear Instruments Methods, 1992, A319, p. 219 – 227
13. Бажанов Ю.В., Захарова Н.В. К теории aberrаций астигматических пучков вогнутой дифракционной решетки // Оптический журнал. – 2010. – №4. – С.17 – 18.

Поступила 5 апреля 2012 г.

Рекомендована кафедрой прикладной оптики МИИГАиК

ВЫБОР СХЕМЫ СКАНИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНФРАКРАСНОЙ СИСТЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Профессор, доктор техн. наук Ю.Г. Якушников

Московский государственный университет геодезии и картографии

E-mail: yakush@miigaik.ru

Аннотация. Выбор схемы сканирования подстилающей поверхности инфракрасной системой дистанционного зондирования, устанавливаемой на летательном аппарате, зависит от требований, предъявляемых к ее геометрической схеме и спектральному, пространственному, энергетическому и временному разрешению основных узлов системы — объектива и фотоприемного устройств. Приводятся зависимости, определяющие величины разрешения, которые могут использоваться для сопоставления этого разрешения с конструктивными параметрами современной элементной базы инфракрасных систем.

Ключевые слова: инфракрасная система дистанционного зондирования; спектральное, пространственное, энергетическое и временное разрешение

Abstract. The choice of a scheme for scanning of a surface laying under flying infrared system depends on the requirements to its geometric-optical scheme and spectral, spatial, energetic, and temporal resolutions of its lens and focal plane array. Formulae of the resolution calculations shown in the paper may be used to compare the resolution to the main parameters of infrared system modern element base.

Keywords: infrared system of remote sensing; spectral, spatial, energetic, and temporal resolution

Оптико-электронные системы (ОЭС) широко используются при дистанционном зондировании в экологическом мониторинге, при разведке и исследовании природных ресурсов, при контроле состояния нефте- и газопроводов, при обнаружении очагов лесных пожаров, при картографировании минных полей и мн. др. [1–5].

Сопоставление требований многочисленных пользователей оптико-электронных систем (ОЭС) дистанционного зондирования (ДЗ) с параметрами и характеристиками современных оптических систем и фотоприемных устройств (ФПУ) позволяет выявить тенденции развития и сформулировать принципы построения таких ОЭС.

Сегодня очевидно, что наиболее перспективными для решения многих важных задач являются многодиапазонные (многоспектральные) ОЭС, работающие в видимом и инфракрасном (ИК) диапазонах оптического спектра. В связи с тем, что одними из основных информативных параметров в таких ОЭС ДЗ являются температура или температурный контраст наблюдаемых объектов, участки спектра, лежащие в средневолновом (3...5 мкм) и особенно длинноволновом (8...14 мкм) ИК-диапазонах, т.е. в окнах прозрачности атмосферы, привлекают особое внимание разработчиков ИК-аппаратуры. Именно здесь находятся максимумы плотности собственного излучения многих объектов, а доля отраженного от них и рассе-

янного аэрозолем солнечного излучения, часто являющегося основным источником помех, мала.

Требования к ИК-каналу ОЭС ДЗ или отдельной ИК-системе (ИКС), входящей в комплекс аппаратуры для ДЗ, особенно усложняются при размещении этой аппаратуры на борту летательного аппарата. В настоящей статье сделана попытка наметить пути определения этих требований для случая наблюдения подстилающей поверхности с борта платформы-носителя ИКС.

Исходные данные при выборе и расчете ИКС ДЗ и ее основных узлов — оптической системы и ФПУ:

- спектральные рабочие диапазоны;
- размеры просматриваемой зоны подстилающей поверхности $L_x \times L_y$ и высота полета H ;
- требуемое пространственное, энергетическое и временное разрешение;

- скорость полета v_y вдоль некоторого направления y , принятого за одну из ортогональных осей системы координат, в которой работает ИКС, или частота просмотра заданной зоны;
- состояние атмосферы на трассе «просматриваемая зона подстилающей поверхности — ИКС».

Для определения перспектив развития ОЭС ДЗ и, в частности, ИКС ДЗ, целесообразно прежде всего проанализировать требования к спектральному, пространственному, энергетическому и временному разрешению этих си-

стем, возникающие при необходимости решать разнообразные практические задачи. Затем на основе результатов этого анализа можно сделать выводы о наиболее рациональной структуре той или иной системы и о требованиях к параметрам и характеристикам основных узлов ИКС, прежде всего, оптической системы и ФПУ.

При выборе числа рабочих спектральных диапазонов ИКС следует стремиться к его соответствию размерности вектора спектральных признаков обнаруживаемого или распознаваемого объекта. Основываясь на результатах многочисленных исследований [1,3 и др.], можно прийти к выводу о том, что при работе в ИК-области оптического спектра для многих применений достаточно иметь 2...3 рабочих диапазона, а спектральное разрешение ИКС должно быть таким, чтобы в пределах каждого сравнительно широкого окна пропускания атмосферы — (3...5 мкм и/или 8...14 мкм) разрешались две полосы спектра.

Новые перспективы открываются при использовании в ИКС для дистанционного мониторинга многодиапазонных (многоцветных) матричных ФПУ с высоким пространственным разрешением [3–5]. Хотя сегодня большинство таких приемников работает одновременно только в двух спектральных каналах, их применение значительно упрощает конструкцию ИКС, а также позволяет использовать известные алгоритмы пространственно-временной фильтрации, обеспечивающие эффективную работу в условиях зашумленных сцен [6]. Сравнительно недавно появились сведения об увеличении числа спектральных диапазонов работы матричных ФПУ до трех–четырех, т.е. повышение их спектрального разрешения при сохранении высокой частоты просмотра наблюдаемой сцены [3,4].

Как показывает анализ требований к ИКС ДЗ гражданского применения, разрабатываемым в соответствии с рядом международных программ научно-технического сотрудничества [2,3], температурное разрешение таких систем, определяемое эквивалентной шуму разностью температур ΔT_n (ЭШРТ), при средней температуре фона 300 К (температуре подстилающей поверхности) должно составлять 20...100 мК. Требования к пространственному разрешению на местности заметно различаются — от 5 м (например, в системах для контро-

ля оползней или очагов лесных пожаров) до нескольких десятков метров (например, в вулканологии или при контроле загрязнения водоемов). Многие системы должны работать круглосуточно и в реальном масштабе времени.

Более жесткие требования предъявляются к системам военного назначения. Так, для перспективной разведывательной системы воздушного базирования, описанной в [5], требуется иметь ЭШРТ менее 10 мК, а разрешение на местности порядка 0,35...1,0 м. При просмотре больших участков подстилающей поверхности — круговых зон с радиусами 2...5 км с высоты около 3700 м требуется иметь пространственное разрешение на местности порядка 0,35...1,0 м. Частота кадров должна составлять несколько герц (до десяти). Важно, что трасса полета летательного аппарата — носителя ИКС может проходить в нескольких километрах от центра просматриваемой зоны. Это вынуждает применять объективы с большими угловыми полями. При высоте полета 3,7 км и диаметре круговой зоны просмотра 4 км углы обзора составляют 57° при прохождении трассы полета на расстоянии 1 км от центра зоны просмотра. Если принять, что угловое разрешение объектива должно соответствовать угловому размеру элемента разрешения на подстилающей поверхности и, соответственно, угловому размеру пиксела ФПУ, то путем несложных вычислений можно показать, что обеспечение заданных в [7] технических требований возможно при использовании объектива с предельным (дифракционным) разрешением и ФПУ очень большого формата с размерами пикселей порядка нескольких мкм, что на сегодня не представляется технически осуществимым, поскольку размеры пикселей современных матричных ФПУ, чувствительных в ИК-диапазоне, составляют 15...50 мкм [4].

Требования к пространственному разрешению ИКС ДЗ во многом определяет выбор оптической системы, а затем и схемы просмотра (сканирования) подстилающей поверхности (рис.).

Простейшим случаем является полет носителя ИКС по трассе, проходящей над центром просматриваемой зоны. В большинстве современных сканирующих ИКС осуществляется равномерный просмотр поля обзора по строчной траектории. Одним из способов получения такой траектории является перенос носителем

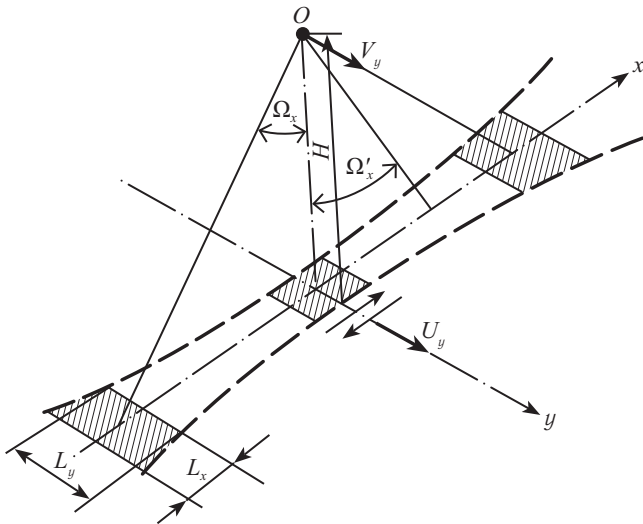


Рис. Схема строчного просмотра (сканирования) подстилающей поверхности с борта летательного аппарата (платформы-носителя)

всей ИКС вдоль оси y со скоростью v_y с одновременным просмотром поля по оси x путем оптико-механического или электронного (с помощью многоэлементного ФПУ) сканирования со скоростью v_x , причем $v_x \gg v_y$.

Если заданы размеры элемента разрешения на подстилающей поверхности l_x и l_y и размеры зоны просмотра $L_x \times L_y$, то, принимая пиксел ФПУ в плоскости изображения равным изображению этого элемента и считая, что электронное сканирование всей зоны осуществляется всей матрицей ФПУ, можно в первом приближении (без учета перспективных искажений) найти число пикселей ФПУ вдоль оси x : $M = L_x / l_x$. Аналогично, число пикселей по оси y : $N = L_y / l_y$. Таким образом, формат матричного ФПУ будет равен $M \times N$.

При больших угловых размерах зоны просмотра (большие L_x и L_y) и высоких требованиях к пространственному разрешению (малые l_x и l_y) необходимо иметь достаточно большой формат ФПУ при малых размерах отдельных его пикселей, что может быть невыполнимым при современном уровне развития матричных ФПУ.

Большой формат ФПУ, т.е. большое число его пикселей, может заметно усложнить коррекцию неоднородности их параметров, которая необходима для обеспечения высокого энергетического (температурного) разрешения [7]. С другой стороны, увеличение размеров отдельных пикселей ФПУ за счет выбора большого фокусного расстояния объектива f' при

сохранении неизменным формата ФПУ ведет к необходимости увеличивать диаметр входного зрачка объектива D , чтобы сохранить диафрагменное число f'/D малым для обеспечения хорошего температурного разрешения всей ИКС. Кроме того, при этом растут габариты объектива и ФПУ и всей ИКС, а также масса и стоимость системы.

В системах просмотра углового поля наклонными пучками лучей необходимо учитывать перспективные искажения, имеющие место при построении изображений элементов разложения и всего просматриваемого пространства. Значения перспективных искажений определяются изменением размеров проекции одного элемента разложения, например, пиксела чувствительной площадки ФПУ, на просматриваемую (сканируемую) плоскость предметов. Если рассмотреть схему просмотра (см. рис.), где в точке O расположена ИКС, осуществляющая строчное электронное или механическое сканирование вдоль оси x , а сканирование вдоль оси y осуществляется путем переноса системы со скоростью v_y то легко увидеть, что на краю поля обзора $2\Omega'_x$ даже при $2\Omega_y = 0$ будут иметь место отклонения размеров проекции элементов разложения на плоскость предметов от размеров этой проекции при наблюдении в надир, т.е. вниз по вертикали.

Для произвольного положения мгновенного углового поля системы, определяемого некоторым текущим угловым положением (Ω'_x , Ω'_y) оси, проходящей через центр элемента разложения и узловую точку объектива, размеры проекции элемента разложения на плоскость предметов

$$l_x = \frac{H \operatorname{tg} \Omega'_x}{\cos(\Omega'_y + \Omega'_x) \cos \Omega'_y};$$

$$l_y = 2H \sec \Omega'_y \operatorname{tg} \frac{\Omega'_x}{2}.$$

Очевидно, что выбор размеров пикселей ФПУ должен проводиться с учетом перспективных искажений. Эти размеры должны соответствовать рассчитанным величинам геометрического разрешения на местности для заданных значений высоты полета H и угловых размеров зоны просмотра $2\Omega_x \times 2\Omega_y$.

При малых $2\Omega_x$ эти размеры на краю поля обзора будут

$$l_x = H \operatorname{tg} \Omega_x (1 + \operatorname{tg}^2 \Omega_y); \quad l_y = H \sec \Omega_y.$$

В надири, т.е. при $\Omega'_y = 0$,

$$l_x = 2H \operatorname{tg} \omega_x \approx 2H\omega_x; \quad l_y = 2H \operatorname{tg} \omega_y \approx 2H\omega_y,$$

где ω_x и ω_y — половины мгновенных угловых полей объектива по осям x и y , соответствующих размерам пикселей ФПУ d_x и d_y по осям x и y , в фокальной плоскости объектива с фокусным расстоянием f' . При $d_x = 2f'\omega_x$ и $d_y = 2f'\omega_y$ последние выражения можно переписать в следующем виде: $l_x \approx Hdx/f'$; $l_y \approx Hdy/f'$.

При использовании оптико-механических сканирующих систем стабильность их параметров должна быть очень высокой, а перспективные искажения, возникающие при просмотре больших полей, не должны препятствовать высокому пространственному разрешению. В большинстве таких систем не удастся достичь большой частоты просмотра поля. При размещении сканирующего элемента, например, качающегося зеркала в сходящемся пучке за объективом, размеры зеркала невелики, что позволяет увеличить эту частоту. Однако объектив в такой схеме (схеме сканирования в пространстве изображений) должен быть широкоугольным. Основной недостаток такой схемы — расфокусировка изображений при переходе от центра плоскости изображений к ее краям, возникающая за счет кривизны поверхности, по которой движется изображение при повороте зеркала.

Требования к оптической системе и ФПУ усложняются, если центр зоны просмотра не совпадает с точкой надира, а находится в стороне от трассы полета носителя-платформы, на которой установлена ИКС. Прежде всего требуется объектив с большим угловым полем, охватывающим зону просмотра.

Энергетическое разрешение рассматриваемых ИКС ДЗ должно определяться не только значением ЭШРТ имеющегося в распоряжении разработчика ФПУ, но и величиной контраста между различаемым объектом на подстилающей поверхности и окружающим его фоном, а также и яркостью среды L_c среды распространения — атмосферы. Последним фактором при работе аппаратуры в ИК-диапазоне часто нельзя пренебречь, как это делается для видимого диапазона спектра. Если яркости различаемого объекта $L_{об}$ и фона $L_{ф}$ близки (случай порогового различения), то контраст на входе ИКС будет определяться следующим выражением [6]:

$$K_{ИКС} = \tau_c K_{пп} L_{ф} / \tau_c L_{об} L_c,$$

где τ_c — пропускание среды (атмосферы) на всей трассе от подстилающей поверхности до ИКС; $K_{пп}$ — контраст между различаемым объектом и окружающим его фоном на подстилающей поверхности.

В случае ИКС, когда излучение фона — подстилающей поверхности обусловлено, главным образом, его собственным, а не отраженным излучением с монохроматической яркостью $L_{ф,\lambda}$, что имеет место при работе на длинах волн $\lambda \geq 3...4$ мкм, а среда — атмосфера неоднородна и может быть представлена состоящей из отдельных, находящихся в термодинамическом равновесии n слоев с монохроматической яркостью каждого отдельного i -го слоя $L_{c,\lambda,i}$ для монохроматического потока, приходящего на вход ОЭП, можно записать:

$$\Phi_{\lambda, \phi+c} = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n (1-\tau_{c,\lambda,i}) L_{c,\lambda,i}^T \prod_{j=1}^{i-1} \tau_{c,\lambda,j} \right] + \left(\varepsilon_{\phi,\lambda} L_{\phi,\lambda}^T \prod_{j=1}^n \tau_{c,\lambda,j} \right) \right\} \Delta\Omega_{ИКС} A_{вх},$$

где $L_{c,\lambda,i}^T$ — яркость i -го слоя среды, принимаемого за черное тело с коэффициентом излучения $\varepsilon_{c,\lambda,i} = 1 - \tau_{c,\lambda,i}$; $\varepsilon_{\phi,\lambda}$ — коэффициент излучения фона; $L_{\phi,\lambda}^T$ — яркость черного тела, имеющего температуру фона; $\Delta\Omega_{ИКС}$ — угловое поле ИКС; $A_{вх}$ — площадь входного зрачка объектива ИКС.

При появлении в угловом поле ИКС (в k -м слое среды) объекта с яркостью $L_{об,\lambda}$ и угловым размером $\Delta\Omega_{об}$, меньшим $\Delta\Omega_{ИКС}$, к излучению неперекрываемого объектом фона и излучению среды добавляется поток от объекта $L_{об,\lambda} \Delta\Omega_{об} A_{вх} \tau_{c,\lambda,об}$, где $\tau_{c,\lambda,об}$ — монохроматический коэффициент пропускания среды на трассе от ИКС до объекта. Приращение входного сигнала $\Delta\Phi_{\lambda}$ в виде разности потоков, поступающих от объекта, среды и неперекрываемой части фона — $\Phi_{\lambda,об+c+\phi}$ и от среды и фона — $\Phi_{\lambda,c+\phi}$, характеризует энергетическое разрешение ИКС по монохроматическому потоку:

$$\Delta\Phi_{\lambda} = \left\{ L_{об,\lambda} - \left[\sum_{j=k+1}^n (1-\tau_{c,\lambda,j}) L_{c,\lambda,j}^T \prod_{j=k+1}^{i-1} \tau_{c,\lambda,j} \right] - \left[\varepsilon_{\phi,\lambda} L_{\phi,\lambda}^T \prod_{j=k+1}^n \tau_{c,\lambda,j} \right] \right\} \tau_{c,об,\lambda} \Delta\Omega_{об} A_{вх}.$$

Учитывая, что для современных ФПУ температурное разрешение (ЭШРТ) близкое к 15...20 мК для систем с охлаждаемыми МПИ и к 20...50 мК для систем с микроболометрами достигается при малых диафрагменных числах объектива (1,0 ... 2,0) [4], а требуемое пространственное разрешение объективов в ИК-области спектра приближается к дифракционному пределу (в линейной мере – к размеру пиксела ФПУ), требования к качеству абберационной коррекции объективов ИКС ДЗ могут быть весьма жесткими. При этом следует отметить, что использование дифракционных оптических элементов, уменьшающее число компонентов объектива и снижающее его массу и стоимость, в ИКС, работающих в нескольких спектральных диапазонах, не всегда возможно.

Столь же жесткими могут быть требования к временному разрешению ФПУ или сканирующей системы ИКС ДЗ. При строчной траектории просмотра число элементов разложения во всем поле обзора, равном $L_x \times L_y$ и соответствующем формату ФПУ, будет равно $n = n_1 N$, где число строк по направлению полета v_y равно $N = k_{\text{п}_y} \Omega_y / \omega_{\text{мгн}}$, а число элементов разложения в одной строке вдоль оси x — $n_1 = k_{\text{п}_x} \Omega_x / \omega_{\text{мгн}}$; $k_{\text{п}_x}$ и $k_{\text{п}_y}$ — коэффициенты, учитывающие перекрытие (или пропуск) строк и элементов разложения вдоль осей y и x ; $\omega_{\text{мгн}}$ — угловой размер элемента разложения (мгновенное угловое поле). Объединив две последние формулы, получим [6]: $n_1 = k_{\text{п}_x} \Omega_x N / k_{\text{п}_y} \Omega_y$.

Если время τ_s пребывания мгновенного углового поля сканирующей системы или пиксела ФПУ на элементе разложения равно постоянной времени приемника излучения τ , то активная часть периода сканирования определяется как $\eta_s T_k = \tau n$, а время просмотра всей зоны подстилающей поверхности равно $T_k = \tau \Omega_x k_{\text{п}_x} N^2 / \eta_s k_{\text{п}_y} \Omega_y$.

Время T_k или обратную ему величину частоты просмотра всего углового поля ИКС, зависящие от исходных требований к ИКС ДЗ, а также от постоянной времени применяемого приемника излучения τ , следует сопоставить с частотами кадров современных ФПУ, которые сегодня в большинстве случаев не превышают нескольких десятков герц. При больших заданных размерах зоны просмотра, т.е. и больших форматах ФПУ, обеспечить высокую частоту просмотра может быть трудной задачей. Еще большую проблему может составить решение этой задачи при использовании вместо «смо-

трящего» режима работы ИКС с матричным ФПУ оптико-механического сканирования, особенно с использованием режима временной задержки и интегрирования [6].

По этой причине, а также при невозможности просматривать всю заданную зону с высоким пространственным и энергетическим разрешением целесообразно при выборе схемы работы ИКС ДЗ рассмотреть возможность применения метода пошагового сканирования, когда эта зона разбивается на части, просматриваемые объективами с меньшими угловыми полями и матричными ФПУ меньшего формата, причем переход от зоны к зоне может происходить достаточно быстро. Приведенные выше соотношения и формулы для оценки требуемых параметров таких объективов и ФПУ остаются, в принципе, действительными и для этого метода.

Закключение. Для выбора схемы сканирования просматриваемого поля необходимо установить связь между исходными данными – требованиями к ИКС ДЗ и величинами спектрального, пространственного, энергетического и временного разрешения, определяемыми параметрами и характеристиками современной оптической систем и ФПУ. В случае невозможности использовать наиболее перспективную схему на базе крупноформатных матричных ФПУ, работающих в «смотрящем» режиме в двух или более спектральных диапазонах, целесообразно оценить возможности использования матричных ФПУ меньшего формата в режиме пошагового (зонного) просмотра поля обзора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дистанционное зондирование: количественный подход / Ш.М. Дейвис, Д.А. Ландгребе, Т.Л. Филлипс и др. Под ред. Ф. Свейна и Ш.М. Дейвиса. / Пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
2. Coppo P., Battistelli E., Barilli M. et al. Requirements and design of a thermal high-resolution Earth mapper (THEMA) based on uncooled detectors. – SPIE Proc., vol.4881 (2003), p.p.531-542
3. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Двух- и многодиапазонные оптико-электронные системы с матричными приемниками излучения. – М.: Логос, 2007. – 192 с.
4. Тарасов В.В., Торишина И.П., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы 3-го поколения / Под ред. Ю.Г.Якушенкова. – М.: Логос, 2011. – 192 с.
5. Krueger M.R., Lee J.N., von Berg D.L. et al. System consideration of aerial infrared imaging for wide area persistent surveillance. -SPIE Proc., vol.8014 (2011), p.p.8014OJ-1...10
6. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. – М.: Логос, 2011. – 568 с.
7. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.

Поступила 9 апреля 2012 г.

Рекомендована кафедрой оптико-электронных приборов МИИГАиК

УДК 378

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

УСТРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ АСИММЕТРИИ КАК ИНСТРУМЕНТ
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАЗОВАНИЯ

Соискатель Н.М. Оболяева

*Московский государственный университет геодезии и картографии**E-mail: nataly@miem.edu.ru*

Аннотация. Рассматриваются особенности информационной асимметрии, которая возможна в сфере образования. Показано, что современное образование опирается на информационные и телекоммуникационные технологии, на методы информационного управления. Выделены две причины асимметрии применительно к образованию по информированности и по информационной ситуации. Раскрыты и показаны различия двух видов качества в вузе: внутреннего (нормативного) и внешнего (рыночного). Внешнее качество определяется мерой конкурентоспособности специалистов на рынке труда и их сравнительной активностью в профессиональной деятельности и карьерном росте.

Ключевые слова: информационная асимметрия; качество; образование; эффективность управленческой деятельности

Abstract. Asymmetry in information, which is possible in education, is considered. It is shown that modern education is based on information and communications technologies, on the methods of information management. Two reasons for this asymmetry with respect to the formation of knowledge and information on the situation were identified. The differences between the two types of quality in universities are disclosed: domestic (regulatory) and external (market). It is shown that external quality measure is determined by the competitiveness of professionals in the labor market and their relative activity in professional and career growth.

Keywords: asymmetry in information; quality; education; efficiency of administrative activity

Информационная асимметрия — это такая ситуация, когда один из участников сделки или иного взаимодействия располагает большей по объему или более качественной информацией, чем другой. Исследованием информационной асимметрии занимался Джордж Акерлоф, что принесло ему Нобелевскую премию 2001 г. В России известна его большая статья с критикой младореформаторов периода Ельцина.

Следствием информационной асимметрии является тенденция ухудшения среднего качества товара на рынке, которая получила название *неблагоприятный отбор* (*Adverse selection*) [1]. Информационная асимметрия имеет свою специфику в разных сферах и странах. Однако в образовании она пока не изучена.

Первоначально Дж. Акерлоф рассматривал информационную асимметрию как следствие неравной информированности. Впоследствии он развил ее применительно к более широкой форме неравенства, такой как расовое неравенство, неравенство в трудоустройстве по половому признаку и пр.

Поэтому выделим две причины асимметрии применительно к образованию по информированности и по информационной ситуации [2]. Необходимо учесть, что основой управления в современных учебных заведениях являются информационные и коммуникационные технологии (ИКТ) [3]. Это также выражается в появлении такой формы управления как информационное управление [4]. Все это повышает актуальность исследования влияния информационной асимметрии на управление вузом и на качество образования.

Концептуальным в данной работе считаем наличие двух видов качества в вузе [5]: внутреннего (норматив-

ного) и внешнего (рыночного).

Нормативное качество определяется совокупностью требований, которые выдвигает национальная система образования, для того чтобы знания, получаемые на основе образовательных услуг, обеспечивали возможность удовлетворять минимальные потребности потребителей. Это качество определяется *мерой соответствия учебным нормативам*, принятым в данной стране и вузе. Оно оценивается в период обучения. Эта характеристика качества имеет статистический характер, поскольку не учитывает изменение требований рынка труда, интеллектуальный капитал вуза, бренд вуза и личные способности обучаемого.

Рыночное качество определяется совокупностью требований, которые выдвигает национальный и международный рынок труда. Оно определяется на основе сравнения между выпускниками вузов и по этой причине его называют «сравнительное качество» [5, 6]. Это качество определяется *мерой конкурентоспособности* специалистов на рынке труда и их сравнительной активностью в профессиональной деятельности и карьерном росте [7]. Эта характеристика качества имеет и статистический, и индивидуальный характер. Оно оценивается после периода обучения. Это качество определяется результатом применения полученных знаний и квалификации специалиста для продвижения в служебной и карьерной деятельности и его личными качествами как специалиста и личности.

Информационная асимметрия «по информированности» возникает у лиц, собирающихся поступать в вуз. Причина такой асимметрии в недостаточной информированности о данном вузе. Этот тип асимметрии устра-

няется днем «открытых дверей», наличием у вуза собственного портала [8]. При этом на портале должна быть информация:

- об особенностях и характере обучения в вузе;
- о наличии научных или технологических школ и традиций вуза;
- о трудоустройстве и карьерах наиболее успешных выпускников.

Если последняя информация отсутствует, то данный вуз можно рассматривать чаще всего как непрестижный или как вуз, искусственно создающий асимметрию.

Существенным для вузов является тип информационной асимметрии, которое Дж. Аккерлоф называет «Проблемой царя Соломона». Это состояние асимметрии, при которой менее квалифицированный руководитель пытается оценить работу квалифицированного специалиста. В этом случае имеет место попытка создать только нормативный контроль за деятельностью преподавателей. При этом руководитель выносит суждение о работе квалифицированных специалистов не по их достижениям, а по степени соответствия или несоответствия отдельным формальным параметрам из работы.

Борьбой с такой асимметрией является создание «портфолио», в которой отражается вся деятельность преподавателя.

Развитием этой асимметрии является неравномерная нагрузка преподавателей разной квалификации различными неоплачиваемыми работами. Как правило, квалифицированный преподаватель лучше составит рабочую программу или учебный план. Поэтому ему без всякой оплаты поручают больше таких работ, пользоваться плодами которых будут менее квалифицированные сотрудники.

Эта асимметрия «по ситуации» приводит к асимметрии в мотивациях сотрудников. Квалифицированные преподаватели не заинтересованы делать качественные пособия и планы, поскольку их все равно используют другие без какой либо компенсации затраченного труда. Менее квалифицированные преподаватели не заинтересованы в создании качественных пособий и иных методических работ, поскольку им проще все переписать у других. В результате возникает классическая ситуация «неблагоприятного отбора» [1], которая ухудшает качество методических материалов и в итоге качество образования.

Борьбой с такой асимметрией является материальная оценка руководством не только количества, но и качества методических работ в вузе. Для оценки необходимо привлечение экспертов сторонних организаций. В качестве механизма распределения вознаграждения можно использовать коэффициент трудового участия.

Еще одним видом такой же «Проблемы царя Соломона» является оценка студентами преподавателя. Есть вузы, в которых студенты ставят оценки преподавателям в аспекте их профессиональной деятельности. Здесь уместно вспомнить опыт преподавания Л.Д. Ландау, который в Харьковском университете поставил 183 двойки по квантовой механике. Как оценили бы его студенты? Ответ ясен. Студент – не специалист, и он не в состоянии оценить профессиональную деятельность специалиста, разве только в аспекте его коммуникабельности и человеческого отношения. Однако это не является характеристикой специальной подготовки человека.

Очевидно, что качество образования определяется наличием кадрового состава и его внутренним распределением и мотивацией преподавателей. Часто имеет место асимметрия «по ситуации» между факультетами,

обусловленная интересами факультетов, которые идут в разрез с общими интересами вуза. Например, с целью обеспечения нагрузки своим преподавателям факультет дает предметы, профили кафедр других факультетов, на свои кафедры, где специалисты либо слабее, либо слабо знают данные предметы. Эта асимметрия обусловлена существующей в вузах практикой закрепления дисциплин по факультетам и кафедрам безотносительно к наличию и динамики преподавательских кадров.

В свою очередь, эта асимметрия приводит к асимметрии в подготовке студентов. На разных потоках один и тот же предмет читают разные преподаватели, имеющие существенно различную квалификацию в данной области. В результате эта асимметрия «по ситуации» переносится на подготовку студентов и создает асимметрию «по информированности». Студенты, прошедшие один предмет у преподавателей разной квалификации, имеют существенно разный уровень знаний. Как правило, эта асимметрия скрывается за формальными оценками, которые слабый преподаватель завышает, а требовательный ставить объективно. Борьба с такой асимметрией – независимое тестирование третьими лицами знаний студентов.

К асимметрии «по ситуации» относятся многочисленные нарушения авторских прав, практикуемые в Российских вузах. Простейшее нарушение обусловлено отсутствием контроля за материалами в методических указаниях и учебных пособиях выпускаемых преподавателями вуза. Это имеет место как внутри вуза, так и между вузами. Молодые преподаватели часто переписывают фрагменты работ своих старших коллег и копируют свое пособие по материалам чужих. Устранение такой асимметрии возможно путем создания специального органа или службы в вузе по контролю за авторскими правами.

В небольшой статье нет возможности перечислить все виды асимметрии, ухудшающей качество образования. Однако следует вывод, что наличие асимметрии по «информированности» и «по ситуации» является негативом, который ухудшает качество образования. Необходимо выявлять различные виды асимметрии в каждом вузе и устранять их, исходя из реальной ситуации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Цветков В.Я., Васютинская С.И., Соломатов В.И. Информационная асимметрия в картографо-геодезическом производстве. // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2008. – №1. – С. 134 – 141.
2. Розенберг И.Н., Цветков В.Я. Информационная ситуация // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – №12. – С.126–127.
3. Цветков В.Я. Методологические основы применения ИКТ при управлении высшим учебным заведением // Информатизация образования и науки. – 2010. – №1(5). – С. 25 - 30.
4. Корнаков А.Н., Цветков В.Я. Особенности информационного подхода в управлении // Вестник Московского областного университета. Серия Экономика – 2010. – № 2. – С.131–134.
5. Сахарчук Е. И. Внутривузовская система управления качеством: опыт реализации / сб. Межд. науч.-практ. конф. Управление качеством высшего образования в условиях перехода к двухступенчатой системе подготовки кадров: Минск, 6–7 июня 2007 г. – Мн.: БГУ, 2007. – С. 86–89.
6. Малинников В.А., Цветков В.Я. Образовательные услуги как фактор качества образования. // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2009. – №3. – С. 80–84.
7. Цветков В.Я., Пушкарева К.А. Компетенции и конкурентоспособность персонала // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2010. – №1. – С. 85–86.
8. Малинников В.А., Цветков В.Я. Состояние и развитие порталов. // Изв. вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2010. – №1. – С.76–81.

Поступила 12 октября 2011 г.
Рекомендована кафедрой экономики
и предпринимательства МИИГАиК

АЛФАВИТНО-ТЕМАТИЧЕСКИЙ УКАЗАТЕЛЬ

СТАТЬИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В ЖУРНАЛЕ
ИЗВ. ВУЗОВ «ГЕОДЕЗИЯ И АЭРОФОТОСЪЕМКА» В 2012 г.

Разделы, авторы и названия статей	№	стр.
АСТРОНОМИЯ, ГРАВИМЕТРИЯ И КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ		
Антонович К.М. Тропосферная задержка при гнсс измерениях	2/1	6
Антонович К.М., Косарев Н.К. Метод контроля кодовых и фазовых псевдодальностей в пространстве координат	2/1	11
Дударев В.И. Оценка влияния изменения гравитационного поля Земли на движение спутника	2	8
Карпик А.П. Оценка возможностей мониторинга земель территорий спутниковым методом	2/1	3
Крылов В.И. Негравитационные возмущения в движении комет	5	3
Крылов В.И. Применение регуляризации при интегрировании уравнений движения комет.....	4	3
Куприянов А.О., Климовский А.М. Экспериментальная оценка эффективности применения режима кинематики в реальном времени для решения навигационно-геодезических задач.....	1	3
Куприянов А.О., Климовский А.М. Экспериментальные исследования динамического режима кинематики в реальном времени (РТК) относительно движущейся базовой станции.....	2	17
Куприянов А.О., Кузнецов С.П. Локальные преобразования систем координат, реализованные в программных пакетах по обработке спутниковых измерений	3	3
Куприянов В.В., Девяткин А.В. Калибровка углоизмерительных инструментов по ПЗС-наблюдениям звездных площадок	4	8
Лазарев Е.Н., Надеждина И.Е., Зубарев А.Э., Карачевцева И.П. Новая опорная сеть, цифровая модель и гипсометрическая карта спутника Сатурна Энцелад	6	9
Малинников В.А., Учаев Д.В., Оберст Ю. Методика автоматизированного обнаружения кратеров на поверхности небесных тел по их оптическим изображениям.....	6	12
Нгуен Ван Шанг. Уравнивание пересечений треков спутниковой альтиметрии на акватории, прилегающей к Вьетнаму.....	3	8
Огородова Л.В., Кононихин А.А., Надеждина И.Е. Вычисление геодезических координат для трехосного отсчетного эллипсоида	5	9
Сугаинова Л.С. Создание регулярной сетки усредненных значений вторых производных геопотенциала по результатам проекта ГОСЕ.....	5	5
Фам Хоанг Лонг К оценке точности определения интегральной электронной концентрации в ионосфере при измерениях глобальными спутниковыми системами.....	5	14
Фам Чоанг Лонг Методика определения значений тес и восстановления локальной карты ионосферы на основе измерений отдельным двухчастотным спутниковым приемником	4	20
Федянин М.Р., Лазарев В.М. Повышение точности определения геодезических координат пунктов опорных геодезических сетей спутниковыми методами на основе модели трехосного атмосферного эллипсоида.	3	13
Цуриков А.А. Исследование точности определения астрономо-геодезических уклонов отвеса с применением GPS, ГЛОНАСС-технологий	2	13
Черный А.Н. Новый взгляд на формулу Планка	4	26
Черный А.Н. О рождении фотонов с отрицательной энергией в физическом вакууме	2	3
Шелаев Д.В. Исследование точности определения траектории движения по результатам ГНСС +ИНС измерений при отсутствии ГНСС сигналов.....	4	15
Учаев Дм.В., Малинников В.А., Оберст Ю. Мультифрактальный подход к моделированию распределения кратеров по их диаметрам.....	6	3
ГЕОДЕЗИЯ		
Акреш Мохаммед Сабри А.А. Редуцирование расстояний на плоскости проекций Меркатора и Ламберта	3	25
Альмунайзел Наим. О создании геодезических сетей республики Сирия.....	3	23
Баранов В.Н., Королевич В.В. Оценка результата определения аномалии высоты на ограниченной территории методом средней квадратической коллокации	2	25
Динь Тхи Ле Ха Редукция координат пунктов плановой опорной сети при строительстве плотин.....	6	21
Жарницкий В.Я., Андреев Е.В. Особенности влияния неэксплуатационных динамических нагрузок на гидротехнические сооружения	5	25
Зимин В.М. О геометрической интерпретации сущности уравнивания геодезической сети параметрическим способом (в порядке обсуждения)	2	35
Кассир Ахмад Али. Современное состояние геодезической сети на территории Ливанской Республики.....	3	30
Клюшин Е.Б., Кравчук И.М., Чинь Тхань Чьонг, Чан Куанг Хок. Учет влияния кривизны Земли при инженерно-геодезических работах	1	11
Колмогоров В.Г. Оценка пространственно-временных характеристик современной геодинамики Сибири.....	2/1	33
Колмогоров В.Г., Калюжин В.А., Одинцова Н.В. Особенности подготовки карт (планов) границ зон охраны объектов культурного наследия	2/1	26
Колмогоров В.Г., Колмогорова П.П. Современные деформации земной поверхности Енисейского края.....	2/1	22

Колмогоров В.Г., Астащенко Г.Г. О возможности изучения деформационного состояния земной поверхности по результатам повторного высокоточного нивелирования.....	2/1	16
Лисицкий Д.В., Тимофеев В.Ю. Геодезия для информационного общества.....	2/1	35
Мазуров Б.Т. Анализ геодезических измерений с учетом динамики объектов мониторинга.....	2/1	18
Мазурова Е.М., Лапшин А.Ю., Меньшова Е.В. К вопросу о сравнении методов вычисления аномалии высоты	4	40
Маркузе Ю.И., Альмунайзел Наим Определение площадей участков местности и сооружений в кадастровых работах.....	5	20
Павловская О.Г., Хорошилов В.С., Носков М.Ф. Методика выделения однородных оползневых зон по результатам геодезических наблюдений вертикальных перемещений осадочных реперов	5	31
Падве В.А. Потенциал универсального синтезированного алгоритма МНК-оптимизации геодезических данных	4	34
Пенев П., Пенева Е. Преобразование прямоугольных геоцентрических координат в геодезические без применения итерации.....	3	34
Пупков Ю.А., Мурзинцев П.П., Буренков Д.Б., Полянский А.В., Сердаков Л.Е. Исследование точностных характеристик внутреннего электронного уровня API LASER TRACKER 3	6	25
Тетерин Г.Н. Четыре парадигмы и законы развития геодезии.....	4	30
Хорошилов В.С., Носков М.Ф. Деформационный мониторинг объектов недвижимости для целей кадастрового учета	2/1	30
Чан Куанг Хок, Чинь Тхань Чыонг, Динь Тхи Ле Ха. Оценка точности вычисления приращений координат в проекции Гаусса–Крюгера по результатам спутниковых измерений	2	30
Чугреев И.Г., Бахарев Ф.С. Некоторые особенности получения и обработки полевой информации.....	3	21
Чугреев И.Г., Владимиров М.Р., Бахарев Ф.С. К вопросу о выборе методики проведения тахеометрических съемок в современных условиях	2	20
Шеховцов Г.А., Шеховцова Р.П. Теоретические основы одностороннего координатного способа определения крена сооружений башенного типа	5	30
Юзефович А.П., Ощепков И.А. Сравнение гравитационного поля глобальной модели EGM2008 с наземными данными	6	19
КОСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА, АЭРОФОТОСЪЕМКА И ФОТОГРАММЕТРИЯ		
Алексеева О.М. Методика расчета спектральных характеристик облачности для имитации полей яркости	3	48
Алексеева О.М. Принципы построения мультиклассификатора космических снимков земной поверхности	4	51
Антипов И.Т., Зяткова Л.К., Комиссаров А.В. Общие принципы формирования виртуальных снимков для наземной лазерной съемки	2/1	45
Антипов И.Т., Зяткова Л.К., Хлебникова Т.А. Оценка точности измерительных трехмерных видеосцен.....	2/1	52
Антипов И.Т., Павлова А.И., Каличкин В.К. Применение автоматизированных методов анализа геоизображений для агроэкологической оценки земель.....	2/1	40
Гук А.П., Алтынцева М.А. Преобразование Tasseled Cap для космических снимков FORMOSAT-2	3	39
Живичин А.Н., Флегонтов А.В., Воробьев А.О. Развитие навигации в России	1	30
Журкин И.Г., Груздев С.С. Концепция программно-аппаратной платформы по трёхмерному моделированию космического пространства	4	45
Зверев А.Т., Гаврилова В.В. Разработка теории и методов оценки и прогноза состояния природных ресурсов с использованием космических снимков	5	44
Зверев А.Т., Фисенко Е.В. Современные методы определения засушливых земель по космическим снимкам	3	53
Марчуков В.С., Чеман Джамал Ахмад Оценка изменений застроенных территорий и растительного покрова Ирака по мезозональным космическим снимкам.....	5	41
Милованова М.С., Новиков В.Ю., Демьянов А.А. Исследования динамики изменений береговых линий островов архипелага Земли Франца-Иосифа по материалам космических съемок.....	1	18
Михайлов А.П., Дубинский В.Б., Зельков К.М. Некоторые особенности фотограмметрической обработки космических кадровых снимков Фобоса	1	15
Павлов В.И., Корнилов Ю.Н. Влияние кривизны поверхности Земли на смещение изображений точек на мелкомасштабных снимках.....	2	42
Пацын В.С., Андреев М.В., Гречищев А.В., Малинников В.А., Оберст Ю. Спектральная неоднородность поверхности Фобоса: наблюдения камерой HRSC.....	5	35
Трубина Л.К., Пяткин В.П., Зяткова Л.К. Цифровые фотограмметрические технологии в информационном обеспечении экосистем.....	2/1	49
Цветков В.Я. Расчет координат точек произвольно расположенной плоскости с использованием одиночного снимка.....	4	49
Черный А.Н., Михайлов А.П., Ли А.В. Измерительные и дешифровочные качества цифрового рентгеновского снимка	5	48
Шелаев Д.В. Оценка возможности уменьшения полетного времени и затрат на проведение аэросъемочных работ с помощью комплексированной GPS/ИНС-системы и пост-обработки измерений	1	23
КАРТОГРАФИЯ		
Бобров И.Н., Воронов Г.Б. К вопросу оптимизации выбора и использования в геоинформационных системах равноугольных картографических проекций	2	54
Богданова А.А. Оценка применимости статистических данных при картографировании на глобальном уровне	2	51

Борисова М.В. Создание электронных экспресс карт с применением методики автоматизированной тематической обработки космических изображений на основе системы <i>n</i> -мерных спектральных признаков.....	2	48
Волкова С.С. Проблемы комплексного картографического обеспечения сферы противодействия незаконному обороту наркотиков.....	2	58
Гаврилова В.В., Марчуков В.С. Разработка архитектуры, алгоритмов и принципов функционирования системы динамического картографирования состояния природных ресурсов.....	5	55
Голодникова И.Ю. Ио — особенности рельефа и его картографирования.....	1	42
Гук А.П., Дышлюк С.С., Павлов Е.В. Формирование картографических изображений в среде ГИС.....	2/1	62
Гук А.П., Дышлюк С.С., Сухорукова С.А. Картографическая интерпретация природопользования как элемента устойчивого развития территории.....	2/1	66
Гук А.П., Матерук А.Ю., Утробина Е.С. Придание смысловых дружественных свойств интерфейсу в различных картографических ГИС.....	2/1	84
Жукова О.Ю., Ковалёва О.В. Об использовании цветовой пластики (пространственного воздействия цвета) в оформлении карт.....	1	46
Жукова О.Ю., Гедз Л.В. Оценка влияния внешних факторов на зрительное восприятие цветной картографической продукции.....	6	29
Загребин Г.И. Разработка атласа картографических проекций на крупные регионы Российской Федерации...	5	52
Захаренко И.А. Сибирская экспедиция русского географического общества и участие в ней выпускников Константиновского межевого института.....	2	62
Зятькова Л.К., Комиссарова Е.В., Колесников А.А. Современные web-технологии для создания интерактивных мультимедийных картографических произведений.....	2/1	95
Зятькова Л.К., Комиссарова Е.В., Сизикова Т.С. Мультимедийные технологии и создание современных учебных картографических произведений для высшей школы.....	2/1	109
Зятькова Л.К., Сухорукова С.А., Дышлюк С.С. Картографический аспект качества жизни населения (на примере Новосибирской области).....	2/1	70
Ковалёва О.В. Психофизический и физиологический аспекты восприятия графической информации применительно к изображению рельефа на картах.....	3	75
Лисицкий Д.В., Кацко С.Ю. Изменение роли картографических изображений в процессе формирования единого электронного геопространства.....	2/1	58
Лисицкий Д.В., Хорошилов В.С., Бугаков П.Ю. Картографическое отображение трехмерных моделей местности.....	2/1	98
Лисицкий Д.В., Бугаков П.Ю. Методические основы цифрового трехмерного картографирования.....	6	37
Лукашов А.А. Обоснование необходимости расширения терминологической базы космической топонимики.....	1	36
Мазуров Б.Т., Николаева О.Н., Ромашова Л.А. Интегральные экологические карты как инструмент исследования динамики экологической обстановки промышленного центра.....	2/1	88
Мазуров Б.Т., Николаева О.Н., Ромашова Л.А., Волкова О.А. Опыт использования цифровых карт для анализа радиационной обстановки.....	2/1	91
Моисеева В.С. Научно-методический подход при отображении на картограммах пространственных различий.....	2	44
Нырцов М.В., Флейс М.Э., Борисов М.М. Картографирование астероида 433 Эрос в равнопромежуточных вдоль меридианов цилиндрической и азимутальной проекциях трехосного эллипсоида.....	1	54
Ромашова Л.А., Николаева О.Н., Волкова О.А. Роль картографического метода исследования в решении проблем радиационной обстановки окружающей среды.....	6	34
Сладкопечев С.А., Богданова А.А. Картографические методы оценки нарушенных земель.....	1	33
Татаренко В.И., Елишина Т.Е. Приемы пространственного анализа исходных картографических данных при создании геоморфологических карт в среде ГИС.....	2/1	105
Татаренко В.И., Касьянова Е.Л. Разработка системы обслуживания туристической сети Интернет.....	2/1	103
Уставич Г.А., Каретина И.П., Кутубаева А.А. Комбинированный способ создания виртуальных карт и планов инфраструктуры населенных пунктов.....	2/1	80
Уставич Г.А., Пошивайло Я.Г., Каретина И.П. Реконструкция почвенной карты антропогенно-преобразованных ландшафтов.....	2/1	72
Уставич Г.А., Утробина Е.С. Новый вид картографических произведений на районы субъектов Российской Федерации для широкого круга потребителей.....	2/1	76
Хорошилов В.С., Комиссарова Е.В., Колесников А.А. Эффекты анимации в пользовательских интерфейсах с позиций картографии.....	2/1	113
Черниговский Ю.М., Долгополов Д.В., Даргель А.В., Макарына М.И. Сертификация как инструмент повышения качества цифровой картографической продукции на примере работы испытательной лаборатории «Вектор» (МИИГАиК).....	3	70
Чибряков Я.Ю. Картографический метод исследования обеспеченности территорий транспортной сетью.....	3	64
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ		
Анциферов А.Ю. Технологические особенности идентификации состояния почв методами дистанционного зондирования.....	4	76
Безбородов В.Г., Бойков В.В., Булаева Е.А. Опыт спутникового мониторинга плотины Нижнекамской ГЭС ...	4	72
Бондур В.Г., Васякин С.А. Космический мониторинг атлантической зоны тропического циклогенеза.....	5	73

Бондур В.Г., Воронова О.С. Вариации уходящего длинноволнового излучения при подготовке и протекании сильных землетрясений на территории России в 2008 и 2009 годах.....	1	79
Буров В.Н., Анциферов А.Ю. Альтернатива в решении задач идентификации поллютантов на поверхности загрязненных почв методами дистанционного зондирования.....	3	84
Журкин И.Г., Сычёв Г.Г., Грузинов В.С. Методика измерения разрешающей способности космических систем дистанционного зондирования с помощью искусственных объектов.....	3	81
Лазарев В.М. Разработка комплексной системы геодезического обеспечения геомониторинга геоэкологической безопасности на оползнеопасных территориях.....	4	65
Лашков Н.П., Холощев А.Н. Перспективы использования навигационных систем в интересах безопасности дорожного движения.....	6	43
Лисицкий Д.В., Мурзинцев П.П. Геодезический мониторинг территорий.....	2/1	116
Майорова О.В. Влияние полигонов ТБО на окружающую среду.....	1	71
Мамин Р.Г., Шилова Л.А. Инновационные методы управления отходами с использованием технологий дистанционного зондирования.....	5	70
Марова А.А., Литвиненко М.В. Управление в системе мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.....	4	84
Мельникова Е.Б., Яковлев А.Р. Прогноз и оценка состояния месторождений твердых полезных ископаемых по материалам космической съемки.....	4	80
Милованова М.С. Особенности геоинформационного мониторинга арктических территорий.....	5	66
Миртова И.А., Малышкина А.И., Вахниченко А.С. Аэрокосмический топографический мониторинг нарушений городских земель (на примере Москвы).....	4	58
Москвин В.Н., Жаров А.В. Мониторинг и охрана земель населенных пунктов Сибири на примере Новосибирска.....	2/1	118
Престон Н.Е. Особенности пространственного распределения радиационной температуры различных видов ландшафтов на тепловых ИК-снимках.....	5	63
Садов А.В., Зеленков В.В. Аэрокосмический мониторинг городов и городских агломераций.....	6	48
Садова С.В. Система мероприятий по улучшению состояния земель.....	2	71
Савиных В.П., Малинников В.А., Учаев Д.В., Учаев Дм.В. Автоматизированная технология дешифрирования и анализа линейных и кольцевых структур на космических изображениях.....	6	53
Скворцова О.М. Разработка структуры информационного обеспечения для автоматизированного построения мониторинговых карт сверхкрупных городов.....	2	68
Скнарина Н.А. Классификация оползнеопасных территорий.....	1	67
Трубина Л.К., Панов Д.В. Некоторые аспекты учета экологической составляющей при мониторинге земель городских территорий.....	2/1	121
Учаев Дм.В., Учаев Д.В., Чабан Л.Н. Разработка методики выделения границ лесных экосистем посредством мультифрактальной сегментации спутниковых изображений высокого разрешения.....	4	86
Чуфарова Н.Е. Фрактальный анализ районов городской застройки на снимках в тепловом ИК-диапазоне.....	1	62
Якутин М.В., Дубовик Д.С. Использование данных дистанционного зондирования в мониторинге экосистем Турано-Уюкской котловины.....	1	75
ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....		
Бахарев Ф.С. Современные структуры баз данных цифровых моделей рельефа.....	5	82
Бычков В.О. К вопросу о выборе системы управления базами данных инженерно-геодезических изысканий.....	6	66
Васютинский И.Ю., Цветков В.Я., Шингарева К.Б., Болотин В.Б., Пусенков В.Б., Кожевников Д.И. Тенденции развития основных школ управления.....	1	90
Вербицкая Е.А. Сверточные нейронные сети и их применение для задач классификации и распознавания пространственных образов.....	6	80
Гаврилова В.В., Хусаинова Р.Ф. Пространственное позиционирование в качестве средства разграничения доступа к информации.....	6	83
Горохова Т.И. Использование вейвлет-анализа для предварительной обработки результатов одночастотных ГНСС-измерений.....	4	97
Журкин И.Г., Заблочкий В.Р. Сборка и редактирование ГИСч слоев на мобильном устройстве с помощью программы GEOSSET MANAGER.....	2	79
Зубков С.А. Концепция и технология проектирования хранилищ геоданных для систем поддержки принятия решений в области транспорта.....	3	89
Касьянова Е.Л., Кикин П.М. Справочно-аналитическая ГИС на территории социально-экономического региона.....	5	85
Кондауров И.Н., Беляев В.А. Использование ГИС-сервисов в системах с подвижными GPS-приемниками.....	6	72
Кудинова А.В., Андреева А.Ю. Использование отраслевой информационной системы в составе единого геоинформационного пространства Москвы.....	4	93
Лисицкий Д.В., Утробина Е.С., Колесников А.А., Комиссарова Е.В. Формализация процессов формирования мультимедийных продуктов в инструментальной справочно-аналитической ГИС.....	3	93
Мазуров Б.Т., Николаева О.Н., Ромашова Л.А. Совершенствование информационной базы региональных ГИС для инвентаризации и картографирования природных ресурсов.....	2/1	130
Майоров А.А., Цветков В.Я. Геореференция как применение пространственных отношений в геоинформатике.....	3	87

Майоров А.А., Шкуров Ф.В., Дубов С.С., Шевчук А.С. О подходах к созданию распределенного информационно-технологического инфраструктурного комплекса передачи, хранения и обработки информационных ресурсов Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК	6	69
Майоров А.А., Соловьев И.В., Шкуров Ф.В., Дубов С.С. О многоуровневой архитектурной концепции информационного хранилища пространственных или картографо-геодезических данных	6	76
Майоров А.А., Цветков В.Я., Маркелов В.М. Геоинформационный подход в логистике	6	93
Митюшина Е.С. Систематизация и визуализация разнородных данных о тропических циклонах	6	87
Татаренко В.И., Касьянова Е.Л., Кикин П.М. Создание карт в инструментальной справочно-аналитической ГИС	2/1	126
Усманов У.Р. Исследование свойств и методов получения, накопления, обработки информации в библиотечно-информационных системах для использования в ГИС	1	86
Усманов У.Р. Развитие образовательных геоинформационных ресурсов картографо-геодезического профиля на основе единых требований к информационным библиотечным системам отрасли	2	74
Хлебникова Т.А. Оценка эффективности технологии создания измерительных трехмерных видеосцен	3	99
Хорошилов В.С., Сухорукова С.А., Дышлюк С.С. Применение ГИС-технологий в территориальном планировании	2/1	124
КАДАСТР, ЭКОНОМИКА И РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ		
Антипов И.Т., Гиниятов И.А. О необходимости введения классификации документов государственного кадастра недвижимости	2/1	162
Антипов И.Т., Москвин В.Н., Лисицкий Д.В. Формализация картографического обеспечения землеустройства, кадастра и мониторинга земель	2/1	165
Антонович К.М., Дубровский А.В. Современные направления информационного обеспечения кадастра для целей навигации	2/1	174
Антонович К.М., Николаев Н.А., Струков А.А. Геопространственное обеспечение землеустроительных и кадастровых работ	2/1	139
Архангельская Л.Ю. Практика применения факторного индексного анализа в системе управленческого учета для предприятий топографо-геодезического профиля	4	106
Богоутинов Б.Б., Соломатов В.И. Мотивационная составляющая инвестирования в промышленные комплексы	4	116
Быкова Е.Н. Создание 3D-модели спортивно-концертного комплекса на основе лазерного сканирования	5	89
Ван А.В., Гиниятов И.А. К вопросу об актуализации кадастровых сведений и мониторинге объектов недвижимости	2/1	148
Ван А.В., Николаева О.Н. Экологические критерии кадастровой оценки земель	2/1	143
Домокуров В.В., Васютинская С.И., Якушова Е.С. Организация и функционирование системы контроля на примере ЗАО «Каспийский трубопроводный консорциум»	1	114
Дубровский А.В., Колмогоров В.Г. Проблемные вопросы рационального землепользования и защиты земель Новосибирского водохранилища	2/1	178
Жарников В.Б., Ван А.В., Николаева О.Н. Учет экологических функций литосферы при оценке территорий ..	2/1	151
Илюшина Т.В. Особенности формирования кадастра природных ресурсов в России (X – начало XX в.)	1	95
Карпик А.П., Хорошилов В.С. Сущность геоинформационного пространства территорий как единой основы развития государственного кадастра недвижимости	2/1	134
Киселева А.О., Ключиниченко В.Н. Формирование идентификационного номера объектов капитального строительства	5	91
Ключиниченко В.Н., Киселева А.О. О систематизации структуры показателей объектов кадастра недвижимости	2	87
Колмогоров В.Г., Норкин В.И. Анализ правового регулирования выдела земельных долей в России	2/1	156
Кудинова А.В., Андреева А.Ю. Использование отраслевой муниципальной ГИС для решения пространственно-аналитических задач территориального управления	6	97
Лебедев Ю.В., Малыгина О.И., Троценко Е.С. Современные подходы к формированию земельно-информационной системы для управления аграрно-промышленным комплексом	2/1	169
Лебедев Ю.В., Трубина Л.К. Методическое обеспечение комплексной оценки лесных земель	2/1	188
Лебедев Ю.В., Трубина Л.К. Принципы учета натуральных показателей при земельно-оценочных работах....	2/1	185
Лелюхина А.М., Федорова Ю.М. Определение стоимости земельных участков под промышленными предприятиями	4	111
Москвин В.Н., Гиголаева И.С. Государственное регулирование операций с недвижимостью на примере модели ипотеки	2/1	172
Москвин В.Н., Каленицкий А.И. Государственное регулирование рынка недвижимости на основе формирования технической, юридической и экономической составляющих ГКН	2/1	160
Новоселов Ю.А., Гиниятов И.А. Использование результатов государственного мониторинга земель сельскохозяйственного назначения для управления территориями агропромышленного комплекса	2/1	154
Рагзин В.Н., Озنامهц В.В., Прохорова Е.С. Роль и место конкуренции для строительной фирмы	1	110
Савиных В.П., Васютинский И.Ю., Якушова Е.С. Анализ организационной структуры предприятия с применением теории графов	6	99
Снежко И.И. Опыт создания модели 3D-кадастра в странах Европейского Союза	2	89
Трубина Л.К., Селезнев Б.В., Панов Д.В. Подходы к оценке экологического состояния кадастровых участков городских территорий	2/1	182

Уставич Г.А., Аврунев Е.И. Совершенствование структуры топографических планов для целей государственного кадастра недвижимости.....	2/1	136
Фельдман И.А., Васютинская С.И., Кувекина О.А. Стохастическая модель оптимального оценивания.....	1	109
Фельдман И.А., Иванова В.А., Болотин В.В., Ознамец В.В., Хабарова И.А. Автоматизация процесса установления категорий трудности в топографо-геодезическом производстве	1	105
Цветков В.Я., Васютинский И.Ю., Пусенков В.Б., Фесенко И.А., Синецына А.Л. Сетецентрическое управление промышленным предприятием.....	1	106
Цветков В.Я., Конотопов А.И. Особенности регионального управления в России	4	102
Широкопад И.И. Землеустроительные действия в Древней Руси	2	93

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Авхадеев В.Г., Можаров Г.А., Панов А.А., Чугреев И.Г., Савостин П.И., Былинушкин К.Н. Анализ геометрических параметров лазерных пучков, определяющих измерительный диапазон зеркальной сканирующей системы	3	111
Ашираф А. Бешир, Рябова Н.М., Сальников В.Г., Теплых А.Н., Рахымбердина М.Е. Исследование влияния вибрации на точность измерений цифровыми нивелирами и электронными тахеометрами.....	3	123
Влахко В.Б. Методы расчета нецентрированных систем	6	114
Волков Н.Н. Многоволновый лидар для измерения параметров атмосферного аэрозоля	6	103
Курлаев А.А., Шахпаронов В.М., Измайлов В.П., Карагиоз О.В. Рассеяние энергии в нити подвеса крутильных весов.....	2	102
Останин М.В. Зависимость относительной погрешности датчика дальности базового типа от параметров оптической системы	5	106
Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А., Вурсол А.В., Родимкина Е.Ю., Матвеев Д.С. Конструкционные материалы оптических модулей аппаратов дистанционного зондирования Земли	5	101
Попов Н.Н., Филонов А.С., Юдкина А.А. О работе всероссийской школы-семинара по направлению деятельности национальной нанотехнологической сети «конструкционные наноматериалы»	3	105
Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А., Вурсол А.В., Родимкина Е.Ю., Матвеев Д.С. Конструкционно-функциональные материалы оптических модулей аппаратов дистанционного зондирования Земли	6	107
Соломатин В.А. Оценка точности наземных лазерных сканеров.....	5	110
Торшина И.П., Якушенков Ю.Г. Компьютерное моделирование бортовых оптико-электронных систем дистанционного зондирования	2	96
Хорошев М.В., Попов Н.Н., Родимкина Е.Ю. Конструкционные наноматериалы в лазерных угломерных геодезических приборах.....	5	94
Черепанов П.А. Поверка и калибровка измерительных систем «цифровой нивелир+две штрих-кодовые рейки»	3	119
Шишкин И.П. Компактные объективы миниатюрных проекторов.....	3	115
Якушенков Ю.Г. Выбор схемы сканирования и определение основных конструктивных параметров инфракрасной системы дистанционного зондирования	6	118

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Калугин В.В., Шлапак В.В. Геодезическое инструментоведение — важнейший этап в геодезическом профессиональном образовании	2	106
Кравченко Ю.А. О геоинформационном образовании (в порядке обсуждения).....	1	116
Литвиненко М.В. Технологическая платформа для создания распределенных информационно-образовательных сред и их объединения в единое информационное пространство	2	109
Оболяева Н.М. Устранение информационной асимметрии как инструмент повышения качества образования	6	123
Сладкопечев С.А. Проблемы и перспективы развития геоэкологии	2	111
Тетерин Г.Н. Периоды развития отечественного геодезического образования.....	2	115

ХРОНИКА

В.Б. Дубиновскому — 90 лет!.....	5	115
Вклад П.Р. Поповича в оценку и мониторинг земель Москвы	3	123
Земля из космоса — наиболее эффективные решения (5-я Международная конференция).....	1	120
К 40-летию кафедры оптико-электронных приборов МИИГАиК	2	118
Президент международной федерации геодезистов (FIG) посетил Московский государственный университет геодезии и картографии.....	3	125
Рязанцев Геннадий Евгеньевич.....	1	119

Содержание

АСТРОНОМИЯ, ГРАВИМЕТРИЯ И КОСМИЧЕСКАЯ ГЕОДЕЗИЯ

Учаев Дм.В., Малинников В.А., Оберст Ю. Мультифрактальный подход к моделированию распределения кратеров по их диаметрам.....	3
Лазарев Е.Н., Надеждина И.Е., Зубарев А.Э., Карачевцева И.П. Новая опорная сеть, цифровая модель и гипсометрическая карта спутника Сатурна Энцелад.....	9
Малинников В.А., Учаев Д.В., Оберст Ю. Методика автоматизированного обнаружения кратеров на поверхности небесных тел по их оптическим изображениям.....	12

ГЕОДЕЗИЯ

Юзефович А.П., Ощепков И.А. Сравнение гравитационного поля глобальной модели EGM 2008 с наземными данными	19
Динь Тхи Ха Редукция координат пунктов плановой опорной сети при строительстве плотин.....	21
Пупков Ю.А., Мурзинцев П.П., Буренков Д.Б., Полянский А.В., Сердаков Л.Е. Исследование точностных характеристик внутреннего электронного уровня API LASER TRACKER 3	25

КАРТОГРАФИЯ

Жукова О.Ю., Гедз Л.В. Оценка влияния внешних факторов на зрительное восприятие цветной картографической продукции	29
Ромашова Л.А., Николаева О.Н., Волкова О.А. Роль картографического метода исследования в решении проблем радиационной обстановки окружающей среды.....	34
Лисицкий Д.В., Бугаков П.Ю. Методические основы цифрового трехмерного картографирования	37

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

Лашков Н.П., Холопцев А.Н. Перспективы использования навигационных систем в интересах безопасности дорожного движения	43
Садов А.В., Зеленков В.В. Аэрокосмический мониторинг городов и городских агломераций.....	48
Савиных В.П., Малинников В.А., Учаев Д.В., Учаев Дм.В. Автоматизированная технология дешифрирования и анализа линейных и кольцевых структур на космических изображениях.....	53

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Бычков В.О. К вопросу о выборе системы управления базами данных инженерно-геодезических изысканий	66
Майоров А.А., Шкуров Ф.В., Дубов С.С., Шевчук А.С. О подходах к созданию распределенного информационно-технологического инфраструктурного комплекса передачи, хранения и обработки информационных ресурсов Комплексной лаборатории исследования внеземных территорий МИИГАиК	69
Кондауров И.Н., Беляев В.А. Использование ГИС-сервисов в системах с подвижными GPS-приемниками	72
Майоров А.А., Соловьев И.В., Шкуров Ф.В., Дубов С.С. О многоуровневой архитектурной концепции информационного хранилища пространственных или картографо-геодезических данных	76
Вербицкая Е.А. Сверточные нейронные сети и их применение для задач классификации и распознавания пространственных образов	80
Гаврилова В.В., Хусаинова Р.Ф. Пространственное позиционирование в качестве средства разграничения доступа к информации.....	83
Митюшина Е.С. Систематизация и визуализация разнородных данных о тропических циклонах.....	87
Майоров А.А., Цветков В.Я., Маркелов В.М. Геоинформационный подход в логистике.....	93

КАДАСТР, ЭКОНОМИКА И РАЗВИТИЕ ТЕРРИТОРИЙ

Кудинова А.В., Андреева А.Ю. Использование отраслевой муниципальной ГИС для решения пространственно-аналитических задач территориального управления	97
Савиных В.П., Васютинский И.Ю., Якушова Е.С. Анализ организационной структуры предприятия с применением теории графов.....	99

ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

Волков Н.Н. Многоволновый лидар для измерения параметров атмосферного аэрозоля	103
Попов Н.Н., Филонов А.С., Донцов Г.А., Вурсол А.В., Родимкина Е.Ю., Матвеев Д.С. Конструкционно-функциональные материалы оптических модулей аппаратов дистанционного зондирования Земли	107
Влахко В.Б. Методы расчета нецентрированных систем	114
Якушенков Ю.Г. Выбор схемы сканирования и определение основных конструктивных параметров инфракрасной системы дистанционного зондирования	118

ОРГАНИЗАЦИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Оболяева Н.М. Устранение информационной асимметрии как инструмент повышения качества образования	123
--	-----

Contents

ASTRONOMY, GRAVIMETRY, AND SPACE GEODESY

<i>Uchaev, Dm., Malinnikov, V., Oberst, J.</i> Multifactor approach to crater distribution modelling according to their diameters.....	3
<i>Lazarev, E., Nadezhdina, I., Zubarev, A., Karachentseva, I.</i> New control point network, digital elevation model, and terrain map for Enceladus, a Saturnian moon	9
<i>Malinnikov, V., Uchaev, D., Oberst, J.</i> Automated detection of craters on a planetary surface using their optical images ...	12

GEODESY

<i>Yuzefovitch, A., Oshchepkov, I.</i> Comparison of EGM2008 gravity model to terrestrial data	19
<i>Din Thi Le Ha.</i> Reduction of coordinates of a reference network points at high dams' construction	21
<i>Pupkov, Yu., Murzintsev, P., Burenkov, D., Polyansky, A., Serdakov, L.</i> Research of an inner electronic level precision of API Laser tracker 3	31

CARTOGRAPHY

<i>Zhukova, O., Gedz, L.</i> Estimation of external factors' influence on visual perception of coloured maps	29
<i>Romashova, L., Nikolaeva, O., Volkova, O.</i> The role of cartographic method of investigation in solving the problems of radiation condition of environment.....	34
<i>Lisitsky, D., Bulgakov, P.</i> Methodological basics of digital three-dimensional mapping.....	37

REMOTE SENSING, AND LAND MONITORING

<i>Lashkov, N., Kholoptsev, A.</i> Outlook for use of navigation systems for traffic safety	43
<i>Sadov, A., Zelenkov, V.</i> Aerospace monitoring of urban areas	48
<i>Savinykh, V., Malinnikov, V., Uchaev, D., Uchaev, Dm.</i> Automated methodology of deciphering and analysing linear and circular structures in space imagery	53

GEOINFORMATION TECHNOLOGY

<i>Bychkov, V.</i> On the question of choosing a database management system for geodesic survey	66
<i>Maierov, A., Shkurov, F., Dubov, S., Shevchuk, A.</i> On the approaches of creating a distributed information technology infrastructure for data storage, transmission, and processing in MExLab.....	69
<i>Kondaurov, I., Belyaev, V.</i> Using GIS services in systems with mobile GPS receivers.....	72
<i>Maierov, A., Soloviev, I., Shkurov, F., Dubov, S.</i> On the multi-level architectural concept of a warehouse for spatial data or cartographic and geodetic data	76
<i>Verbitskaya, E.</i> Convolutional neural networks and their use for classification and recognition tasks	80
<i>Gavrilova, V., Khusainova, R.</i> Spatial location as a means of access limitation	83
<i>Mityushina, E.</i> Systematization and visualization of heterogeneous data on tropical cyclones.....	87
<i>Maierov, A., Tsvetkov, V., Markelov, V.</i> Geoinformation approach for logistics.....	93

CADASTRE, LAND ECONOMICS AND DEVELOPMENT

<i>Kudinova, A., Andreeva, A.</i> Using branch-wise municipal GIS for solving spatial-analytical tasks of territory management.....	97
<i>Savinykh, V., Vasyutinsky, I., Yakushova, E.</i> Analysing organization structure of a company with the use of graph theory	99

GEODESIC INSTRUMENT MAKING

<i>Volkov, N.</i> Multispectral lidar for measuring atmospheric aerosol parameters.....	103
<i>Popov, N., Filonov, A., Dontsov, G., Vursol, A., Rodimkina, E., Matveev, D.</i> Construction and functional materials of optical modules of spacecrafts for remote sensing	107
<i>Vlakhko, V.</i> Methods for computation off-axial optical systems.....	114
<i>Yakushenkov, Yu.</i> Choosing a scanning scheme and setting the general constructive parameters of an infrared system for remote sensing.....	118

HIGHER EDUCATION MANAGEMENT

<i>Obolyaeva, N.</i> Elimination of asymmetry in information as a tool for education quality improvement	123
--	-----