

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ГОУ ВПО «СИБИРСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ»

ГЕО-СИБИРЬ-2010

Т. 4

Дистанционные методы зондирования земли и фотограмметрия, мониторинг
окружающей среды, геоэкология

ч. 1

Сборник материалов
VI Международного научного конгресса

Новосибирск
СГГА
2010

УДК 502:528.7
С26

Ответственные за выпуск:

Доктор технических наук, профессор,
проректор по научной работе СГГА, Новосибирск
А.П. Гук

Доктор технических наук, профессор,
проректор по учебно-методической работе МИИГАиК, Москва
И.Г. Журкин

Доктор физико-математических наук, профессор,
академик РАН, директор Института вычислительной математики и
математической геофизики СО РАН, Новосибирск
Б.Г. Михайленко

Кандидат технических наук, директор Института дистанционного зондирования
и природопользования СГГА, Новосибирск
Ю.В. Дементьев
Кандидат технических наук, СГГА, Новосибирск
А.В. Комиссаров

С26 ГЕО-Сибирь-2010. Т. 4. Дистанционные методы зондирования Земли и
фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология. Ч. 1 : сб. матер.
VI Междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2010», 19–29 апреля 2010 г.,
Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 180 с.

ISBN 978-5-87693-379-9 (т. 4, ч. 1)
ISBN 978-5-87693-371-3

В сборнике опубликованы материалы VI Международного научного
конгресса «ГЕО-Сибирь-2010» направления «Дистанционные методы
зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды,
геоэкология».

Печатается по решению Редакционно-издательского совета СГГА
Материалы публикуются в авторской редакции

УДК 502:528.7

ISBN 978-5-87693-379-9 (т. 4, ч. 1)
ISBN 978-5-87693-371-3

© ГОУ ВПО «Сибирская государственная
геодезическая академия», 2010

СОДЕРЖАНИЕ

Алтынцев М.А., Гордиенко А.С., Гук А.А. Вейвлет-анализ для выявления вырубок в лесных массивах по аэроснимкам.....	7
Антипов И.Т. О построении сверхкрупных сетей фототриангуляции	13
Антипов А.В. Влияние плотности точек воздушного лазерного сканирования на точность создания цифровой модели рельефа местности	22
Арбузов С.А. Использование цифровых моделей поверхности для выявления изменений на городской территории	28
Брыксина Н.А., Полищук В.Ю., Полищук Ю.М. Исследование термокарстовых процессов в условиях глобального потепления дистанционными методами.....	31
Быков А.Л., Быков В.Л., Быков Л.В., Макаров А.П. Исследование методики калибровки снимков на испытательном полигоне западно-сибирского филиала «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ.....	37
Гук А.П., Йехиа Хассан Мики Хассан, Арбузов С.А. Исследование точности автоматического измерения координат точек снимков с помощью масштабно-инвариантного преобразования SIFT	41
Данилин И.М., Ташлыков М.А., Данилин А.И. Трехмерный кадастр объектов недвижимости на основе данных дистанционного зондирования и ГИС	45
Деришев Д.С. Деришев С.Г. Беспилотные авиационные комплексы для геофизических исследований и мониторинга земной поверхности	52
Лазерко М.М. Оценка геометрической точности 3 D моделей, построенных по различным типам данных в программных продуктах 3dsMax и Google SketchUp	57
Никитин В.Н. Разработка технологии стереографического отображения картографической информации на основе лентикулярных растров....	61
Хлебникова Т.А. Анализ точности получения измерительных трехмерных видеосцен по материалам аэрокосмических съемок в различных 3 D ГИС	67
Чермошенцев А.Ю. Исследование точности определения координат точек местности по космическим снимкам сверхвысокого разрешения.....	73
Шлишевский В.Б. Оптимальная монтировка решетки в дифракционном спектрометре с многоэлементным приемником излучения	79
Поздина К.А., Кобзева Е.А., Зраенко Ю.Д. Автоматизированная классификация как эффективное решение задач мониторинга городских территорий.....	82
Мамутин А.М. Система определения координат точек местности на видеоизображении при съемке с борта беспилотного летательного аппарата.....	87
Ессин А.С., Ессин С.С. Особенности фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки с БПЛА	89
Костюк А.С. Расчет параметров и оценка качества аэрофотосъемки с БПЛА	93

Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г. Современная геодинамика Дальневосточного региона по данным GPS измерений и сейсмологии	98
Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Интеграция информационных ресурсов по активному вибросейсмическому мониторингу.....	103
Калантаев П.А., Пяткин В.П. Web-семантическая сенсорная сеть мониторинга окружающей среды.....	107
Казьмин С.П., Климов О.В. Природные события в позднем неоплейстоцене и голоцене как предпосылки рационального использования ландшафтов центральной части Западной Сибири	112
Ким П.А. Генерация профилей масштабируемой модели рельефа.....	117
Кравченко В.В. Численная методика решения двумерного нелинейного уравнения вихря на основе смешанных конечных элементов	122
Малахова В.В. Численное моделирование зоны стабильности поддонных метангидратов в период ледниково-межледникового цикла	127
Рапута В.Ф., Коковкин В.В., Артамонова С.Ю. Состояние загрязнения и динамика показателей здоровья населения в окрестностях Новосибирского оловокомбината	133
Смирнов В.В. Пчельников Д.В. Картографические сервисы Сибирского отделения РАН.....	139
Токарева О.С., Климентьев Д.С. Оценка последствий нефтяных разливов на основе данных дистанционного зондирования земли.....	143
Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Кочергин Г.А. Каталог данных дистанционного зондирования	148
Глинский Б.М., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. Экспериментальные исследования грязевого вулкана «гора карабетова» вибросейсмическим методом.....	153
Гопп Н.В. Моделирование пространственной изменчивости содержания физической глины в почвах по данным аналитической, наземной и спутниковой информации.....	159
Гопп Н.В. Использование спутниковых, наземных и аналитических данных в картографии почв	165
Курбацкая Л.И., Курбацкий А.Ф. Параметризация турбулентных потоков импульса и тепла в пограничном слое атмосферы.....	171
Евтюшкин А.В., Филатов А.В. Мониторинг просадок земной поверхности на нефтегазовых месторождениях методом радарной интерферометрии	176
Им С.Т. Погрешности расчета углов и азимутальных направлений склонов по данным SRTM.....	181
Им С.Т. Влияние разработки ванкорского нефтегазового месторождения на окружающую среду по данным дистанционного зондирования и ГИС	185
Коковкин В.В., Рапута В.Ф., Девятова А.Ю., Чирков В.А., Казьмин О.Е. Анализ состояния длительного загрязнения атмосферы и снежного покрова г. Новосибирска	189

CONTENTS

Altyntsev M.A., Gordienko, Guk A.A. Wavelet-analysis for detecting clearings in woodland by aerial photography.....	7
Antipov I.T. Criation of super large phototriangulation networks.....	13
Antipov A.V. Points' density influence of the airborne laser scanning on the accuracy of digital elevation model creation	22
Arbuzov S.A. Use of digital surface models for change detection analysis of urban territory.....	28
Bryksina N.A., Polishchuk V.Yu., Polishchuk Yu.M. Research of termokarst processes in global warming conditions by remote methods	31
Bykov A.L., Bykov V.L., Bykov L.V., Makarov A.P. Study methods of calibration images at the test site of the west siberian branch of Goszemkadastrsyomka – VISHAGI.....	37
Guk A.P., Yehia Hassan Miky Hassan, Arbuzov S.A. Studying the accuracy of automatic measurement of points coordinates for images using scale invariant transform SIFT.....	41
Danilin I.M., Tashlykov M.A., Danilin A.I. Three-dimensional cadastre of real-estate based on remote sensing data and GIS	45
Derishev D.S. Derishev S.G. Unmanned aerial systems for geophysical research and earth monitoring	52
Lazerko M.M. Estimation of geometrical accuracy 3 D the models constructed on various types of the data in software products 3dsMax and Google SketchUp.....	57
Nikitin V.N. Development of the technology for stereographic representation of mapping information on the basis of lenticular raster	61
Khlebnikova T.A. Analysis of measuring 3d videoscenes accuracy on the basis of aerial and satellite surveys data in different 3 D GIS	67
Chermoshentsev A.Yu. Investigation of determination accuracy of territory points coordinate by means of very high resolution satellite images	73
Shlishevsky V.B. Optimal mounting of the grate in the diffraction spectrometer with multielement radiation detector	79
Pozdina K.A., Kobzeva E.A., Zraenko J.D. Automated classification as an effective solution for urban-area monitoring applications.....	82
Mamoutine A.M. Positioning system points localities when filming on board unmanned aerial vehicles	87
Essin A.S., Essin S.S. The feature of photogrammetrical processing of digital airborne materials using pilotless vehicles	89
Kostyuk A.S. Calculation of the parameters and evaluation of quality with uav aerial photography.....	93
Timofeev V.Y., Arduykov D.G. Modern geodynamic of Far-east region by GPS observation and seismology data	98
Grigoruk A.P., Braginskaya L.P. Integration of information resources on active vibroseismic monitoring.....	103
Kalantaev P.A., Pyatkin V.P. Web-semantec the sensor network of monitoring of	

environment.....	107
Kazmin S.P., Klimov O.V. Natural events in late neopleistocene and holocen as preconditions of rational use of landscapes of the central part of Western Siberia.....	112
Kim P.A. Profiles generation in the scaled model of relief.....	117
Kravtchenko V.V. Method of solving 2d nonlinear vorticity equation on base of a mixed finite element method.....	122
Malakhova V.V. Numerical modelling of subbottom methanehydrates stability zone during the last glacial cycle	127
Raputa V.F., Kokovkin V.V., Artamonova S.Yu. Contamination condition and population health features dynamics for Novosibirsk tin plant environs .	133
Smirnov V.V. Pchelnikov D.V. Cartographical services of SB RAS	139
Tokareva O.S. Klimentiev D.S. Assessment of consequences of oil floods on the basis of remote sensing data.....	143
Bryksin V.M., Yevtyushkin A.V., Kochergin G.A. Catalogue of remote sensing dates.....	148
Glinsky B.M., Kovalevsky B.B., Khaeretdinov M.S. Experimental investigations of the mud volcano "gora karabetova" by vibroseismic methods	153
Gopp N.V. Modelling of spatial variability of the physical clay content in soils based to analytical, land and satellite data	159
Gopp N.V. Use of the satellite, land and analytical data in mapping of soils...	165
Kurbatskaya L.I., Kurbatskii A.F. Parameterization of turbulent fluxes of a momentum and heat in the atmoshere boundary layer	171
Yevtyushkin A.V., Filatov A.V. Monitoring of ground surface vertical displacements in area of oil and gas fields by radar interferometry	176
Im S.T. Slope and aspect errors derived from SRTM	181
Im S.T. Environmental effects of vankor oil-gas field development evaluation based on remote sensing data and GIS.....	185
Kokovkin V.V., Raputa V.F., Devyatova A.Yu., Chirkov V.A., Khazmin O.E. Analysis of atmosphere and snow cover long-term contamination condition for the city of Novosibirsk	189

УДК 528.7

М.А. Алтынцев, А.С. Гордиенко, А.А. Гук
СГГА, Новосибирск

ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ВЫРУБОК В ЛЕСНЫХ МАССИВАХ ПО АЭРОСНИМКАМ

Рассмотрено применение вейвлет-анализа для выявления вырубок в лесном массиве по материалам аэросъемки. В статье кратко описано понятие вейвлет-анализа, сферы его применения. Описаны исследования по обоснованию размера анализируемого участка, типа вейвлет-функции и уровня разложения для определения и выделения рубок леса. В качестве критерия для определения фрагментов, содержащих вырубку, использовался коэффициент корреляции.

M.A. Altyntsev, A.S. Gordienko, A. A. Guk
Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)
10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

WAVELET-ANALYSIS FOR DETECTING CLEARINGS IN WOODLAND BY AERIAL PHOTOGRAPHY

The wavelet-analysis is offered to be used for detecting clearings in woodland by aerial photography. The article presents a brief description of the concept “wavelet-analysis” and the fields of its application. The investigations are described as concerns substantiation of the size of the site to be analyzed, the type of the wavelet-function and the level of resolution for determination and allocation of deforestation places. As a criterion for detecting the fragments of deforestation the correlation effect was used.

Проблема определения объема вырубок леса весьма актуальна в нашей стране. Российская экономика всегда держалась на основе массового экспорта природных ресурсов, среди которых особая роль отводится экспорту леса. Леса вырубаются как источник древесного угля для металлургии, сводятся под пашни. Рубки леса в России делятся на три категории – рубки главного пользования, рубки ухода и прочие. К вырубкам главного пользования относятся производственные товарные рубки, а рубки ухода направлены на оздоровление леса, уборку больных или отстающих в росте деревьев и т. п. [1].

В настоящее время контроль объема вырубок производится по аэрокосмическим снимкам, особенно актуален вопрос определения мест незаконных вырубок. Для этого требуется оперативно выполнить сравнительный анализ большого объема космических снимков. В связи с этим

важной является задача автоматического выявления вырубок в пределах лесного массива. В данной работе рассматривается новый подход выявления вырубок в автоматическом режиме с помощью вейвлет-анализа. Основы подхода изложены в [2].

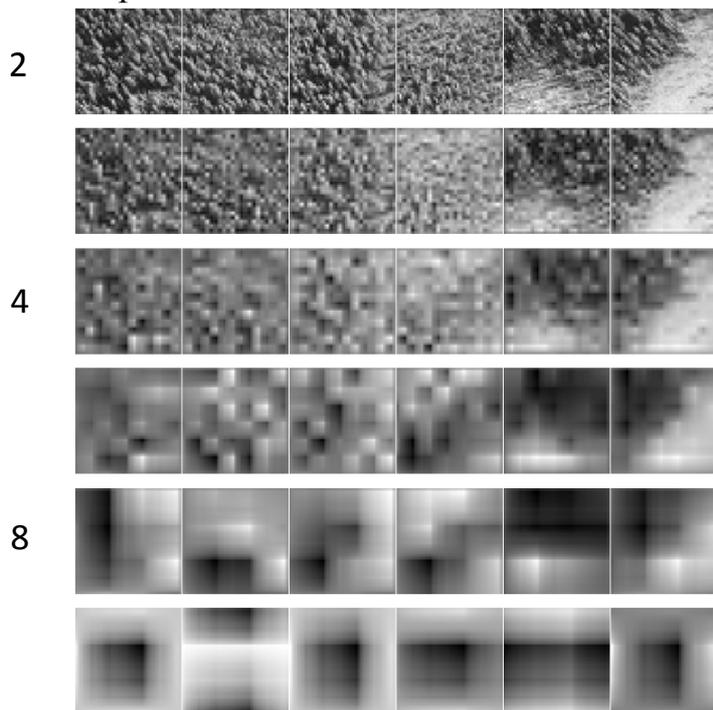
Вейвлет-анализ является достаточно мощным средством обработки данных. Популярность его использования стремительно растет с каждым годом. Вейвлеты находят своё применение в различных сферах, таких как сжатие данных, слияние изображений различного разрешения, обработка и синтез различных сигналов, распознавание образов в физике, медицине, стенографии, авиации и других областях. Вейвлет-анализ может использоваться как для исследования данных в крупном масштабе для выявления локальных изменений, так и в мелком для прослеживания глобальных закономерностей [3].

В данной работе применялись ортогональные вейвлеты и для анализа изображений выполнялось дискретное вейвлет-преобразование на основе четырех функций: Хаара, Добеши, койфлеты и симлеты [3–5, 8–9].

В первом эксперименте на аэроснимке было выбрано 6 участков размером 700×700 пикселей (на двух из шести изображена вырубка) (рис. 1). В качестве критерия для определения участков, содержащих вырубку, использовался коэффициент корреляции K_{ij} , вычисляемый по формуле [7]:

$$K_{ij} = \frac{\sum_{x=i}^N \sum_{y=j}^N (P_i(x, y) - P_{\bar{idi}})(P_j(x, y) - P_{\bar{idj}})}{\left[\sum_{x=i}^N \sum_{y=j}^N (P_i(x, y) - P_{\bar{idi}})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_{x=i}^N \sum_{y=j}^N (P_j(x, y) - P_{\bar{idj}})^2 \right]^{1/2}},$$

где K_{ij} – коэффициент корреляции, вычисляемый между уравнениями i и j вейвлет-разложения снимков P^I или P^{II} .



Лес 1 Лес 2 Лес 3 Лес 4 Выр. 1 Выр. 2

Рис. 1. Вейвлеты Добеши со 2-го по 32-й уровень для фрагментов снимка

Расчет коэффициентов корреляции выполнялся с помощью программы, написанной на языке программирования IDL. Построение вейвлетов выполнялось в программе IDL Wawelet Toolkit 7.0.8.

Для каждого из выбранных участков изображения было выполнено преобразование по вейвлет-функциям: Добеши 2 порядка, Хаара, койфлеты 1 порядка и симлеты 5 порядка. В программе IDL Wawelet Toolkit изображения вейвлетов получают размером 117×117

пикселей. На рис. 1 изображено вейвлет-разложение каждого из выбранных участков снимка по функциям Добеши со 2-го по 64-й уровень.

Для определения вырубки рассчитывались коэффициенты корреляции между вторым и последующими уровнями вейвлет-преобразования. Результаты для каждого из типов вейвлетов были получены приблизительно одинаковые. Из табл. 1 видно, что наибольшие значения коэффициентов корреляции получены для фрагмента «Выр. 2», и они для фрагментов с изображением вырубки существенной выше, чем для фрагментов без неё.

Наибольший разброс в коэффициентах корреляции наблюдается между 2-м и 8-м, 2-м и 16-м, и 2-м и 32-м уровнями для различных фрагментов. Разница в коэффициентах корреляции между 2-м и 32-м уровнями фрагментов вырубки и леса достигает в среднем пяти десятых для различных типов вейвлетов.

Таблица 1 Коэффициенты корреляции между 2-ым и последующими уровнями вейвлет-разложения

Вейвлеты	уровень	2	4	8	16	32	64
Лес 1							
Хаара	2	1	0,780	0,540	0,302	0,169	0,151
Добеши		1	0,818	0,546	0,347	0,184	0,085
Койфлеты		1	0,815	0,548	0,329	0,205	0,096
Симлеты		1	0,824	0,560	0,344	0,177	0,081
Лес 2							
Хаара	2	1	0,749	0,480	0,282	0,193	0,145
Добеши		1	0,776	0,502	0,300	0,164	0,057
Койфлеты		1	0,777	0,508	0,289	0,173	0,123
Симлеты		1	0,791	0,501	0,297	0,160	0,026
Лес 3							
Хаара	2	1	0,779	0,528	0,353	0,241	0,231
Добеши		1	0,810	0,560	0,365	0,268	0,159
Койфлеты		1	0,804	0,563	0,380	0,250	0,041
Симлеты		1	0,813	0,550	0,352	0,265	0,186
Лес 4							
Хаара	2	1	0,733	0,479	0,326	0,248	0,189
Добеши		1	0,743	0,439	0,299	0,239	0,106
Койфлеты		1	0,744	0,441	0,300	0,239	0,058
Симлеты		1	0,763	0,455	0,296	0,242	0,121
Вырубка 1							
Хаара	2	1	0,896	0,819	0,752	0,696	0,463
Добеши		1	0,907	0,814	0,741	0,665	0,198
Койфлеты		1	0,905	0,808	0,740	0,667	0,563
Симлеты		1	0,906	0,820	0,749	0,702	0,175
Вырубка 2							
Хаара	2	1	0,945	0,897	0,851	0,787	0,660
Добеши		1	0,950	0,896	0,854	0,815	0,102
Койфлеты		1	0,950	0,896	0,855	0,819	0,531
Симлеты		1	0,952	0,898	0,859	0,837	0,158

Из анализа табл. 1 видно, что существенной разницы при использовании различных вейвлет-функций для определения участка изображения, содержащего вырубку, нет. Таким образом, для решения задач выявления изменений можно использовать любой вейвлет.

На следующем этапе на аэроснимках были выбраны 6 участков размером $1\ 100 \times 1\ 100$ пикселей (на 4 изображен массив леса, а на других – вырубка) (рис. 2). Затем из этих фрагментов вырезались фрагменты меньшего размера. В итоге получилось по 6 фрагментов размерами $1\ 100 \times 1\ 100$, 700×700 , 300×300 и 150×150 пикселей. На рис. 2 показаны изображения 2-го уровня вейвлет-разложения по функциям Добеши для фрагментов снимка различного размера.

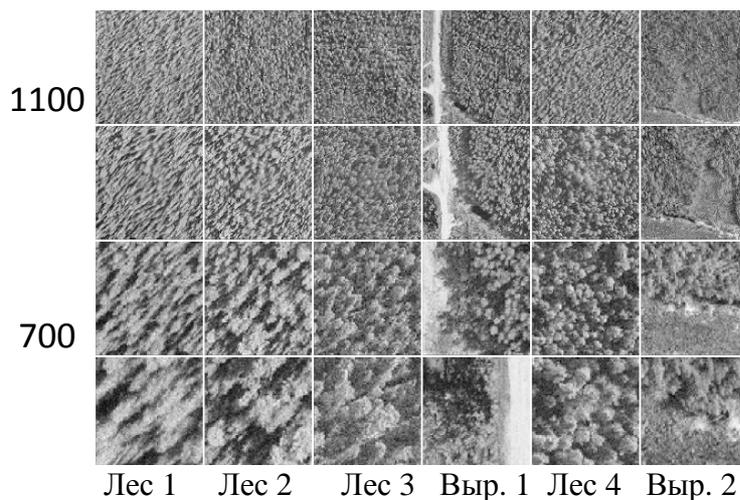


Рис. 2. Изображения 2-ого уровня вейвлет-разложения по функциям Добеши для участков снимка различного размера

вейвлет-уровнями для фрагментов различного размера было замечено, что чем меньше участок, тем труднее выявить вырубку по коэффициентам корреляции, то есть размер участков 700×700 и $1\ 100 \times 1\ 100$ пикселей лучше всего подходит для выявления вырубки. На участке размером 150×150 пикселей наличие вырубки не определяется коэффициентом корреляции. Фрагмент изображения «Выр. 1» стабильно определяется вне зависимости от размера участка. Таким образом, выбор размера участка для выявления вырубок определяется размером вырубки и разрешающей способностью снимков.

Следующей задачей после определения фрагмента изображения, содержащего вырубку, является выделение её контура. Чтобы выделить контур были проанализированы матрицы коэффициентов всех уровней разложения по четырем вейвлет-функциям различных порядков с помощью построения графиков зависимости номеров пикселей в определенной строке или столбце от яркости. На рис. 3 приведены вейвлет-разложение по функциям Добеши 5-го порядка одного из выбранных участков и графики соответствующие 30-му, 60-му и 90-му столбцам матрицы изображения.

Для всех фрагментов было выполнено вейвлет-преобразование Добеши 2 порядка и по аналогии с 1 экспериментом рассчитывались коэффициенты корреляции в целях определения наименьшего размера фрагмента снимка, для которого по коэффициенту корреляции можно было бы точно сказать, присутствует ли вырубка среди лесного массива или нет. Сравнивая коэффициенты корреляции между соответствующими

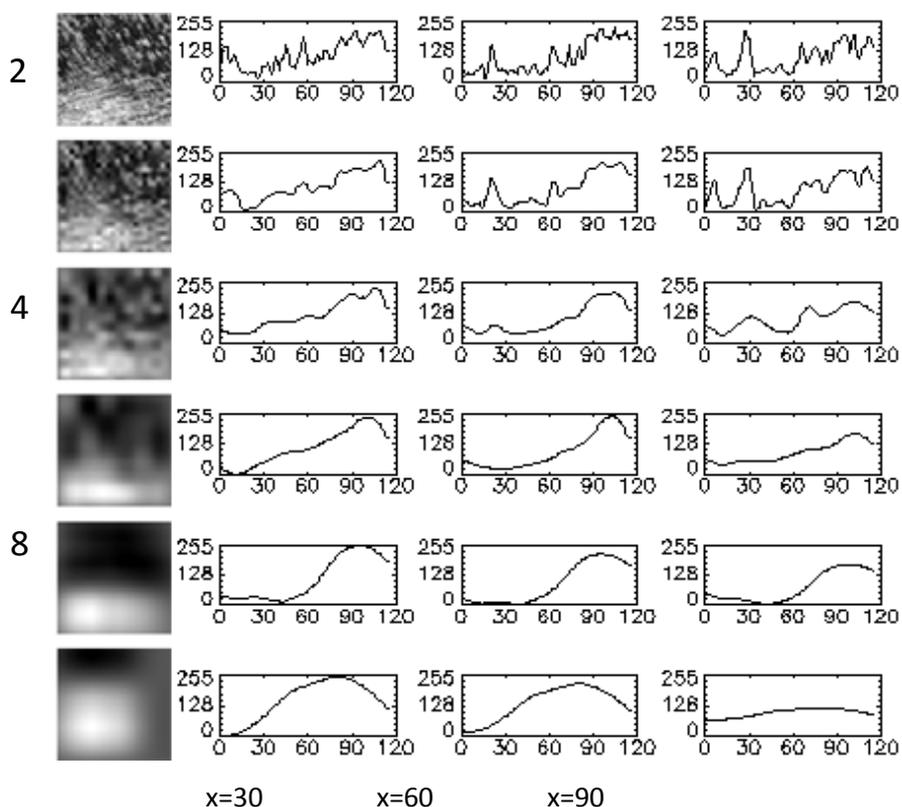


Рис. 3. Вейвлет – разложение по функциям Добеши 5-ого порядка участка изображения и графики зависимости номеров пикселей в определенной строке или столбце от яркости, соответствующие 30-му, 60-му и 90-му столбцам матрицы изображения

16-ый уровень данного вейвлет-разложения лучше всего подходит для выделения контура вырубki на фрагменте изображения, так как 32 уровень сильно сглаживает границы вырубki, а 8 уровень добавляет шумы, что ухудшает результат выделения рубок. Из анализа графиков зависимости положения пикселя в строке от яркости, построенных для различных участков и уровней вейвлет-разложения изображения, было выбрано пороговое значение яркости пикселя для выявления вырубki, которое равно 120. То есть все значения яркости на изображениях 16 уровня вейвлет-разложения можно отнести к вырубке. На рис. 4 приведено несколько фрагментов изображения с вырубкой, и эти же фрагменты, в которых значения пикселей, относящиеся к вырубке, заменены на 0 или 255 в зависимости от тона изображения.

Таким образом, методика выявления и выделения рубок леса по аэроснимкам на основе вейвлет-анализа заключается в следующем:

- Разделение изображения исследуемой территории на фрагменты определенного размера, выполнить вейвлет-преобразование Добеши 5 порядка для каждого фрагмента;
- Расчет коэффициентов корреляции между 2-м и 8-м, 2-м и 16-м, и 2-м и 32-м уровнями каждого из вейвлет-разложений;
- По разнице между коэффициентами корреляции соответствующих уровней разложения определение фрагментов, содержащих вырубку;

- Определение, по 16-му уровню, пикселей, соответствующих контурам вырубок;
- Замена значений выбранных пикселей крайними значениями интервала яркостей на исходных фрагментах;
- Объединение всех фрагментов в единое изображение.

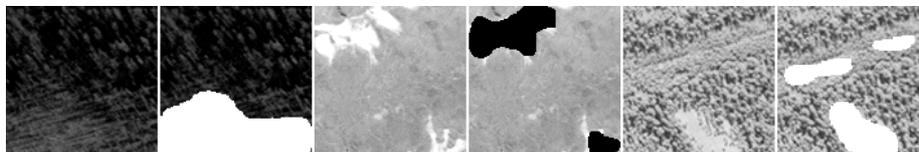


Рис. 4. Изображения нескольких фрагментов снимка с выделенной вырубкой по 16 уровню вейвлет-разложения

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атлас биологического разнообразия лесов Европейской России и сопредельных территорий. – М.: МСОП, 1996. – 144 с.
2. Гук, А.П., Евстратова, Л.Г., Алферова, А.С. Использование структурных признаков изображений типовых участков местности для выявления изменений состояния территорий по космическим снимкам высокого разрешения // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 6. – С. 52-56.
3. Дремин И.М. Вейвлеты и их использование. / И.М. Дремин, О.В. Иванов, В.А. Нечитайло // УФН. – 2001. – Т. 171. – № 5. – С. 465 – 501.
4. Смоленцев Н. К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB. / Н. К. Смоленцев. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 304 с.
5. Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения. / Н.М. Астафьева // УФН. – 1996. – 11. – С. 1145 – 1177.
6. Гонсалес, Р. Цифровая обработка изображений. / Р. Гонсале, Р. Вудс. – М.: Техносфера, 2006. – 1072 с.
7. Айфичер, Э.С. Цифровая обработка сигналов: практический подход. / Э.С. Айфичер, Б.У. Джервис. – 2-е изд. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2004. – 992 с.
8. Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
9. Блаттер, К. Вейвлет-анализ. Основы теории. – М.: Техносфера, 2004. – 280 с.

© М.А. Алтынцев, А.С. Гордиенко, А.А. Гук, 2010

УКД 528.4Т

И.Т. Антипов

СГГА, Новосибирск

О ПОСТРОЕНИИ СВЕРХКРУПНЫХ СЕТЕЙ ФОТОТРИАНГУЛЯЦИИ

В докладе приводится информация об американском опыте создания Лунной Опорной Сети посредством аналитической фототриангуляции. Такая сеть, необходимая для долгосрочных планов исследования Луны, оказывается очень большой и ее строгое уравнивание - сложная задача. Известен, однако, более простой вариант создания сети в два этапа, сначала в виде каркаса, а затем - вставка в каркас заполняющей сети. Статья содержит результаты сравнения различных вариантов уравнивания. В заключении подчеркивается преимущество варианта со строгим уравниванием больших планетарных сетей.

I.T. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

Novosibirsk, Russian Federation

CREATION OF SUPER LARGE PHOTOTRIANGULATION NETWORKS

The paper recites an American experience of creation the Lunar Control Network by means of analytical phototriangulation. Such network needed for long-term plans of Lunar exploration turns out to be very large and its rigorous adjustment is a complicated task. But it is known a simple variant of creation a network in two steps, first as frameworks, and thereafter - filled nets. The paper contains results of a comparison of different variants of adjustment. The conclusion is made up about an expediency of rigorous adjustment for large planetary networks.

Полвека назад (в октябре 1959 года) советский спутник Luna-3 сделал первые фотоснимки обратной стороны Луны. С тех пор осуществлено множество отечественных и зарубежных миссий, связанных с изучением и картографированием поверхности Луны. Практически на всю поверхность Луны созданы карты масштаба от 1 : 2 000 000 до 1 : 10 000 000, а на значительные территории – более крупного масштаба вплоть до 1 : 10 000. Имеются отдельные листы карты масштаба 1 : 1 000 и даже 1 : 100 (на район посадки советской автоматической станции). Изготовлено также множество фотопланов и мозаичных фотосхем с разрешением от 100 до 20 m/pix.

Наибольших успехов в картографировании Луны добились американские ученые. Работы проводились в соответствии с программой NASA с привлечением астрогеологической команды USGS. Несколько лет назад здесь приступили к составлению цифровых 3D-моделей с разрешением 200–300 m/pix и густотой сетки в 1км.

Работы по этому направлению продолжаются в нескольких странах. Сейчас в активной стадии находятся пять различных проектов, осуществляемых специалистами США, Европы, Японии, Китая и Индии. В России и Великобритании предпринимаются первые шаги к подготовке своих национальных миссий. Рассматривается также идея совместного российско-индийского варианта. Наконец, корпорация Google объявила о создании премиального фонда в 30 млн. долларов для первой частной (не государственной) компании, высадившей на поверхность Луны спускаемый аппарат, который продвинется на 500м, сделает снимки и вернет изображения на Землю. Десяток групп официально объявили об участии в конкурсе за этот приз.

В перечисленных проектах для получения информации о лунной поверхности предусмотрены все доступные ныне технические средства, дающие кадровые и сканерные снимки, лазерные и радиолокационные изображения. К настоящему времени общее число всех снимков Луны достигает полутора миллионов. В перспективе ставится цель получить глобальную топографическую модель поверхности Луны с разрешением 5–10м. Это – очень трудоемкая задача, для выполнения которой придется решать множество научных проблем, в том числе – создание сети опорных точек, необходимых для обработки отдельных снимков и стереопар.

Наиболее реальный путь к построению такой сети основан на процедуре фототриангуляции, выполняемой по кадровым снимкам. Подчеркнем, что именно по кадровым снимкам, поскольку изображения, полученные линейными сканерами, подвержены систематическим искажениям, вызванным вибрациями камеры. Для учета вибраций в настоящее время нет ни технических, ни математических средств. Этот факт признают крупные ученые, работающие над созданием опорной сети. Больше того, в литературе можно встретить откровенные удивления и скептические замечания по поводу того, что в ряде случаев для решения задачи картографирования Луны планируется использовать только линейные сканеры.

Применительно к Луне, как и к другим небесным телам, процесс фототриангуляции имеет ряд особенностей.

Об одной из них, связанной с и выбором систем координат для сети сферической формы, автор докладывал на конгрессе «ГеоСибирь-2007» [1]. При этом было показано, что при строгом уравнивании сети можно иметь не одну систему пространственных прямоугольных координат, общую для местности и снимков, а множество систем. Последние следует выбирать индивидуально для каждого снимка (или группы снимков) так, чтобы автоматически исключить неопределенность подсчета угловых элементов внешнего ориентирования снимков по направляющим косинусам и избежать необходимости оперировать при вычислениях с тангенсами больших углов.

Первые работы по созданию сети опорных точек для снимков Луны начаты в 70-х годах предыдущего столетия [2]. При этом на отдельные участки строились локальные сети, использовавшиеся затем при составлении карт и

другой продукции. Для привязки таких сетей служили орбитальные данные и снимки звезд, полученные со спутников в момент фотографирования поверхности Луны. В 90-х годах ранее построенные локальные сети были объединены в общую сеть. При этом учитывались новые данные, появившиеся к тому моменту. В общей сети среднеквадратическая ошибка взаимного положения близко расположенных точек сети соответствовала разрешающей способности большинства использованных снимков (150–200 м). Однако сеть страдала наличием больших систематических ошибок и абсолютная точность координат точек в ряде мест опускалась до 15 км.

2005 год ознаменован развертыванием работ по переходу на унифицированную лунную опорную сеть (Unified Lunar Control Network, ULCN 2005). Сеть включала около 273 тысяч точек и была построена по 44 тысячам снимков. Сведения об алгоритме уравнивания не опубликованы. По косвенным данным можно заключить, что реализован комбинированный вариант, в котором учтены все предыдущие работы. В 2008 году сеть подверглась ревизии, в итоге чего появилась ULCN 2008. При ревизии ставилась цель не столько повысить абсолютную точность географических координат, сколько увязать все имеющиеся данные и обеспечить преемственность для использования этой сети при последующих съемках.

Слабым местом ULCN является недостаток твердых точек, по которым эти сети привязаны к поверхности Луны. Всего таких точек было 4. Работы над ULCN 2008 продолжаются, намечено увязать сеть с данными лазерной съемки поверхности. По неофициальным данным в предстоящем новом цикле количество снимков, участвующих в уравнивании сети, достигнет 65 тысяч.

Со столь большими размерами сети и связана вторая особенность фототриангуляции для Луны. При блоке из 65 тысяч снимков объем внешней памяти вычислительного комплекса, необходимой для размещения системы нормальных уравнений, общей для всех снимков, а также другой информации, исчисляется терабайтами, а объем оперативной памяти – десятками гигабайт. Возможности обычных персональных компьютеров на порядок меньше. Поэтому придется прибегать к помощи современного суперкомпьютера, реализуя на нем все необходимые процедуры. Астрогеологическая команда USGS рекомендует использовать многогрупповой метод уравнивания, делить систему нормальных уравнений на клетки и решать ее градиентным или прямым способом [2]. Ничего нового, оригинального в этой рекомендации нет, ей полностью отвечает алгоритм уравнивания, реализованный в отечественном программном компоненте PHOTOSOM [3].

Вспомним, однако, что и в России еще в 60-е годы была разработана схема и основные положения метода построения фототриангуляции по космическим снимкам. И.Д. Каргополов предложил создавать плано-высотную основу в два этапа [4]. На первом формируется каркасная фототриангуляционная сеть, образующая обширные полигоны, Затем в каждом полигоне создается своя заполняющая сеть, уравниваемая по точкам каркасной сети. Размеры полигонов

можно подбирать, руководствуясь среди прочих факторов и возможностями доступных вычислительных средств.

В этом предложении в какой-то мере повторяется проверенная временем схема Ф.Н. Красовского, принятая в свое время в нашей стране для развития государственной геодезической опорной сети.

Опыт, однако, свидетельствует, что в любых уравнивательных вычислениях по способу наименьших квадратов результат всегда будет наилучшим, если оперировать полной совокупностью исходных данных, а не отдельными частями их. Именно по этой причине в конце XX века осуществлено строгое уравнивание сразу всей сети государственной триангуляции, как единого построения. Выявленные при этом смещения пунктов триангуляции целиком оправдали проведенную трудоемкую работу.

Возникает вопрос: в какой мере изменится точность сети при построении ее через промежуточную каркасную фототриангуляцию по сравнению с одношаговым вариантом сгущения сразу по всем снимкам?

Едва ли существует общее теоретическое решение этого вопроса, поэтому ограничимся экспериментальной проверкой, причем на локальном участке, а не в масштабе всего небесного тела. Эксперименты проведены с помощью компонента РНОТОСОМ, являющегося составной частью программного обеспечения цифровой фотограмметрической станции Delta (ЦФС ЦНИИГАиК). Необходимыми исходными данными являлись специально подготовленные макеты местности и снимков, причем выбирались различные параметры и размеры сетей.

Ниже приведены данные для случая, в котором исходный фототриангуляционный блок содержал 43 основных маршрута по 43 снимка и 3 каркасных маршрута, пересекавших основные маршруты концом и в середине.. Поперечное перекрытие основных маршрутов составляло 60 %. Фокусное расстояние камеры равнялось 100мм, размер стороны кадра – 180 мм. Масштаб фотографирования – 1 : 15 000. В координаты и параллаксы всех точек снимков введены случайные погрешности, среднеквадратические значения которых составляли 0.007 мм. Моделирование случайных погрешностей координат опорных точек в плане и по высоте выполнено применительно к средним величинам 0.1 м. Систематические искажения фотоизображений не моделировались. Количество снимков в блоке составило 1 984, количество точек местности – 16 893, а число всех точек снимков – 95 242. Общая схема блока показана на рис. 1.

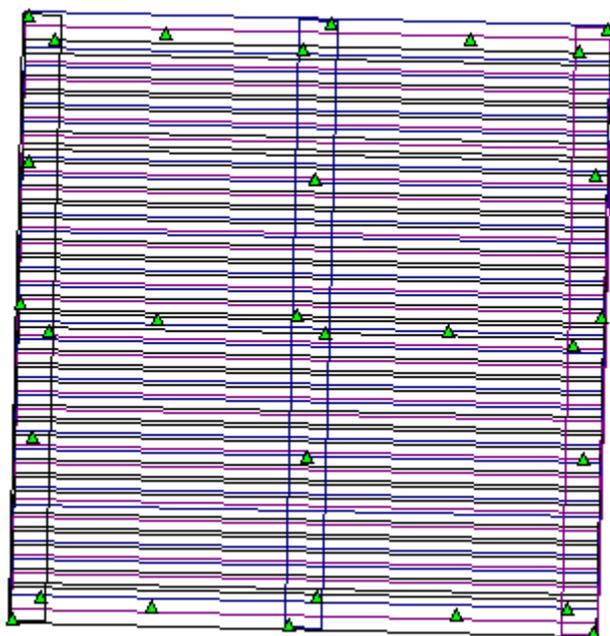


Рис. 1. Общая схема исходного блока

Строгое уравнивание исходного блока осуществлено по условиям коллинеарности, после чего для каждой точки местности подсчитаны истинные ошибки полученных координат, по которым проведена оценка точности. Результаты оценки приведены в табл. 1. Условно обозначим этот главный вариант уравнивания литерой **A**.

Отметим, что в этой и всех последующих таблицах погрешность плановых координат в 0.1 м на местности соответствует ошибке в 0.007 мм на снимке. Аналогично, погрешность продольного параллакса в 0.007 мм отвечает на местности ошибке по высоте в 0.15 м. Анализ таблицы 1 свидетельствует, что средние и среднеквадратические ошибки уравненных координат точек местности хорошо согласуются с точностью снимков, а большие расстояния между опорными точками вполне объясняют величины максимальных ошибок.

Таблица 1 Погрешности уравнивания исходного блока (вариант **A**)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.071	0.091	0.603	0.031
Y	0.069	0.088	-0.424	-0.023
Z	0.146	0.181	0.651	0.040

В качестве альтернативы испробованы и другие разновидности уравнивания. В варианте **B** общий блок разделен на 4 небольших части – элементарные подблока, каждый из которых с двух сторон перекрывается с соседними подблоками. Схемы всех элементарных частей блока одинаковы (рис. 2).

После уравнивания подблоков выполнена оценка точности полученных координат по истинным

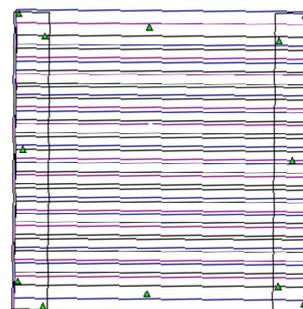


Рис. 2. Элементарная часть блока

ошибкам их. Результаты оценки, усредненные для четырех частей, приведены в табл. 2. Табл. 3 характеризует изменение координат при уравнивании по частям по сравнению с уравниванием целого блока (т. е. разности координат для вариантов **B-A**). Как видим, средние и среднеквадратические погрешности изменились незначительно, причем разнонаправлено. Так в плане при уравнивании блока по частям точность снизилась процентов на десять, в то время как по высоте отмечается такое же повышение точности. Впрочем, изменения столь малы, что оба варианта уравнивания в принципе равноценны.

Таблица 2 Усредненные погрешности уравнивания подблоков (вариант В)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.080	0.101	-0.721	0.048
Y	0.076	0.097	-0.600	-0.011
Z	0.130	0.163	0.679	0.026

Таблица 3 Изменение координат при уравнивании блока по частям (**B-A**)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.034	0.050	-0.667	0.020
Y	0.031	0.047	-0.440	0.011
Z	0.060	0.077	0.612	0.014

Следуя предложению И.Д. Каргополова, из исходного блока выбраны маршруты, образующие каркас, который демонстрирует рис. 3. Уравнивание каркаса (вариант **C**) дало координаты точек местности с точностью, характеризуемой таблицей 4. Таблица 5 показывает, как изменились координаты точек в каркасной сети по сравнению аналогичными точками всего исходного блока (разности **C-A**).

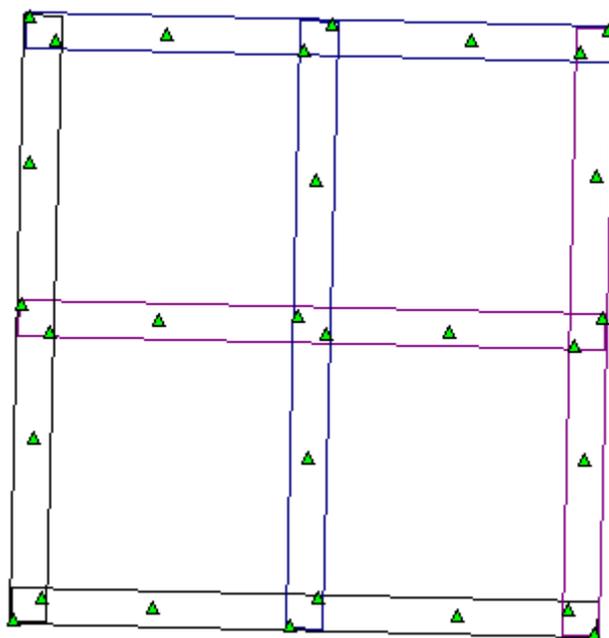


Рис. 3. Каркасная сеть

Сопоставление табл. 1, 4 и 5 свидетельствует, что каркасная сеть существенно уступает общей сети. Точность координат точек каркасной сети по осям X и Y оказалась ниже в два, а по оси Z – в полтора раза. Очевидно, что каркасной сети недостает той жесткости, которой обладает общая сеть и которая создается обильными внутренними фотограмметрическими связями между перекрывающимися маршрутами. Такие связи, особенно при большом поперечном перекрытии, ограничивают локальные деформации сети, обеспечивают относительную стабильность по всей площади блока, препятствуют неблагоприятному накоплению ошибок,

Таблица 4 Ошибки координат точек в каркасной сети (вариант С)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.161	0.203	0.847	0.012
Y	0.147	0.189	0.800	-0.029
Z	0.208	0.266	-0.902	0.005

Таблица 5 Уклонение точек каркасной сети относительно общей сети (С-А)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.142	0.184	-0.637	0.030
Y	0.120	0.164	-0.999	-0.013
Z	0.192	0.257	-1.113	0.006

Коль скоро сама каркасная сеть уступает общей сети, уравненной как единое построение, то ясно, что вставка в каркас заполняющей сети не приведет к оптимальным результатам, в принципе достижимым для полной совокупности обрабатываемых исходных данных. Но для полноты эксперимента была опробована процедура уравнивания элементарных подблоков с использованием в качестве опоры точек, заимствованных из каркасной сети (вариант *CD*). При этом было сделано предположение, что только пятая часть точек каркасной сети опознана на снимках заполняющих маршрутов. В итоге элементарные подблоки получили структуру, показанную на рис. 4.

Как видим, общее количество опорных точек в каждом подблоке достаточно велико. При уравнивании точность опорных точек, указываемая в исходной информации, согласована с данными таблицы 4. Усредненные для четырех подблоков характеристики по достигнутой точности уравнивания приведены в таблице 6. Таблицы 7 и 8 показывают, насколько разнятся результаты уравнивания *CD* от других вариантов (*A* и *B*).

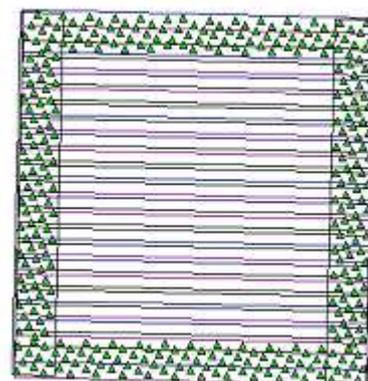


Рис. 4. Элементарная часть блока опорой из каркасной сети

Таблица 6 Точность сети, уравненной по точкам каркаса (вариант **CD**)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.098	0.122	0.798	0.061
Y	0.094	0.117	-0.558	-0.021
Z	0.220	0.274	-0.993	-0.006

Сопоставляя таблицы, можно отметить, что двухэтапное уравнивание (**CD**), предусматривающее создание каркасной сети и последующую вставку в нее заполняющей сети, уступает по точности вариантам уравнивания блока как единого целого построения (вариант **A**), так и по частям (вариант **B**). Особо интересно, что уравнивание по варианту **CD** в какой-то мере сгладило ошибки плановых координат точек, заимствованных в качестве опорных из каркасной сети. Это обстоятельство опять-таки объясняется обилием внутренних фотограмметрических связей, которые не позволили изломать заполняющие сети, слишком близко притягивая их к недостаточно надежной опоре.

Таблица 7 Изменение координат при уравнивании с каркасами (**CD-A**)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.090	0.107	-0.644	0.079
Y	0.070	0.090	-0.453	-0.004
Z	0.155	0.210	-1.052	-0.044

Таблица 8 Изменение координат при уравнивании с каркасами (**CD-B**)

Ось к-т	Виды ошибок координат точек, м			
	Средн.	Ср. кв.	Макс.	Сист.
X	0.078	0.094	-0.378	0.063
Y	0.061	0.078	0.416	0.008
Z	0.174	0.214	1.083	0.033

Основные тенденции, выявленные в этом эксперименте, нашли подтверждение и при других параметрах фототриангуляционных сетей. Это позволяет сделать следующие выводы.

1. Общее правило метода наименьших квадратов, рекомендуемое обрабатывать совместно возможно больший объем измерений, относящихся к уравниваемому построению, целиком относится и к пространственной аналитической фототриангуляции.

2. Вполне оправдан путь создания рабочего обоснования на поверхности Луны, выбранный астрогеологической командой USGS и предусматривающий построение общепланетарной фототриангуляционной сети из многих десятков тысяч снимков.

3. Предложенный И.Д. Каргополовым вариант построения планетарной сети в два этапа (сначала каркасной, а затем – заполняющей) целесообразно использовать лишь на предварительном этапе обработки снимков небесного

тела, т.е. для проверки результатов измерения снимков и других исходных данных.

4. Есть предположение, что вскоре начнется реальное воплощение в жизнь Российского проекта исследования Луны и потребуются решать задачу детального картографирования ее поверхности. Кафедра фотограмметрии и дистанционного зондирования Сибирской Государственной геодезической академии, обладающая богатым опытом теоретических исследований и подготовки программного обеспечения в области фототриангуляции, вполне могла бы принять участие в работах по созданию рабочего обоснования или даже возглавить такие работы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Антипов И.Т. Уравнивание сферической фототриангуляционной сети. // Труды Международного научного конгресса «Гео-Сибирь-2007», Том 3. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 26–32.

2. R.L. Kirk, B.A. Archinal, L.R. Gaddis, M.R. Rosiek. Cartography for Lunar exploration: 2008 Status and mission plans // 21st ISPRS Congress, Beijing, Technical Session ThS-10. (DVD).

3. Антипов И.Т. Математические основы пространственной аналитической фототриангуляции. – М.: Картгеоцентр-Геодезиздат, 2003. – 296 с.

4. Хрущ М.Н. Этапы становления и развития фотограмметрии в России // Геодезия и картография. – 2003. – № 3. – С. 50–61.

© И.Т. Антипов, 2010

УДК 528.8

А.В. Антипов

СГГА, Новосибирск

ВЛИЯНИЕ ПЛОТНОСТИ ТОЧЕК ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ НА ТОЧНОСТЬ СОЗДАНИЯ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

Приведены особенности получения данных воздушного лазерного сканирования и результаты исследования точности создания цифровой модели рельефа в программном продукте TerraSolid в зависимости от плотности точек лазерных отражений.

A. V. Antipov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

POINTS' DENSITY INFLUENCE OF THE AIRBORNE LASER SCANNING ON THE ACCURACY OF DIGITAL ELEVATION MODEL CREATION

This article is about reception lidar data feature and investigation results of accuracy of digital elevation model creation depending on density of the airborne laser scanning in TerraSolid software.

Современные съемочные системы дистанционного зондирования быстро развиваются и совершенствуются, приводя к значительному прогрессу в получении данных. На сегодняшний день инновационные решения находят широкое применение при проведении аэрофотографической, радиолокационной и сканерной съемок.

Современный рынок данных дистанционного зондирования открыт для частных фирм и предприятий. Любой вид информации, получаемой с аэро- или космических носителей, используют для повышения производительности в создании конечного продукта. Одним из таких видов информации являются лидарные данные, применение которых позволяет сократить время на построение цифровой модели рельефа (ЦМР).

Цифровая модель рельефа объединяет совокупность дискретной информации, задающей рельеф, и математические методы, обеспечивающие вычисление высоты произвольной точки, принадлежащей области моделирования, по ее плановым координатам.

ЦМР используются для ортофототрансформирования аэро- и космических снимков, создания цифровых картографических продуктов и моделей местности, построения профилей местности, определения взаимной видимости между точками и других целей.

В обобщенном виде технологию построения ЦМР можно представить следующим образом:

- а) Сбор информации о рельефе (измерение плановых координат и высот точек местности);
- б) Описание цифровой модели рельефа;
- в) Редактирование ЦМР.

Исходные данные о рельефе для построения ЦМР могут быть получены различными способами:

- 1) По цифровым топографическим картам и аналоговым топографическим картам оцифровкой горизонталей, высот пунктов государственной геодезической сети, урезов воды и других объектов, характеризующих рельеф местности;
- 2) По стереопарам снимков;
- 3) По результатам наземных съёмок (например, тахеометрической съёмки);
- 4) По данным радиолокационной и радиоинтерферометрической съёмок;
- 5) По данным воздушного и наземного лазерного сканирования местности.

В настоящее время наиболее распространён первый способ сбора информации о рельефе для построения ЦМР как наиболее простой и менее дорогостоящий по сравнению с другими. Однако зачастую ЦМР, созданные по архивным топографическим материалам, не актуальны. Сбор данных о рельефе по стереопарам снимков отличается высокой трудоёмкостью и требует больших денежных затрат, в то же время позволяет обеспечить желаемую степень детальности представления земной поверхности. Полевые геодезические работы для получения информации о рельефе отличаются большой трудоёмкостью и низкой производительностью. Наземное лазерное сканирование обеспечивает избыточную детальность и информативность о рельефе, но при использовании этой технологии съёмке подлежит небольшой по сравнению с аэросъёмкой участок местности. Таким образом, для создания ЦМР больших по площади территорий рациональнее использовать лидарные съёмочные системы, позволяющие с достаточной плотностью получать данные (точечную модель) о «чистой земле». Одним из преимуществ этого метода сбора информации о рельефе является его оперативность, а значит, данные о подстилающей поверхности с момента их сбора до момента построения ЦМР не успевают устареть.

Получение и использование данных воздушного лазерного сканирования для построения ЦМР связано со следующими особенностями лидарной съёмки:

- Обычно совместно с воздушным лазерным сканированием производится аэрофотосъёмка местности;
- Точки лазерных отражений на краях полосы сканирования клиновидно сходятся (рис. 1), что связано с движением носителя;

– При увеличении угла сканирования плотность точек лазерных отражений уменьшается от оси маршрута к краям полосы сканирования (рис. 1), так как увеличивается расстояние до объекта сканирования и время прохождения зондирующего сигнала;

– Современные системы лазерной локации позволяют производить лидарную съемку с различной высоты (от 500 м до 5 000 м), что в свою очередь влияет на плотность лазерных точек;

– Плотность точек лазерных отражений зависит от технических параметров лидара;

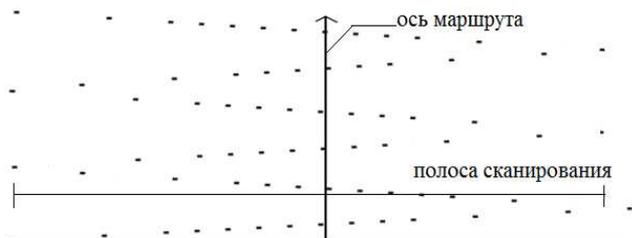


Рис. 1. Распределение точек лазерных отражений при лидарной съемке

– Зондирующий сигнал, падающий на поверхность озер, рек, морей и других водных объектов, не возвращается или дает информацию об объектах, которые не существуют;

– При лидарной съемке объектов, имеющих сложную форму, возможно появление ложных лазерных точек на продолжении

линии распространения отраженного луча [1];

– Зондирующий сигнал способен проникать сквозь кроны деревьев и, отражаясь от поверхности земли, давать информацию о ней;

– Воздушное лазерное сканирование (без аэрофотосъемки) можно проводить ночью, что является преимуществом при съемке урбанизированных территорий, т. К. В ночное время городская жизнь «приостанавливается», что позволяет получать более достоверную информацию о рельефе;

– С помощью *gps* и *imu* – систем, устанавливаемых на летательное судно вместе с лидаром, возможна высокая точность определения траектории полета носителя (его абсолютные геодезические координаты определяются с точностью 0,03–0,10 м; скорость движения – с точностью 0,005 м/с; крен и тангаж – 0,004°; курс – 0,008°) [1, 2].

Информационная ценность данных лазерной локации определяется [1]: средним количеством лазерных точек на единицу поверхности, равномерностью распределения точек, доминирующей ориентацией зондирующего луча, программным продуктом (ПП) для обработки лидарных данных и др. При построении ЦМР особо важное значение имеют плотность точек лазерных отражений и качество используемого ПП. Поэтому цель данного исследования заключалась в определении зависимости точности создания ЦМР от плотности точек воздушного лазерного сканирования с использованием программного продукта TerraSolid, поскольку этот ПП известен во многих странах мира и обладает широкими возможностями по обработке GPS и IMU - измерений, данных воздушного, мобильного и наземного лазерного сканирования, а также материалов аэрофотосъемки. Моделирование рельефа

выполнено по данным лидарной съемки участка территории Ниагара площадью 2 км² с преимущественно равнинным характером рельефа.

На первом этапе создания ЦМР произведена классификация точек лазерных отражений. Данную операцию в ПП TerraSolid можно выполнить в интерактивном, автоматическом или комбинированном режиме. При проведении исследования для классификации точек использовался комбинированный режим. Сначала все точки лазерных отражений в автоматическом режиме классифицировались на точки, принадлежащие «чистой земле» и не принадлежащие ей. Для автоматической классификации точек лазерных отражений задавались следующие параметры: максимальный размер стороны здания; предельный угол наклона рельефа относительно горизонтальной плоскости; дистанция приближений (расстояние, через которое анализируется принадлежность точек элементарного участка к классу «чистая земля»); угол приближения, больше которого соседние элементарные участки земли не отклоняются относительно друг друга. В данном проекте использованы следующие параметры для обработки данных воздушного лазерного сканирования: максимальный размер стороны здания – 250 м (измерен по аэрофотоснимкам); предельный угол наклона рельефа задан 88°, чтобы исключить из обработки точки лазерных отражений, принадлежащие стенам зданий и сооружениям; в соответствии с рекомендациями фирмы-производителя ПП TerraSolid по обработке данных воздушного лазерного сканирования равнинных территорий дистанция приближений задана – 1,4 м, угол приближения – 6°. По окончании автоматической классификации к лидарным данным подгружались аэрофотоснимки, полученные на данную территорию одновременно с воздушным лазерным сканированием. После синхронизации перемещения изображений в окнах с точками лазерных отражений и аэрофотоснимками визуально производилась оценка результатов автоматической классификации, которая показала, что часть точек, отнесенных в класс «чистая земля», не принадлежат ему. Так установлено, что из общего числа точек, отнесенных в класс «чистая земля», этому классу соответствовало 81 % точек, 18 % принадлежали водной поверхности, 1 % – крышам зданий, кронам деревьев и другим объектам. При помощи специальных инструментов корректировались результаты автоматической классификации точек лазерных отражений в интерактивном режиме. Количество точек, принадлежащих классу «чистая земля», и всех точек лазерных отражений на заданную площадь элементарных участков съемки представлено на рис. 2. Результаты комбинированной классификации показали, что 24 % от общего числа точек на всем исследуемом участке принадлежат истинной земле (рис. 3).

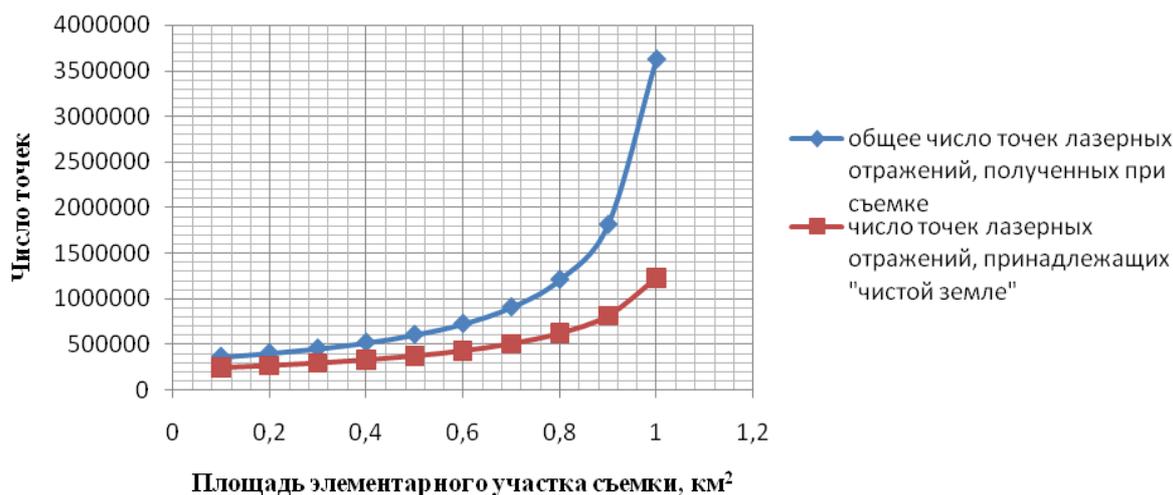


Рис. 2. Общее число лазерных отражений и принадлежащих «чистой земле»

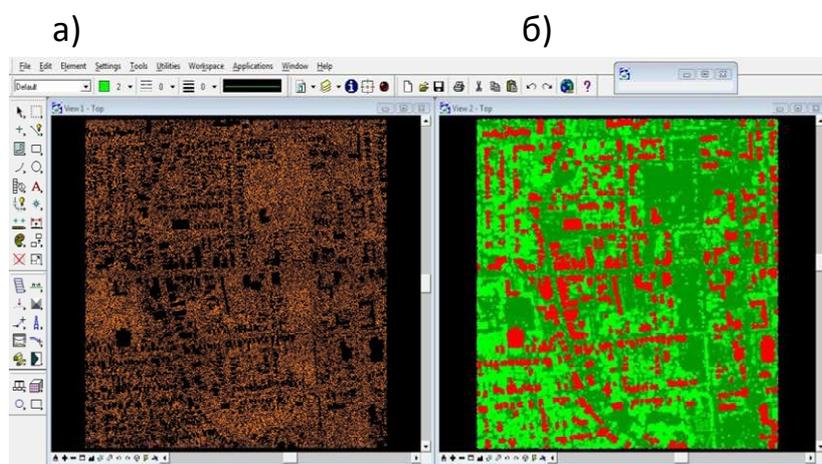


Рис. 3. Результат классификации точек лазерных отражений:

- а – точки, принадлежащие «чистой земле»;
- б – все точки лазерных отражений, отнесенные к различным классам

Для исследования точности создания ЦМР на одну и ту же территорию в зависимости от плотности точек воздушного лазерного сканирования создавались цифровые модели рельефа методом TIN. Плотность точек для построения ЦМР разряжалась искусственно, тем самым моделируя процесс лазерно-локационной съемки на постоянной высоте, с одним и тем же

углом сканирования, неизменной скоростью движения носителя, одинаковой мощностью лазерного импульса и изменяющейся частотой зондирующего сигнала. Так как на данную территорию отсутствовала информация о координатах опорных точек, то изменение точности создания ЦМР оценивалось относительно самой «плотной» точечной модели, а значит и самой достоверной. Расхождения высот точек исходной (самой плотной) и менее «плотных» моделей были измерены интерактивно через каждые 100 м в характерных местах рельефа. В результате исследований получены средние отклонения координаты Z контрольных точек (по абсолютной величине) для моделей с различной плотностью лазерных отражений (рис. 4).

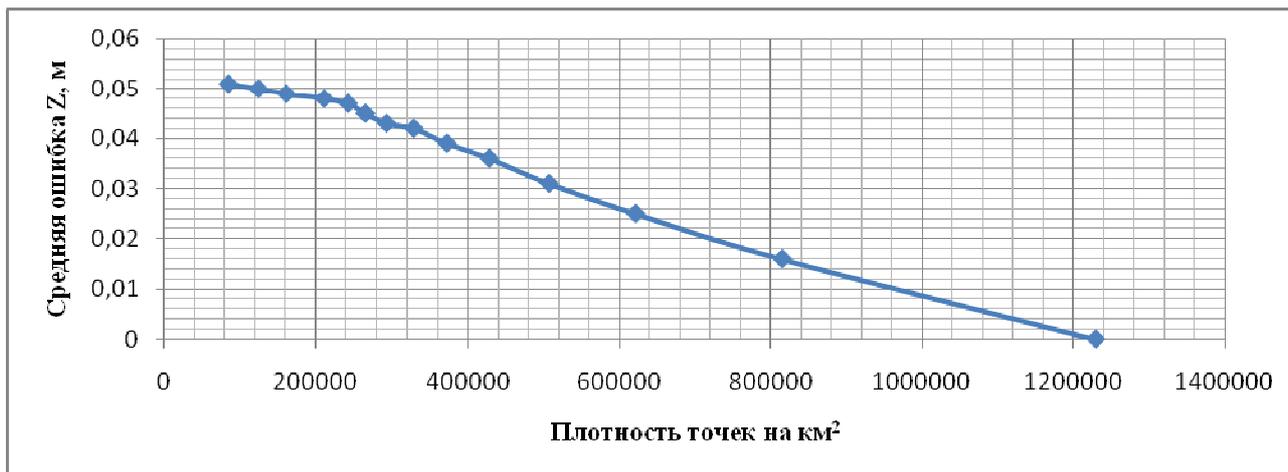


Рис. 4. Изменение точности создания ЦМР в зависимости от плотности точек лазерных отражений

Из рис. 4 видно, что ошибка построения ЦМР, вызванная влиянием плотности точек лазерных отражений, изменяется незначительно в сравнении с погрешностью определения высот точек современными лидарными съемочными системами (15–20 см [3, 4, 5]), поэтому влиянием этой ошибки на точность построения ЦМР равнинной территории можно пренебречь.

Результаты исследования также показали, что программный продукт компании TerraSolid позволяет определять точки лазерных отражений, принадлежащие «чистой земле», в автоматическом режиме классификации с высоким показателем достоверности, что в свою очередь влияет на производительность выполнения процессов создания ЦМР.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Медведев, Е.М. Лазерная локация земли и леса [Текст] / Е.М. Медведев, И.М. Данилин, С.Р. Мельников // . – М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН , 2007. – 229 с.
2. Lite Mapper [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.igi-systems.com/>
3. Официальный сайт компании Optech [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.optech.ca/>
4. Официальный сайт компании Riegl [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.riegl.com/>
5. Официальный сайт компании Leica Geosystems [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http:// www.leica-geosystems.com](http://www.leica-geosystems.com)

УДК 528.7

С.А. Арбузов

СГГА, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ НА ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ

В статье рассмотрена методика создания цифровых моделей поверхности по разновременным стереомоделям, построенным по аэрофотоснимкам. Методика позволяет по цифровым моделям поверхности оценить изменения, которые произошли с течением времени на городской территории.

S.A. Arbuzov

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

USE OF DIGITAL SURFACE MODELS FOR CHANGE DETECTION ANALYSIS OF URBAN TERRITORY

In this article is considered method of digital surface models creation using multitemporal stereomodels built by aerial photographs. This method makes it possible to estimate changes occurred on urban territory using digital surface models.

Предлагается методика выявления изменений на городской территории на основе построения моделей по разновременным аэрокосмическим снимкам. Сущность методики сводится к построению разновременных цифровых моделей поверхности (ЦМП) по стереопарам аэрофотоснимков и выявлению изменений по ним. Таким образом, можно легко определить изменения вызванные постройкой или сносом зданий, изменениями состояния растительности и т. д. Для оценки возможности применения методики была использована стереопара аэрофотоснимков на городскую территорию. На



Рис. 1. Фрагмент изображения

снимках представлены: одноэтажные здания частного сектора, типовая многоэтажная застройка, древесная растительность. На рис. 1 изображен фрагмент снимка исследуемой территории.

На первом этапе с использованием программного комплекса PHOTOMOD была создана цифровая модель поверхности. Основным видом модели рельефа в программном комплексе PHOTOMOD является нерегулярная пространственная сеть треугольников – TIN

(Triangulated Irregular Network). TIN может быть конвертирован в регулярную модель рельефа – матрицу высот. Перед построением модели рельефа следует выбрать прямоугольную область, в пределах которой она будет создаваться. Затем задать шаг сетки – частоту нанесения узлов, в которых будут рассчитываться значения высот.

Выбор шага зависит от типа застройки и необходимой детальности выявления изменений. Необходимо учитывать, что уменьшение шага сетки увеличивает время построения модели, поэтому нужно согласовывать шаг сетки с детальностью выявляемых изменений. В данном случае был выбран шаг равный пяти метрам, т.к. данный размер шага гарантирует попадание хотя бы одного узла сетки даже на самые мелкие строения. На рис. 2 представлен фрагмент полученной ЦМП.



Рис. 2. Фрагмент цифровой модели поверхности

При сравнении полученной модели с исходными снимками видно, что на модели отражены даже небольшие строения частного сектора и вагоны, стоящие на железнодорожных путях (рис. 1, 2). Далее в программном комплексе PHOTOMOD путем изменения высотных отметок TIN были искусственно созданы или удалены некоторые объекты ЦМП (рис. 3).

Дальнейшая обработка цифровых моделей поверхности выполнялась в программном комплексе ENVI 4.4. Для этого модели были сохранены в формате GEO TIF. При представлении ЦМП в данном формате значения высотных отметок представляются в виде яркостей пикселей полутонового изображения.

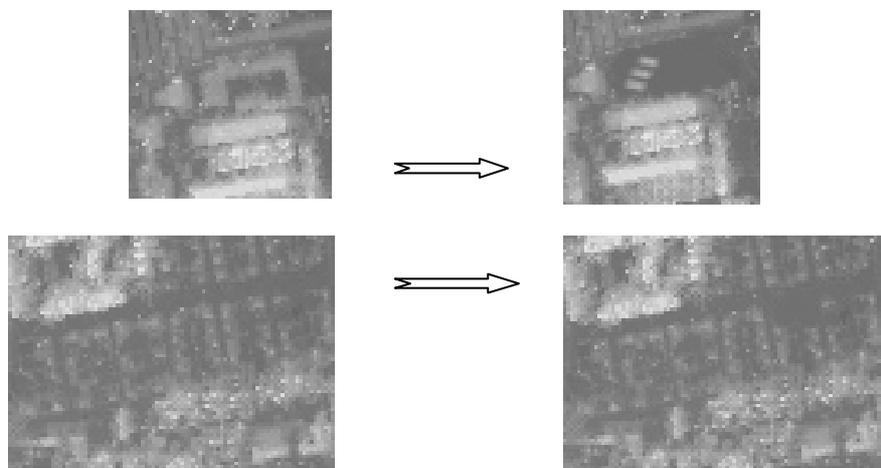
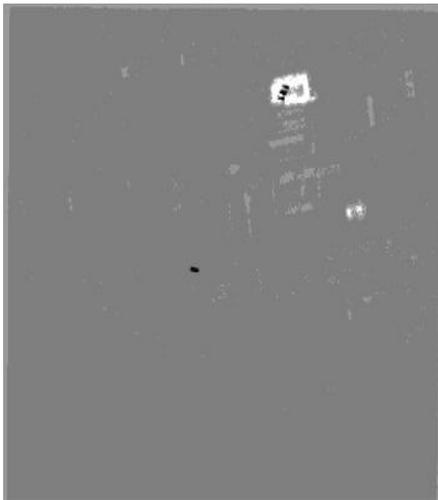


Рис. 3. Внесение изменений в ЦМП



 – удалённые объекты

 – созданные объекты

Рис. 4. Результат применения
Change Detection

Далее производился поиск изменений при помощи алгоритма Change detection. Метод Change Detection определяет изменения за счет получения разностных изображений на основе попиксельного вычитания одного изображения из другого. Результат применения этого алгоритма к полученным цифровым моделям показан на рис. 4.

Все произведённые изменения были выявлены, что подтверждает возможность поиска изменений с использованием ЦМП. Время, затрачиваемое на постройку модели, зависит от её плотности, и поэтому нужно выбирать плотность достаточную для каждого конкретного случая. Эффективность данной методики напрямую зависит от точности создаваемых моделей, а также от точности их геодезической привязки.

© С.А. Арбузов, 2010

УДК 528.88

Н.А. Брыксина, В.Ю. Полищук, Ю.М. Полищук

Югорский НИИ информационных технологий, Ханты-Мансийск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ПРОЦЕССОВ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ

Изучены временные изменения водной поверхности площадей термокарстовых озёр на основе разновременных космических снимков. Проведен анализ динамики среднелетней температуры и средних значений площадей термокарстовых озёр в последние три десятилетия в зоне вечной мерзлоты Западной Сибири. Установлено, что в этот период с увеличением среднелетней температуры суммарная площадь озёр в зонах как сплошного, так и прерывистого распространения мерзлоты в среднем уменьшается.

N.A. Bryksina, V.Yu. Polishchuk, Yu.M. Polishchuk

Ugra Research Institute of Information Technologies (URIIT)

pna@uriit.ru, steelhead@sibmail.com, Yu_Polishchuk@ugrasu.ru

RESEARCH OF TERMOKARST PROCESSES IN GLOBAL WARMING CONDITIONS BY REMOTE METHODS

Temporal changes of thermokarst lake areas based on analysis of nonsimultaneous space images have been studied. Analysis of dynamics of mean-summer temperature and the average area of thermokarst lakes in last three decades in permafrost zone of Western Siberia was carried out. It is found summarized area of lakes in continuous and discontinuous permafrost on average is shrunk at this period under growth of mean-summer temperature.

В настоящее время изменение климата, являющееся одной из значимых глобальных проблем современности, наиболее остро проявляется в высоких широтах, вызывая снижение прочности многолетнемёрзлых пород (ММП) и рост аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса [1]. В этих условиях изучение изменений термокарстовых процессов в зоне многолетней мерзлоты в связи с глобальным изменением климата, несомненно, является актуальной проблемой, решение которой вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории Западной Сибири невозможно без применения данных дистанционного зондирования поверхности Земли.

Как показано в [2], наиболее пригодными геоморфологическими индикаторами в дистанционных исследованиях криогенных изменений поверхности в условиях вечной мерзлоты являются термокарстовые озера, хорошо дешифрируемые на космических снимках. В большинстве работ,

например [3], направленной на исследование термокарстовых озер использовался преимущественно качественный подход, основанный на сопоставлении границ озер на карто-схемах, составленных путем дешифрирования разновременных космических снимков. В [4] приведены данные об изменениях числа термокарстовых озер за 30-летний период. В наших работах [5, 6] получены количественные данные о временных изменениях термокарстовых озер лишь на нескольких тестовых участках в зоне вечной мерзлоты, что не позволяет исследовать закономерности динамики термокарстовых процессов и ее взаимосвязи с климатическими изменениями во всей зоне вечной мерзлоты Западной Сибири.

В связи с этим целью настоящей работы явилось дистанционное исследование изменений площадей термокарстовых озер на большом числе тестовых участков в широком диапазоне изменений географической широты в зонах прерывистого и сплошного распространения мерзлоты и изучение взаимосвязи этих изменений с изменениями температуры на территории многолетней мерзлоты в Западной Сибири.

На рис. 1 приведена карта-схема геокриологического зонирования территории Западной Сибири [7] с обозначенными границами тестовых участков (ТУ). При этом ТУ-1 – ТУ-8 располагаются в зоне прерывистой мерзлоты, а ТУ-9 – ТУ-17 – в зоне сплошной мерзлоты.

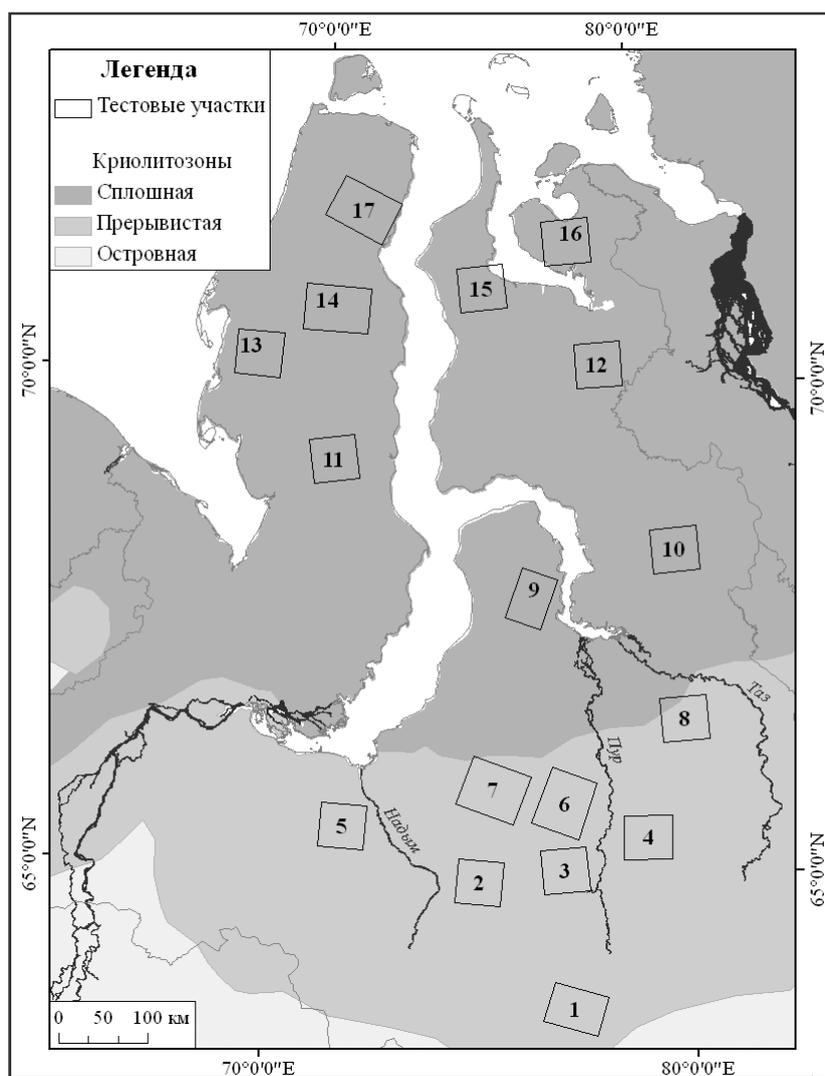


Рис. 1. Карта-схема расположения тестовых участков на территории Западной Сибири

На основе применения разновременных космических снимков Landsat исследованы временные изменения площадей водной поверхности термокарстовых озер, расположенных на различных тестовых участках. На каждом из этих участков определялось от нескольких сотен до нескольких тысяч термокарстовых озер различных размеров, измерения площадей которых проводились с использованием средств геоинформационных систем ERDAS Imagine 8.3 и ArcGis 9.2.

Использованные в работе климатические данные получены в период 1973–2006 гг. на 12 метеостанциях, расположенных на территории сплошного и прерывистого распространения мерзлоты в Западной Сибири. Показатели климатического состояния территорий исследования включали данные о температуре и осадках в теплые месяцы года, когда среднемесячная температура была положительной величиной.

Анализ взаимосвязи изменений температуры и термокарста проводился путем сопоставления трендов изменения среднелетних значений температуры и средних площадей термокарстовых озер. На рис. 2 приведены графики

временных зависимостей средней площади термокарстовых озер и среднелетней температуры воздуха, вычисленных для всех тестовых участков и метеостанциях, находящихся на исследуемой территории. Точки на графиках показывают средние значения площадей озер и среднелетние значения температуры, полученные путем усреднения соответствующих величин по всем тестовым участкам и метеостанциям. Сплошная линия на графике рис. 2 отображает график линейной аппроксимации временных ходов (линейный тренд) уравнением вида:

$$Y = \alpha x + \beta, \quad (1)$$

где α – коэффициент уравнения линейной аппроксимации;

β – свободный член уравнения аппроксимации;

x – время (годы).

Сопоставление трендов температур и площадей термокарстовых озер на этих двух графиках (рис. 2) показывает, что наблюдаемое в последние три десятилетия повышение среднелетней температуры воздуха сопровождается сокращением в среднем площади термокарстовых озер в зоне вечной мерзлоты Западной Сибири.

В табл. 1 приведены значения коэффициента α для изменения суммарных площадей термокарстовых озер на каждом тестовом участке. Как видно из таблицы, для большинства тестовых участков (11 из 17) значения α являются отрицательными. Определенная по данным табл. 1 средняя величина коэффициента α , полученная усреднением по всем тестовым участкам, является отрицательным и составляет – 13,7 %. Это позволяет сделать заключение о том, что суммарная площадь озер в зоне вечной мерзлоты Западной Сибири в среднем уменьшается, что также согласуется с правым графиком на рис. 2.

Следовательно, выявленное нашими исследованиями с использованием космических снимков сокращение в среднем площади термокарстовых озер криолитозоны Западной Сибири в последние тридцать лет можно связывать с повышением среднелетней температуры воздуха, обусловленным глобальным изменением климата. Этот вывод согласуется и с результатами исследований американских ученых [8], установивших на основе анализа дистанционных данных значительное сокращение площади термокарстовых озер в зонах прерывистого распространения мерзлоты в центральной части Аляски за последние пять десятилетий.

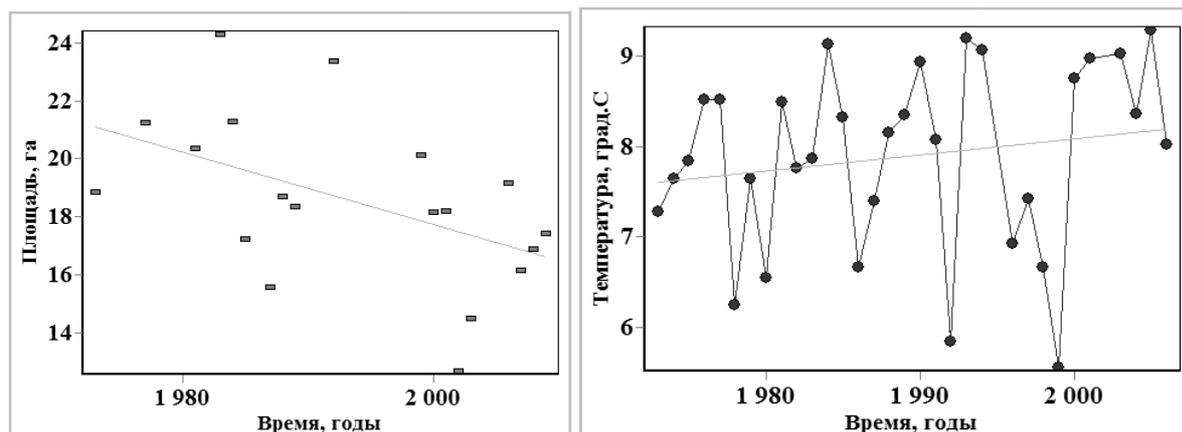


Рис. 2. Зависимости средней площади термокарстовых озер и среднелетней температуры от времени

Таблица 1 Значения коэффициента α для временных ходов суммарной площади термокарстовых озер на разных полигонах в зонах вечной мерзлоты

№ полигона	Географическая широта, град.	α , га/год
1	63,40	0,01
2	65,03	-27,31
3	65,01	-84,32
4	65,27	-68,06
5	65,35	-8,40
6	65,52	-26,57
7	65,59	-33,86
8	66,41	-65,49
9	67,55	-46,19
10	68,23	-26,84
11	69,19	-26,35
12	70,02	30,51
13	70,22	64,42
14	70,53	41,34
15	71,08	22,67
16	71,37	39,53
17	71,55	-18,48

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект № 08-05-92496-НЦНИЛ_а).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анисимов О., Лавров С. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК. – 2004. – № 3. – С. 78. – 83.
2. Днепровская В.П., Полищук Ю.М. Геоинформационный анализ геокриологических изменений в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири с использованием космических снимков // Геоинформатика. – 2008. – № 2. – С. 9–14.

3. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изучение динамики термокарстовых озер России // Геоинформатика, 2009. – № 1. – С. 44–51.
4. Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic Lakes // Science, 2005. – V. 308. – No 3. – pp. 14.
5. Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А. Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томск. ун-та, 2008. – № 311. – С. 185–189.
6. Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков // Исследование Земли из космоса, 2009. – № 4. – С. 86–95.
7. Атлас СССР // Отв. редактор Т.П. Сидоренкова. – М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1984. – 260 с.
8. Riordan B., Verbyla D., McGuire A.D. Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950 - 2002 remotely sensed images // J. Geophys. Res., 2006. – Vol. 111. G04002, doi:10.1029/2005JG000150.

© Н.А. Брыксина, В.Ю. Полищук, Ю.М. Полищук, 2010

УДК 528.73

А.Л. Быков, В.Л. Быков, Л.В. Быков, А.П. Макаров

Западно-Сибирский филиал ФГУП «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ, Омск

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ КАЛИБРОВКИ СНИМКОВ НА ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ФИЛИАЛА «ГОСЗЕМКАДАСТРСЪЕМКА» – ВИСХАГИ

В статье рассмотрены предварительные результаты калибровки снимков на равнинном испытательном полигоне Западно-Сибирского филиала ВИСХАГИ. Для калибровки использовался одноярусный способ съёмки с определением координат центров фотографирования. Полученные снимки обрабатывались в специально разработанной программе. Наблюдается зависимость полученных элементов внутреннего ориентирования от масштаба аэрофотосъёмки.

A.L. Bykov, V.L. Bykov, L.V. Bykov, A.P. Makarov

The West-Siberian branch of the federal state unitary enterprise

«GOSZEMKADASTRS`EMKA» - VISHAGI

Mira 4, Omsk, 644080, Russian Federation

STUDY METHODS OF CALIBRATION IMAGES AT THE TEST SITE OF THE WEST SIBERIAN BRANCH OF GOSZEMKADASTRSYOMKA – VISHAGI

The article presents the preliminary results of the calibration images on plain test site of the West Siberian branch VISHAGI. To calibrate the single-stage method used for determining location coordinates of the centers of photographing. These images are processed in a specially designed program. There is the dependence of the interior orientation of the scale aerial photography.

С 2005 года в Западно-Сибирском филиале «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ ведутся работы по созданию калибровочного полигона и разработке методики полевой калибровки снимков в условиях равнинной местности. Идея заключается в использовании координат центров фотографирования, зафиксированных в полете с помощью спутниковых навигационных систем. Разработано две методики. Первая основана на двухъярусном фотографировании полигона с разных высот. Вторая – на одноярусном фотографировании полигона. Одноярусное фотографирование выполняется в том случае, если аэросъёмочный комплекс обеспечивает определение координат центров фотографирования. Двухъярусная методика используется, если в процессе съёмки фиксируются не координаты центров, а лишь траектории движения носителя, необходимые для определения разностей высот фотографирования.

В 2007 году было завершено строительство полигона и выполнены теоретические разработки. В сезоне 2008 года была выполнена экспериментальная съемка полигона двумя камерами типа RC-30 объективами с различными фокусными расстояниями.

Исследовалась методика, основанная на одноярусном фотографировании. Были поставлены следующие задачи:

- Оценка качества изображения опорных точек полигона на снимках различных масштабов.
- Оценка расхождений координат центров фотографирования по фотограмметрическим и спутниковым определениям.
- Оценка точности определения элементов внутреннего ориентирования по снимкам различных масштабов.

Аэрофотосъемка выполнялась в масштабах 1 : 3 000 и 1 : 6 000 объективами с фокусным расстоянием 153 мм и 303 мм.

Оценка качества изображения опорных точек выполнялась по следующим критериям по отношению количества опознанных точек к общему количеству точек на снимке, выраженному в процентах, и по остаточному среднему квадратичному значению расхождений координат опорных точек.

Результаты оценки представлены в табл. 1.

Таблица 1 Оценка качества изображения опорных точек на снимках

Номер снимка	Фокусное расстояние	Масштаб	Количество опознанных точек (%)	СКО координат опорных точек (мм)
6473	153	1 : 3 000	76	0.013
6474	153	1 : 3 000	42	0.011
6475	153	1 : 3 000	80	0.014
2934	153	1 : 6 000	60	0.008
2941	153	1 : 6 000	56	0.010
2936	153	1 : 6 000	42	0.007
2935	153	1 : 6 000	56	0.008

В целом изображения опорных точек на снимках масштаба 1 : 3 000 не четкие. Ощущается влияние динамического смаза изображения. Точки распознаются хуже, чем на снимках масштаба 1 : 6 000. Остаточные средние квадратичные ошибки, вычисленные по расхождениям координат опорных точек на снимках масштаба 1 : 6 000 меньше, чем на снимках масштаба 1 : 3 000. Таким образом, чрезмерное укрупнение масштаба фотографирования не повышает качество распознавания опорных точек на снимках и не приводит к повышению точности ориентирования снимков.

Оценка расхождений координат центров фотографирования выполнялась путем сравнения их значений, полученных из спутниковых определений с результатами решения обратных фотограмметрических засечек по опорным точкам с паспортными значениями элементов внутреннего ориентирования.

Координаты опорных точек и базовых станций полигона были переведены в систему геоцентрических прямоугольных координат WGS-84. Координаты центров фотографирования определялись по опорным точкам. Расхождения координат приведены в табл. 2.

Расхождения координат центров не дают оснований для оценки точности результатов, но могут быть полезны при поиске и отбраковке грубых ошибок измерения.

Таблица 2 Оценка расхождений координат центров фотографирования

Номер снимка	X	Y	Z
Масштаб снимков 1 : 3 000			
6473	0.254	-0.242	0.237
6474	0.290	-0.265	0.139
6475	0.177	-0.226	0.147
Среднее отклонение	0.245	0.245	0.180
Масштаб снимков 1 : 6 000			
2934	-0.573	-0.715	0.619
2941	0.552	-0.912	0.099
2936	-0.396	-0.829	0.613
2935	-0.47	-0.744	0.692
Среднее отклонение	0.503	0.804	0.558

Оценка точности определения элементов внутреннего ориентирования выполнялась также по снимкам масштабов 1:3000 и 1:6000. При решении задачи координаты центров выбирались из результатов спутниковых определений, а угловые величины и элементы внутреннего ориентирования вычислялись по опорным точкам. Результаты оценки точности приведены в табл. 3.

Таблица 3 Оценка точности определения элементов внутреннего ориентирования

Номер снимка	F	X ₀	Y ₀
Масштаб снимков 1 : 3 000			
6473	153.807	-0.111	0.004
6474	153.822	-0.104	0.045
6475	153.833	-0.095	0.041
Среднее значение	153.821	-0.103	0.030
Погрешность	0.013	0.008	0.023
Масштаб снимков 1 : 6 000			
2934	153.886	-0.132	0.137
2941	153.855	-0.166	0.067
2936	153.881	-0.098	0.146
2935	153.857	-0.116	0.144
Среднее значение	153.870	-0.128	0.124
Погрешность	0.016	0.029	0.038

Значения табл.3 подтверждают известный факт о зависимости результатов полевой калибровки от условий фотографирования. Для повышения надежности калибровочных данных необходимо выполнять калибровочные испытания в условиях, максимально приближенных к условиям реальной съемки.

© *А.Л. Быков, В.Л. Быков, Л.В. Быков, А.П. Макаров, 2010*

УДК 528.7

А.П. Гук, Йехиа Хассан Мики Хассан, С.А. Арбузов
СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗМЕРЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК СНИМКОВ С ПОМОЩЬЮ МАСШТАБНО- ИНВАРИАНТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ SIFT

Описание характерных точек с помощью SIFT весьма полезно, так как это позволяет с большой степенью достоверности идентифицировать точки на различных разномасштабных и разновременных снимках. Описание точек с помощью SIFT-вектора инвариантно по отношению к сдвигу, развороту, масштабу и изменению яркости. Признаки также устойчивы к шумам и теням.

В данной работе были выполнены исследование точности построения модели по стереопарам аэрофотоснимков с помощью SIFT преобразования. Оценка точности идентификации выполнялась по результатам взаимного ориентирования и среднеквадратическим ошибкам расхождения координат опорных и контрольных точек.

A.P. Guk, Yehia Hassan Miky Hassan, S.A. Arbuzov
SSGA, Novosibirsk

STUDYING THE ACCURACY OF AUTOMATIC MEASUREMENT OF POINTS COORDINATES FOR IMAGES USING SCALE INVARIANT TRANSFORM SIFT

Description of the characteristic points using Scale Invariant Feature Transform (SIFT) is very useful because it allows a high degree to identify the points on various different scales and different time snapshots. It is invariant with respect to translation, scaling, rotation, and changing the brightness, also it has resistant to noise and shadows.

In this paper a study of accuracy of constructing the model for pairs of aerial images using SIFT point were carried out. Evaluation of the accuracy of identification was carried out based on relative orientation.

Традиционные фотограмметрические технологии, предназначенные для создания цифровых топографических карт, построения ЦМР и ориентированы на высокую точность измерений координат точек снимков, построение фотограмметрич модели с высокой точностью и трансформирование снимков с большим коэффициентом увеличения.

Тем не менее в ряде случаев необходимо не получение предельной точности, а максимальное увеличение производительности и уменьшение затрат работы операторов фотограмметристов. В настоящее время в

большинстве фотограмметрических комплексов для автоматизации работ используются корреляционные алгоритмы которые обеспечивают автоматизацию идентификации точек на снимках. Тем не менее корреляционные алгоритмы как известно обладают тем недостатком, что могут хорошо работать только на открытых территориях и затруднено их использование в городских и закрытых местностях [1].

В данной работе предлагается алгоритм основанный на SIFT, который свободен от ряда недостатков корреляционных механизмов и хотя описание точек с помощью SIFT в основном предназначено для идентификации точек на разномасштабных и разновременных снимках, также представляет определенный интерес применение этого метода для решения фотограмметрических задач.

Описание точки с помощью SIFT-вектора инвариантно по отношению к сдвигу, развороту, масштабу и изменению яркости. Признаки также устойчивы к шумам и теням.

Целью проведенных экспериментов являлось исследование точности построения модели по парам аэрофотоснимков с помощью SIFT преобразования. Оценка точности идентификации выполнялась по результатам взаимного ориентирования.

Взаимное ориентирование снимков выполнялось по измерениям с использованием следующих методик (режимов):

1. «Ручной» режим идентификации точек без отбраковки и с отбраковкой грубых измерений;
2. Автоматический режим идентификации с помощью sift преобразования с отбраковкой точек расположенных на «деревьях и зданиях» при большом количестве точек.

Для автоматического обнаружения соответственных точек использовался алгоритм масштабно-инвариантного преобразования SIFT, построенного с использованием методик предложенных в [3–5].

Описание точки с помощью SIFT преобразования включает в себя несколько этапов:

1. Подчеркивание контуров и выделение границ путем определения разностного изображения для соседних уровней Гауссова пространства изображений.
2. Выделение характерных точек на разностном изображении путем последовательного просмотра разностных уровней и выявления локальных экстремумов (максимумов или минимумов) для разностных изображений [6].
3. Описание локальной области выделенной вокруг точки путем задания масштаба и ориентации локальной системы координат, связанные с этой локальной областью.
4. Детальное описание точки с помощью градиентов по направлениям, заданным относительно ориентации локальной области.

На рис. 1 приведен результат выделения точек на аэроснимке.

Построение геометрических моделей выполнялось в программе PHOTOMOD. Использовались стереопары аэроснимков масштаба 1 : 12 000, с фокусным расстоянием 153.734 мм. Модели строились по трем стереопарам. Результаты взаимного ориентирования представлены ниже.

Режим 1. При измерении координат соответственных точек выполнялась их идентификация путем визуального наблюдения на левом и правом снимках. Число точек по стереопарам составило: I-18, II-18, III-18, они располагались на контурах поверхности земли. Остаточный поперечный параллакс составил: (I) max – 0,0066 мм, среднеквадратический – 0,0035 мм, (II) max – 0,0051 мм, среднеквадратический – 0,0023 мм, (III) max – 0,0067 мм, среднеквадратический – 0,0031 мм.



Рис. 1. Результат выделения точек на аэроснимке

Режим 2. Использовался автоматический режим идентификации точек с помощью SIFT преобразования. Точки попавшие на здания и деревья были отбракованы. Число точек после отбраковки по стереопарам составило: I-17, II-20, III-18. Положение точек по высоте уточнялось в стереорежиме. Остаточный поперечный параллакс составил: (I) max – 0,0065 мм, среднеквадратический – 0,0035 мм, (II) max – 0,0101 мм, среднеквадратический – 0,0048 мм, (III) max – 0,0125 мм, среднеквадратический – 0,0075 мм.

Оценка качества построения модели выполнялась путем внешнего ориентирования по опорным точкам. Результаты приведены в табл. 1, 2

Таблица 1 Результаты внешнего ориентирования модели

Точки	С. К. О.		
	X, м	Y, м	Z, м
опорные	0.20	0.19	0.08
контрольные	0.22	0.44	0.21

Таблица 2 Результаты внешнего ориентирования модели построенной при помощи алгоритма SIFT

Точки	С. К. О.		
	X, м	Y, м	Z, м
опорные	0.20	0.15	0.09
контрольные	0.19	0.39	0.41

Проведенные исследования показали возможность применения автоматического режима идентификации соответствующих точек с помощью SIFT преобразования, с последующим уточнением высоты этих точек в стереорежиме. При таком режиме работы (автоматическая идентификация и последующее уточнение высоты) увеличивается скорость взаимного ориентирования снимков, особенно на городской и закрытой местности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гук А.П. Развитие фотограмметрических технологий на основе имманентных свойств цифровых снимков // Геодезия и картография.-2007. – №11. – С. 26-29.
2. Лобанов, А.Н. Аналитическая фотограмметрия / А.Н. Лобанов. – М.: Недра, 1972. – 224 с.
3. Witkin, A.P. 1983. Scale-space filtering. In International Joint Conference on Artificial Intelligence, Karlsruhe, Germany, pp. 1019-1022.
4. Lowe, D.G. 1999. Object recognition from local scale-invariant features. In International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, pp. 1150-1157.
5. Lindeberg, Tony, 1993 "Detecting salient blob-like image structures and their scales with a scale-space primal sketch: a method for focus-of-attention," International Journal of Computer Vision, 11, 3, pp. 283–318.
6. Crowley, James L., and Alice C. Parker, 1984 "A representation for shape based on peaks and ridges in the difference of lowpass transform," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 6, 2, pp. 156–170.

УДК 577.4

И.М. Данилин, М.А. Ташлыков, А.И. Данилин

Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск

ТРЕХМЕРНЫЙ КАДАСТР ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС

В статье рассматривается методика перехода к ведению кадастра объектов недвижимости в трёхмерной среде визуализации и учёта, а также методика обновления картографического материала на территорию населённых пунктов с использованием данных трёхмерного кадастра объектов недвижимости.

I.M. Danilin, M.A. Tashlykov, A.I. Danilin

V.N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Academgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

THREE-DIMENSIONAL CADASTRE OF REAL-ESTATE BASED ON REMOTE SENSING DATA AND GIS

The method for transferring to maintenance of real-estate cadastre in a three-dimensional visualization and control, as well as to renewal of cartographic materials for city lands with the use of three-dimensional cadastre of real-estate is discussed in the paper.

Одной из важнейших характеристик земной поверхности является рельеф, который выступает определяющим почвообразующим фактором и фактором, влияющим на виды хозяйственной деятельности человека, особенно на территориях городов и других населённых пунктов. Оценка рельефа должна строиться с учетом тех функций, которые он несет в природно-антропогенных системах городов. В геотехнической системе «город» рельеф выполняет сложные функции, являясь, прежде всего, базисом для градостроительной деятельности и одним из критериев разрешённого пользования землёй. Рельеф земной поверхности, естественный и созданный человеком, может усиливать в одном случае и ослаблять в другом нежелательные опасные явления. В связи с этим необходимы его учёт и максимально точное изображение при планировании и использовании земель населённых пунктов.

По сложности рельеф подразделяется на простой, относительно простой, сложный, относительно сложный. С помощью плана организации рельефа решаются задачи по преобразованию рельефа данной территории для приспособления его к застройке, благоустройству и инженерно-транспортным нуждам. Организация рельефа обеспечивает: высотное решение площадей, улиц, проездов; размещение зданий, сооружений и подземных коммуникаций; возможность стока ливневых и канализационных вод. Определяющим

документом проекта является схема организации рельефа, составляемая на топографическом плане в масштабе 1 : 5 000 или 1 : 2 000 [2].

Важным моментом при проектировании схемы организации рельефа является эстетическое восприятие человеком окружающей городской среды, где основной целью является поиск гармонии, красоты объекта. Эстетическое восприятие способно рождать не только эмоциональное, но и рациональное. Поэтому «окультуренные» современные ландшафты должны не только оптимально выполнять свойственные им социально-экономические, экологические и технологические функции, но и обладать немалыми эстетическими достоинствами [3].

Наиболее развитые в социально-экономическом отношении государства (США, Германия, Франция, Япония и др.) в настоящее время активно проводят мероприятия по переходу из двухмерной среды визуализации и хранения картометрического материала к трёхмерной [4–8]. Трёхмерная система визуализации удобна не только самим фактом наиболее детального отображения территории, но и возможностью проведения различных видов планирования и организации территории, а также привязки точек к поверхности по трём координатным осям.

Учитывая территориальный потенциал и сложность природно-климатических условий, в Российской Федерации также предпринимаются попытки создания трёхмерно-визуализированных баз данных городских территорий [4–8]. Одним из актуальнейших вопросов является построение цифровой модели рельефа, которая представляет собой базис для всей трёхмерной модели городской территории.

Данные о земельных участках в Едином государственном кадастре объектов недвижимости [9] содержат лишь плановые двухмерные координаты поворотных точек земельных участков без учета высотного положения точек, несмотря на то, что высота является весьма важным показателем, по которому возможно построить цифровую модель поверхности, определить эрозионную опасность, установить возможные ограничения и мероприятия при пользовании земельными участками.

Ведение и визуализация земельного кадастра в трёхмерной системе координат позволяет улучшить планировочные возможности при обустройстве и развитии городской территории, тем самым, повышая экономическую эффективность использования городских земель.

К современным способам построения цифрового рельефа местности на городские территории относятся:

- 1) Построение рельефа по векторизованным картографическим материалам;
- 2) Построение рельефа местности по материалам аэрофотосъёмки;
- 3) Построение рельефа по данным радиолокационной съёмки;
- 4) Построение рельефа по данным лазерной съёмки.

Наивысшая точность построения рельефа достигается при использовании данных лазерной локации [6, 7].

Целью исследования явилась разработка системы перехода к трёхмерному ведению земельного кадастра и визуализации данных, построение трёхмерной модели рельефа, совершенствование системы мониторинга земель и обновления картографических материалов.

Объектом исследования были выбраны земли г. Красноярск (Октябрьский район) в связи с разнообразием форм рельефа и видов использования земель.

Исследования проводились с использованием аэрофотоснимков масштаба 1 : 12 000 на г. Красноярск, лазерно-локационной съемки, а также блоков фотограмметрических данных. Для обработки аэрофотоснимков и лазерно-локационных сцен, проведения стереометрического построения цифровой модели рельефа и трёхмерного моделирования городских земель использовалось программное обеспечение PhotoMoD, Altaxis 3.0, ArcView 3.0, фотограмметрическая станция NuVision60GX.

Базисом для создания трёхмерного кадастра объектов недвижимости является цифровая трёхмерная модель рельефа, имеющая координаты X , Y , Z . При ведении земельного кадастра в реестре, содержащем геоданные, не было учтено высотное положение поворотных точек земельных участков, что обуславливает определённые сложности к переходу в трёхмерное пространство хранения и визуализации данных.

Наименее затратным и оптимальным способом создания трёхмерной цифровой модели рельефа на территорию населённых пунктов является построение рельефа в стереоскопическом режиме по материалам крупномасштабной аэрофотосъёмки. При проведении данных работ для оптимизации денежных и трудовых затрат следует учитывать недавно проведенные аэрофотосъёмочные работы на территории населённых пунктов для иных целей землеустройства и градостроительства.

По заказу «Роснедвижимости» за период 2008-2009 гг. институтом «ВИСХАГИ» были построены ортофотопланы на все населённые пункты Сибирского региона, в том числе на г. Красноярск. На этапе создания ортофотоплана была построена цифровая модель рельефа. Формирование цифровой модели рельефа для ортофотоплана заключалось в построении TINa (Triangulated Irregular Network – нерегулярная триангуляционная сеть). По результатам глобального TINa строилась матрица высот, которая была необходима для устранения ошибок за кривизну земной поверхности при построении ортофотоплана.

При анализе ранее построенного TINa на территорию города Красноярск было установлено, что его использование для построения цифровой модели рельефа в масштабе 1 : 2 000 возможно при сгущении триангуляционной сети в среднем в 3 раза (рис. 1).



Рис. 1. Сгущенная триангуляционная сеть для построения трёхмерной цифровой модели рельефа масштаба 1 : 2 000

Триангуляционная сеть TINa сгущалась в границах Октябрьского района г. Красноярска. После сгущения триангуляционной сети TIN экспортировали из программной среды PhotoMOD в программную среду ArcView для построения трёхмерной модели рельефа, с возможностью введения атрибутивных данных и создания тематических векторных слоёв.

При необходимости создания двухмерных планов с рельефом местности возможно отображение трёхмерного рельефа в двухмерных изолиниях, построенных в программной среде PhotoMOD с возможностью экспорта в любую программную ГИС среду (рис. 2).



Рис. 2. Фрагмент рельефа местности на территорию Октябрьского района г. Красноярска.

Для геодезических и картографо-топографических задач при мониторинге земель населенных пунктов, большой интерес представляет использование лазерных сканеров, которые в последние годы активно развиваются. Лазерные сканеры (ЛС) воздушного и наземного базирования позволяют получать данные, которые обрабатываются в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Результатом лазерно-локационной съёмки является пространственная модель объекта, описанная огромным (сотни миллиардов импульсов, терабайты информации) количеством точек отраженных лазерных импульсов, каждый из которых уже в момент съёмки имеет трехмерные пространственные координаты X , Y , Z и координату времени. Пятой характеристикой для каждой точки является значение интенсивности отраженного сигнала, что представляется удобным для визуализации измерений. Интенсивность отраженного сигнала в каждом случае зависит от составляющего материала объекта, его структуры цвета и т. д.

Пространственная модель объекта, описанная множеством точек, называется «облаком точек». С помощью специализированного программного обеспечения Altaxis 3.0 [8] и Terrasolid [10], полученные «облака точек» «сшиваются» друг с другом. Объединенное «облако точек» может быть трансформировано в любую требуемую систему координат.

На полученной пространственной модели выполняют измерения различных геометрических параметров (расстояния, углы, диаметры, радиусы кривизны и т. д.). Также «облако точек» можно вращать, виртуально меняя положение наблюдателя и угол зрения (рис. 3).

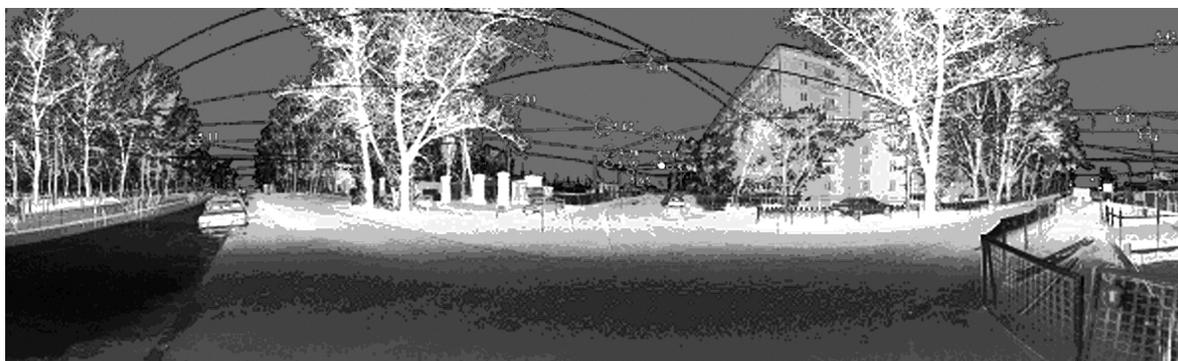


Рис. 3. Трехмерная лазерно-локационная сцена элементов городской застройки и зеленых насаждений г. Красноярска

На рис. 3 каждый пиксел изображения имеет полный набор пространственных координат. Все изображенные на сцене объекты и видимые элементы растительности доступны для измерения параметров в камеральных условиях. Именно эти качества лазерной локации позволяют рекомендовать ее для научных и практических работ при мониторинге земель.

После первичной обработки данных лазерной локации, выполняется построение векторных моделей. Эта задача решается построением треугольников с вершинами в точках «облака» (триангуляционная или полигональная модель), либо используется набор примитивов (точка, вектор, плоскость, цилиндр, сфера и т. д.). Полученные векторные данные

экспортируются в программы, которые работают с трехмерной векторной графикой, такие как: AutoCad, ArcView, MicroStation и другие.

Для изучения характеристик рельефа, растительности и объектов недвижимости, полигональные модели являются эффективным инструментом, с помощью которых возможно выполнять прямые измерения объектов и определять их параметры в режиме реального времени. Представление сопряженной цифровой фотограмметрической, картографической (полигональной) и семантической информации в геоинформационной системе [11] реализуется в программной среде ArcView 3.0 (рис. 4).

При ведении учёта городских земель в трёхмерной системе координат с использованием высоты поворотных точек земельных участков, ставящихся на кадастровый учёт, появляется возможность обновления электронного картографического материала путём экспортирования координат поворотных точек земельных участков из Единого государственного реестра объектов недвижимости в общую цифровую модель рельефа города. Такой способ обеспечивает непрерывное уточнение рельефа местности, а также привязку земельных участков к поверхности земли.

Введение уже стоящих на учёте земельных участков в трёхмерное пространство возможно с помощью экспортирования их поворотных точек в программную среду PhotoMOD, Altaxis 3.0 или Terrasolid и проецирования в стереоскопическом режиме на поверхность земли, таким образом устанавливая координаты Z с плановой точностью 1 : 2 000 и выше.

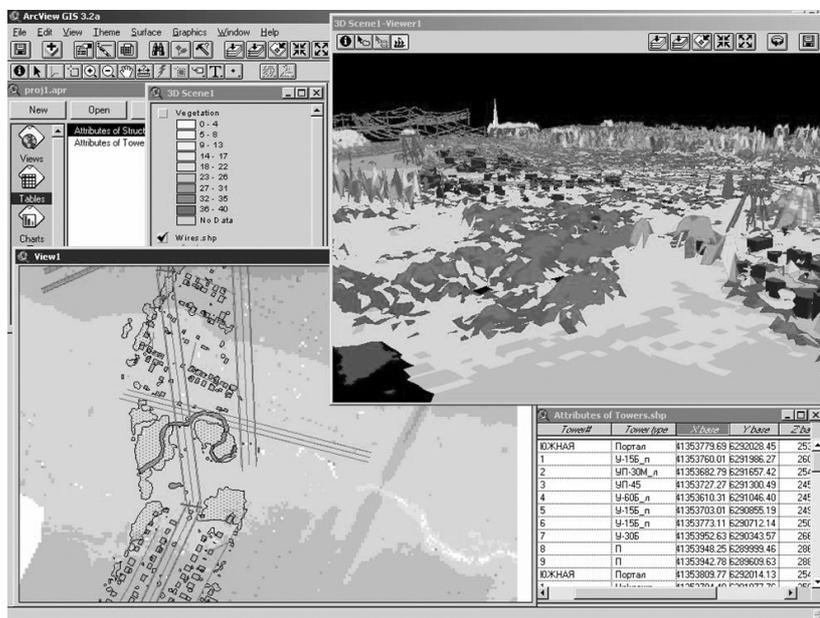


Рис. 4. ГИС-представление фотограмметрической, картографической (полигональная модель) и семантической информации о земельных участках и расположенных на них объектах недвижимости

Экономическая составляющая построения трёхмерных моделей рельефа на населённые пункты Сибирского региона значительно сокращается, так как 70 % трудозатрат составляет получение аэрофотоснимков, лазерных сцен и создание ортофотопланов.

Предлагаемый метод разработан с учётом «Концепции использования информационных технологий» [12] и отвечает её принципам. Полученные трёхмерные модели рельефа и объектов могут служить основой для проектирования, градостроительной деятельности, а также базисом для создания трёхмерной системы ведения кадастра объектов недвижимости, градостроительного планирования и экологического мониторинга.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Данилова, Н. Н. Технология строительных процессов [Текст]. – М.: Высшая школа, 1997. – 464 с.
2. Киселёв, М. И. Основы геодезии [Текст]. – М.: Высшая школа, 2001. – 368 с.
3. Николаев, В. А. Ландшафтоведение, эстетика и дизайн [Текст]. – М., 2003. – 175 с.
4. Дата +, 2009. Электронный ресурс: [www.Dataplus.ru /Arcrev](http://www.Dataplus.ru/Arcrev).
5. Капралов, Е. Г., Кошкарлов, А. В., Тикунов, В. С. и др. Основы геоинформатики [Текст]: Учеб. пособие для студ. вузов в 2-х кн. / под ред. В.С. Тикунова. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 480 с.
6. Медведев, Е. М., Данилин, И. М., Мельников, С. Р. Лазерная локация земли и леса [Текст]: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Геолидар, Геокосмос; Красноярск: Ин-т леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2007. – 229 с.
7. Данилин, И. М., Медведев, Е. М. Оценка структуры и состояния лесного покрова на основе лазерного сканирования и цифровой аэро- и космической съёмки [Текст] // География и природ. ресурсы. – 2005. – № 3. – С. 109–113.
8. Альтекс Геоматика, 2009. Электронный ресурс. Режим доступа: www.altex-gmt.ru.
9. Федеральный закон РФ от 24.07.2007 г. № 221-ФЗ «О государственном кадастре недвижимости» [Текст]. – М., 2007. Электронный ресурс: <http://www.rg.ru/2007/08/01/kadastr-doc.html>
10. TerraSolid, 2009. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.terrasolid.fi>
11. Берлянт, А. М. Геоинформационное картографирование [Текст]. – М.: Астрей, 1997. – 64 с.
12. Концепция использования информационных технологий. Одобрена распоряжением Правительства РФ от 27.09.2004 г. №1244-р. [Текст] Электронный ресурс. Режим доступа: www.russianlaw.net/law/acts/z42.htm

УДК 528.837

Д.С. Дерисhev

ЗАО Научно-технический центр «Аэрoмеханика», Новосибирск

С.Г. Дерисhev

ОАО «Новосибирский научно-исследовательский институт авиационной технологии и организации производства», Новосибирск

БЕСПИЛОТНЫЕ АВИАЦИОННЫЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МОНИТОРИНГА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

В докладе представлены разрабатываемые в настоящее время образцы беспилотных самолетов, предназначенных для выполнения исследовательских задач геофизики, мониторинга земной поверхности в интересах лесных ведомств, аэрофотосъемки, исследования земных недр с помощью дистанционного зондирования. Особенностью представленных летательных аппаратов является высокая надежность, минимальные требования к базированию и максимально возможная автономность выполнения полетного задания.

D.S. Derishev

'Aeromechanics' Science & Technology Center, Joint-Stock Company

S.G. Derishev

'Novosibirsk Research Institute of Aviation Technology and Industrial Engineering', Joint-Stock Company

Russia, 630051, Novosibirsk, ul. Polzunova, 15. Tel. +7 383 213 99 78

UNMANNED AERIAL SYSTEMS FOR GEOPHYSICAL RESEARCH AND EARTH MONITORING

Unmanned aircraft currently under development designed to carry out geophysical research, forest fire monitoring, aerial photography, Earth remote sensing are presented. Unmanned aircraft concerned provide high reliability, minimum requirements for takeoff and landing site and maximum mission autonomy.

Беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в настоящее время широко используются во многих странах для выполнения задач видеонаблюдения, ретрансляции радиосигналов, дистанционного зондирования земли и акваторий, оперативной доставки малогабаритных грузов и пр. В России же сдерживающими факторами для массового применения БПЛА являются отсутствие нормативно-технической базы для разработки беспилотных аппаратов и законодательства, регламентирующего их эксплуатацию в гражданском секторе. С другой стороны, катализатором распространения БПЛА в нашей стране является быстрое сокращение парка пилотируемых самолетов и

вертолетов, пригодных для решения вышеперечисленных задач, и экономическая целесообразность: стоимость летного часа БПЛА, как правило, в несколько раз ниже, чем в случае применения пилотируемых летательных аппаратов.

Однако не следует воспринимать БПЛА как нечто простое и легкодоступное. Беспилотный авиационный комплекс – это сложная система, воплощающая в себе новейшие достижения в области микроэлектроники, робототехники, аэродинамики, технологии и материалов. Требуемые потребительские свойства и коммерческую привлекательность БПЛА может приобрести только в том случае, если его разработка изначально была нацелена не на кратковременную демонстрацию, а на длительный срок безаварийной эксплуатации с заданной экономичностью.

Важнейшее значение для успешного применения БПЛА имеют условия базирования и взлетно-посадочные характеристики. Взлет и посадка по-самолетному способствуют упрощению конструкции и повышению доли целевой нагрузки в общей массе летательного аппарата. Желание обеспечить возможность базирования БПЛА без взлетно-посадочной полосы привело к широкому распространению взлета с катапульты и парашютной посадки. Катапультный взлет вызывает некоторое утяжеление конструкции, но способен обеспечить требуемую вероятность безаварийной эксплуатации. Парашютная посадка же часто оканчивается повреждениями самолета. Поэтому важнейшая задача разработчика БПЛА сегодня – это надежное обеспечение безаварийной посадки.

Требования к крейсерскому режиму полета БПЛА, выполняемому на малых высотах в условиях высокотурбулентной атмосферы и переменных ветровых нагрузок помимо традиционной экономичности полета (следовательно, большой дальности или продолжительности) содержат и условия обеспечения малых угловых перемещений летательного аппарата для нормального функционирования целевой нагрузки. Выполнение этих требований возможно при надлежащем выборе параметров аэродинамической компоновки самолета, алгоритмов системы автоматического управления и характеристик рулевых приводов.

Комплекс радиоэлектронного оборудования состоит из бортового комплекта и наземной станции управления. Бортовой комплект содержит систему автоматического управления и навигации, систему управления целевой нагрузкой, систему связи с наземной станцией управления, накопитель информации, систему бортовой диагностики, аварийную систему. На наземной станции управления размещено рабочее место пилота-оператора, мониторы, отображающие информацию с бортовой пилотажной видеокамеры и параметры полета, а также данные, передаваемые целевой нагрузкой в реальном времени.

В состав беспилотного авиационного комплекса входит, как правило, несколько (от двух до пяти) летательных аппаратов, наземная станция управления, устанавливаемая на автомобиле или автоприцепе, средство транспортировки летательных аппаратов, стартового оборудования и экипажа.

Ниже приведены общий вид и некоторые тактико-технические данные беспилотных самолетов, разрабатываемых в научно-техническом центре «Аэромеханика».

БПЛА «065» может выполнять катапультный взлет и укороченную посадку на грунтовую площадку малых размеров за счет применения механизации крыла и динамического маневра торможения в воздухе непосредственно перед касанием земли. Аппарат имеет значительную техническую дальность полета, обеспечиваемую совершенством аэродинамической компоновки, просторный отсек для размещения целевого оборудования.

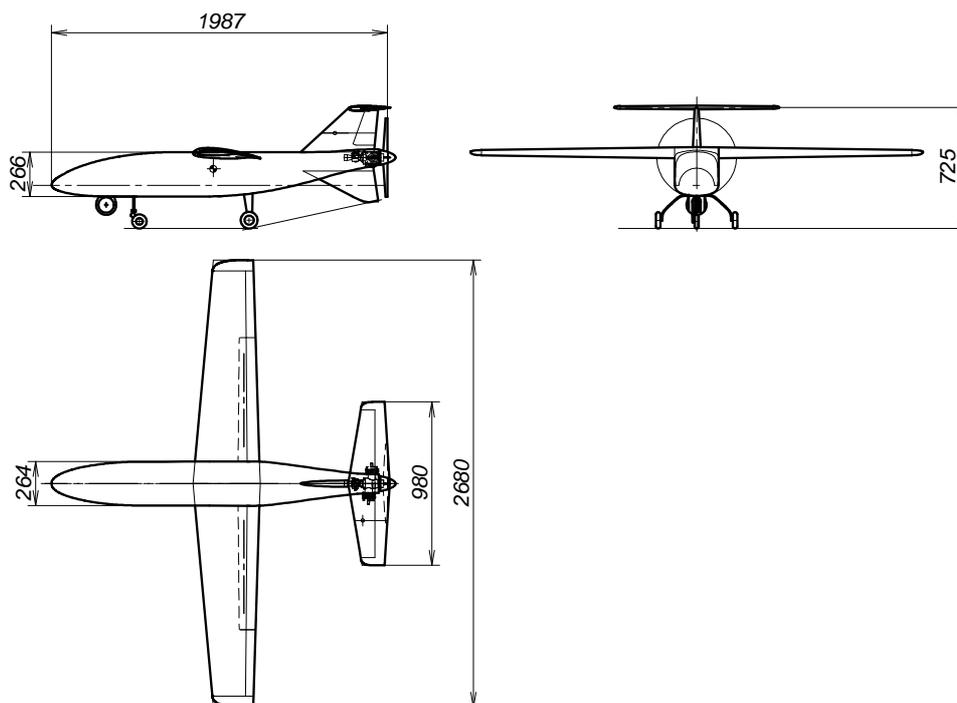


Рис. 1. Беспилотный самолёт «065»

Взлетный вес максимальный, кг	25
Вес без топлива и целевой нагрузки, кг	15,5
Вес топлива, кг	2,5
Вес целевой нагрузки максимальный, кг	7
Часовой расход топлива на крейсерском режиме, кг/ч	0,8
Скорость крейсерская, км/ч	160
Дальность полета, км	360
Удаление от наземной станции управления, км	70
Продолжительность полета максимальная, час	3
Высота полёта максимальная, м	3000
Максимальная эксплуатационная перегрузка	+5...-3
Тяговооруженность стартовая	0,48
Двигатель (поршневой, двухтактный)	3W-56
Мощность двигателя, л.с.	5
Топливо	Бензин 98
Метеоусловия эксплуатации	
- Температура, °С	- 15...+35
- Скорость ветра у земли максимальная, м/с	10
Размер контейнера для транспортировки, м	2,5 x 0,8 x 0,5

Максимальное удаление от наземной станции управления ограничивается дальностью связи. Использование спутникового канала устраняет это ограничение и позволяет полностью реализовать техническую дальность. Самолет имеет вариант со взлетом и посадкой на воду. Демонстратор БПЛА «065» в настоящее время проходит летные испытания.

БПЛА вертикального взлета и посадки «075» способен совершать полностью автономный полет от взлета до посадки. В отличие от аналогов, построенных зарубежными оборонными ведомствами, в системе управления самолета не используются принципы управления вертолета и прецизионная механика автоматов перекоса. Автоматические вертикальные взлет и посадка обеспечивают сохранность дорогостоящей целевой нагрузки и не требуют навыков пилотирования у оператора.

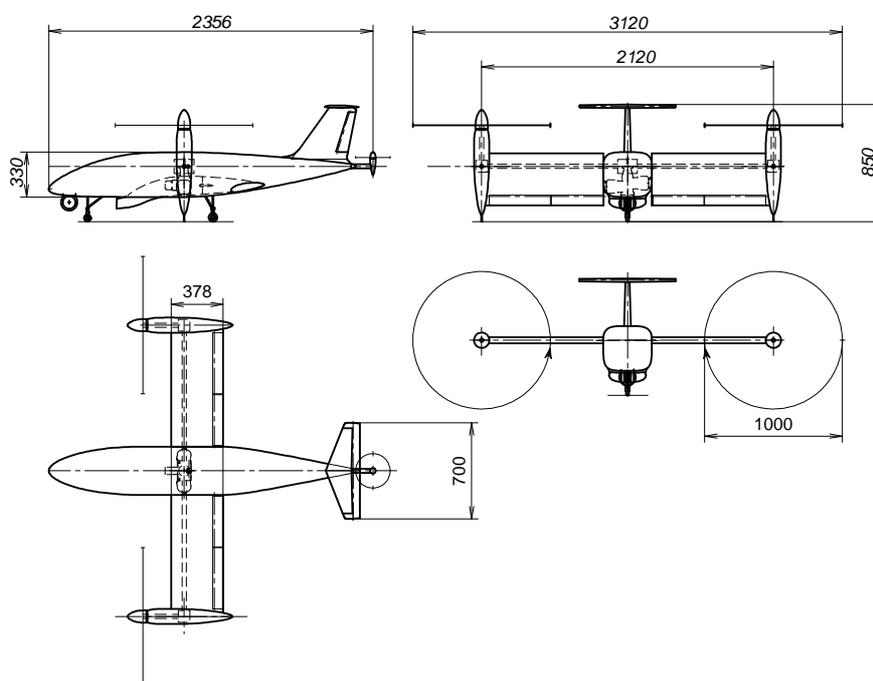


Рис. 2. Беспилотный самолёт с вертикальным взлётом и посадкой «075»

Взлетный вес максимальный, кг	60
Вес без топлива и целевой нагрузки, кг	41
Вес топлива, кг	12
Вес целевой нагрузки максимальный, кг	7
Часовой расход топлива на крейсерском режиме, кг/ч	5,3
Скорость крейсерская, км/ч	180
Дальность полета, км	360
Удаление от наземной станции управления, км	70
Продолжительность полета максимальная, час	3
Высота полёта максимальная, м	3000
Максимальная эксплуатационная перегрузка	+5...-3
Тяговооруженность стартовая	1,3
Двигатель (поршневой, двухтактный)	3W-210
Мощность двигателя, л.с.	20
Топливо	Бензин 98

Метеоусловия эксплуатации	
- Температура, °С	- 15...+35
- Скорость ветра у земли максимальная, м/с	10
Размер контейнера для транспортировки, м	2,5 x 0,8 x 0,5

БПЛА «085» предназначен для выполнения задач геофизики. Конструкция аппарата выполнена из полимерно-композиционных материалов, радиопрозрачна и практически не содержит металлических элементов. Аэродинамическая компоновка оптимизирована под размещение встроенной антенны. Взлет может выполняться по-самолетному или с помощью катапульты. Посадка – с динамическим маневром торможения и коротким пробегом.

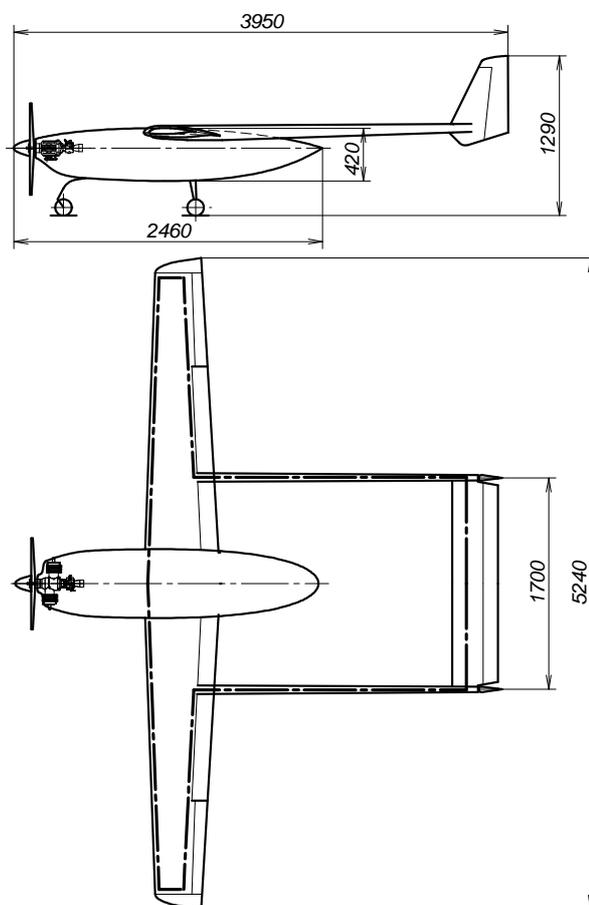


Рис. 3. Беспилотный самолёт для аэрогеофизических исследований «085»

Взлетный вес максимальный, кг	60
Вес без топлива и целевой нагрузки, кг	30
Вес топлива, кг	15
Вес целевой нагрузки максимальный, кг	15
Часовой расход топлива на крейсерском режиме, кг/ч	5
Скорость крейсерская, км/ч	150
Максимальная техническая дальность полета, км	400
Удаление от наземной станции управления, км	20
Продолжительность полета максимальная, час	3
Высота полёта максимальная, м	3000
Двигатель (поршневой, двухтактный)	3W-210
Мощность двигателя, л.с.	20
Топливо	Бензин 98
Метеоусловия эксплуатации	
- Температура, °С	- 25...+35
- Скорость ветра у земли максимальная, м/с	10
Размер контейнера для транспортировки, м	2,5 x 0,8 x 0,5

УДК 528.7

М.М. Лазерко

СГГА, Новосибирск

ОЦЕНКА ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ 3 D МОДЕЛЕЙ, ПОСТРОЕННЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ ТИПАМ ДАННЫХ В ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТАХ 3DSMAX И GOOGLE SKETCHUP

В статье описывается метод построения 3D моделей по различным типам данных, а также оценка их геометрической точности в программных продуктах 3dsMAX и Google SketchUp.

М.М. Lazerko

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Ul., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

ESTIMATION OF GEOMETRICAL ACCURACY 3 D THE MODELS CONSTRUCTED ON VARIOUS TYPES OF THE DATA IN SOFTWARE PRODUCTS 3DSMAX AND GOOGLE SKETCHUP

In article is considered methods 3D models on various types of the data in software products 3dsMAX and Google SketchUp and an estimation of their geometrical accuracy is considered.

Возможности трехмерных программных продуктов не всегда выполняют, всех требований заказчика и поэтому следует, проанализировать методы построения 3D моделей, а так же выполнить оценку их точности.

В настоящее время для предоставления пространственных объектов местности широко используются 3D модели (трехмерные модели). 3D модель местности обладают гораздо более широкими возможностями, нежели ее двумерный аналог [1]. 3D модель являются исключительно эффективным иллюстративным материалом, так как позволяют рассматривать модель с различных точек пространства. Трехмерное моделирование используется в различных областях человеческой деятельности и позволяет изучать физический объект по его аналогу – 3D модели [2].

Для трехмерного моделирования требуются исходные данные, которые могут быть получены в результате аэрофотосъемки и космической съемки, а так же наземного и воздушного лазерного сканирования. Наиболее эффективным методом создания являются данные аэрофотосъемки и космической съемки, т.к. по этим данным можно получить как метрические, так и текстурные данные, необходимые для построения модели.

Пример 3D модели местности, сочетающей в себе наглядность и метричность, может послужить проект Google Earth, который уже имеет

огромную популярность среди специалистов, и среди обычных пользователей сети Internet. Проект Google Earth представляет собой трехмерную поверхность модели Земли, созданную на основе спутниковых снимков высокого разрешения, который позволяет просматривать трехмерные изображения крупных городов с высоким разрешением.

Сервер картографических данных и космических снимков maps.google.com получил закономерное продолжение – earth.google.com. С вводом в тестовую эксплуатацию этого ресурса каждый пользователь сети Internet может определить географические координаты любого объекта с точностью до одного – двух метров, а также просматривать 3D модели объектов рельефа местности и воспроизводить видеозапись движения [3, 4].

Важным фактором определяющим эффективность создания 3D модели является время, затрачиваемое на ее получение. Популярные пакеты трехмерного моделирования имеют многочисленные окна предварительных настроек, которые отнимают большое количество времени.

Программный продукт 3DS MAX компании Autodesk – это так называемый стандарт в области полупрофессионального и профессионального 3D моделирования. Как инструмент, он обладает всеми необходимыми средствами моделирования, текстурирования, анимации, работы со светом и звуком. Программа хорошо подходит как для моделирования простых сцен с небольшим количеством объектов, так и сложных, с множеством текстур. Практически в 3DS MAX имеются все возможности перечисленной выше программы плюс возможности, которые в других системах реализованы очень слабо, либо не реализованы вовсе. Развитие полнофункциональных программ привело к тому, что программа 3DS MAX, изначально предназначенная для визуализации, анимации, создания различных спецэффектов и трехмерных игр, приобрела возможности полноценной САПР.

К каждому программному пакету трехмерного моделирования либо фирмами-разработчиками, либо другими компаниями создается ряд подпрограмм, так называемых, плагинов, которые значительно расширяют функциональные возможности любой программы [5].

Каждый из рассмотренных программных продуктов обладает схожими принципами моделирования поверхностей для представления объектов в двумерном или трехмерном виде.

На сегодняшний день одной из самых прогрессивных и мощных систем трехмерного моделирования, визуализации, анимации и дизайна, содержащей в себе системы CAD, является программный продукт 3DS MAX компании Autodesk [6].

По сравнению со многими популярным пакетом 3DS MAX, Google SketchUp [4] обладает рядом преимуществ, заключающихся, в первую очередь, в том, что все геометрические характеристики задаются в процессе построения объекта. Они заносятся с клавиатуры до или сразу после окончания действия инструмента, что отражается в Панели Контроля Параметров. Эта особенность

позволяет избежать необходимости настраивать каждый инструмент перед его применением, а затем редактировать возможные неучтённые ошибки.

Цель данной работы в формировании 3D модели городской территории по материалам аэросъемки и исследование технологического процесса выполнения определенных этапов, а так же оценки геометрической точности их построения.

Для выполнения данного вида работ было использовано программные продукты: PHOTOMOD, Google SketchUp, 3DS MAX.

Векторные данные, полученные в результате стереоскопической обработки стереопары космических снимков в PHOTOMOD, были сохранены в формате DXF.

Построение 3D модели местности в программных продуктах SketchUp, 3DS MAX и включает следующие этапы [7]:

- Выдавливание основных объектов;
- Создание дополнительных архитектурных элементов
- Текстурирование объектов [8,9].

На рис. 1 изображен фрагмент 3D модели.



Рис. 1. Фрагмент 3D модели

После создания 3D модели была выполнена оценка ее точности путем вычисления средней квадратической ошибки разностей длин линий, а так же разностей отметок высот, полученных в программных продуктах PHOTOMOD и 3dsMax, Google SketchUp, значения которых, были следующими:

- Средняя квадратическая ошибка разности расстояний 3D модели – 0,016 м.

– Средняя квадратическая ошибка разности высот точек 3D модели – 0,017 м.

Формирование 3D моделей объектов местности с помощью Google SketchUp по аэрофотоснимкам является наиболее быстрым и эффективным методом по сравнению с 3dsMax, и такие модели могут быть использованы для измерительных целей, а так же для решения широкого круга задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гречищев, А. Трехмерное моделирование и фотореалистичная визуализация городских территорий [Текст] / А. Гречищев, В. Бараниченко, С. Монастырев, А. Шпильман // ArcReview. – 2003 – №2 – С. – 12–13.

2. Воробьев, Ю.Д. Построение трехмерной модели на основе кадастровой информации [Текст] / Ю.Д. Воробьев, Е.Н. Ланина, Д.И. Бабанова // Геодезия и картография – 2004. – № 3 – С. – 43–52.

3. Google Earth [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://www.softportal.com/freesoftware/3943/google-earth>

4. Google sketchup [электронный ресурс]: Режим доступа: <http://sketchup.google.com/>

5. Обзор программного обеспечения для трехмерного моделирования и анимации [электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.ci.ru/inform15_03/p_08.htm

6. Матоссян, М 3DS Max 6 для Windows [Текст]: пер. с англ / М. Матоссян. – М.: ДМК Пресс, 2004. – 624 с.

7. Лазерко М.М., Шемановская О.А. Моделирование «точечной застройки» трехмерных объектов городской территории по материалам аэрокосмической съемки с использованием проектирования в AUTOCAD [Текст] / М.М. Лазерко, О.А. Шемановская // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 1 – С. – 20–23.

8. Yutaka TAKASE, Atsushi SONE, Tatsuya HATANAKA, Mamoru SHIROKI, Takamitsu MASUMI, 2005. A Development of 3D urban information system on web. International Workshop on "Processing and Visualization using High-Resolution Images", Pitsanulok, Thailand, ISPRS Commission VI, WG V/6, CD-ROM.

9. Takase, Y., Sho, N., Sone, A., Shimiya, K., 2003. Automatic Generation of 3-D City Models and Related Applications, International Workshop on Visualization and Animation of Reality-based 3D Models, Tarasp-Vulpera, Switzerland, ISPRS Commission V, WG V/6, CD-ROM.

© М.М. Лазерко, 2010

УДК 528.952

В.Н. Никитин

СГГА, Новосибирск

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СТЕРЕОГРАФИЧЕСКОГО ОТОБРАЖЕНИЯ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ОСНОВЕ ЛЕНТИКУЛЯРНЫХ РАСТРОВ

Рассмотрена технология формирования стереоизображений с использованием лентиккулярных растров. Предложена методика расчёта параметров положения камер при формировании лентиккулярного стереоизображения по 3D модели объекта или местности. Созданы образцы стерео и варио изображений трехмерной модели местности, модели 3D-объекта, а также вариокарты с использованием комплексов программ 3DS Max, ArcGIS, MapInfo.

V.N. Nikitin

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

Novosibirsk, Russian Federation

DEVELOPMENT OF THE TECHNOLOGY FOR STEREOGRAPHIC REPRESENTATION OF MAPPING INFORMATION ON THE BASIS OF LENTICULAR RASTER

The technology of developing stereo images using lenticular rasters is considered. The author offers the techniques for calculating the chambers position parameters in the process of developing the lenticular stereo image by the 3D model of the object or the terrain. The designs of the stereo- and vario images of the 3D terrain and object models as well as vario maps have been developed using complex programs 3DS Max, ArcGIS and MapInfo.

Технология создания стереоизображений с помощью лентиккулярных растров существует достаточно давно – идея получения объемной фотографии с помощью пластины, состоящей из набора мелких цилиндрических линз появилась еще в начале XX века и принадлежала Габриэлю Липпману (1845–1921).

Основная идея состояла в том, что каждая линза не должна формировать отдельного изображения предмета, линза формирует только небольшую часть изображения, и эти части складываются вместе в единое целое. Под каждой линзой находится только малая часть изображения, а не все изображение целиком.

Свою идею Липпман не смог воплотить в жизнь, но ею заинтересовался французский изобретатель Морис Бонне. Он довел схему создания подобных

стереоизображений до своего логического завершения, и ею пользуются и в настоящее время по всему миру, изготавливая разнообразную стерео и вариопродукцию: значки, календарики, открытки, рекламные плакаты, коврики для мышей и многое другое [10].

Преломляющие элементы лентикулярного растра представляют собой маленькие линзы, покрывающие сплошь всю поверхность растра, причем оптические оси каждой из этих линз нормальны к поверхности растра. В фокальной поверхности каждой элементарной линзы получается оптическое изображение предметного пространства, находящегося перед растром.

В общем случае преломляющие элементы лентикулярного растра могут иметь поверхность различной формы: сферической, цилиндрической, конической, торической и т. п. Сами элементы растра могут быть как положительными, так и отрицательными. Наибольшее практическое значение получил плоский лентикулярный растр с положительными преломляющими элементами.

Принцип воспроизведения стереоизображения с помощью лентикулярных растров состоит в следующем: растр с вертикальной ориентацией линз накладывается на специально подготовленное (кодированное) изображение. Световой поток, отраженный от кодированного изображения, проходя через линзы, разделяется таким образом, что левый глаз наблюдателя видит левое изображение стереопары, правый глаз – правое. Кодирование изображений стереопары состоит в «нарезке» исходных изображений (ракурсов) на тонкие полоски и перемешивании их таким образом, чтобы под каждой линзой оказалась пара полос: одна от левого, другая от правого изображений. В настоящее время эта операция может быть выполнена с помощью компьютера, что значительно облегчает процесс изготовления и повышает качество растрового стереоизображения. К тому же, с помощью компьютера можно делать стереоснимки не только реальных объектов, но и объемных фигур, созданных с помощью программ трехмерного моделирования, таких, как 3D Studio Max, Corel Dream 3D и др.

С помощью лентикулярного растра можно также изготовить и различного рода «динамические» (варио) изображения. Если закодировать отличающиеся изображения, например, последовательность кадров мультфильма, то при просмотре такого изображения под различными углами лентикулярный растр с горизонтальной ориентацией линз будет выделять различные исходные изображения. Таким образом, плавно изменяя угол наблюдения изображения, можно воспроизводить последовательности изображений.

Так как в настоящее время лентикулярные растры используют в основном фотостудии, рекламные агентства и фотографы-любители, то для расчёта параметров стереоизображений используется несколько упрощённый подход, с сильным смещением в сторону натурального эксперимента. Задача данного исследования заключается в разработке научно-обоснованной методики расчёта параметров формируемого с помощью лентикулярных растров

стереоизображения для дальнейшего использования при визуализации трёхмерных моделей местности и отдельных объектов.

Наиболее важными параметрами растра являются угол обзора γ и линиатура S , обычно указываются производителем на упаковке и учитываются при создании стереоизображения. Для определения основных параметров формирования стереоизображения лентичулярным растром воспользуемся рис. 1.

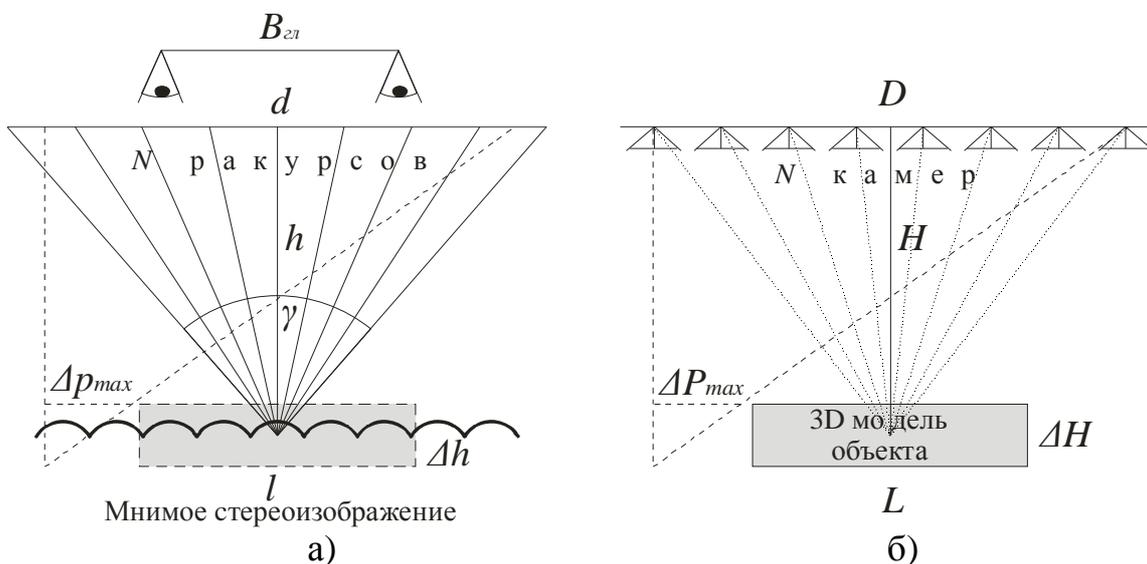


Рис. 1. Принцип формирования стереоизображения лентичулярным растром:

а) стереоизображение, формируемое лентичулярным растром;

б) трёхмерная модель объекта, используемая для формирования стереоизображения

На рисунке:

B_{zl} – глазной базис наблюдателя (около 65 мм);

N – число ракурсов, используемых для формирования стереоизображения;

h – расстояние наблюдения (от лентичулярного растра до глаз наблюдателя);

Δh – глубина стереоизображения;

l – размер объекта на стереоизображении;

ΔP_{max} – максимальный продольный параллакс стереоизображения;

d – ширина зоны стереонаблюдения;

H – расстояние от камеры до 3D сцены;

ΔH – глубина 3D сцены;

L – размер 3D сцены;

ΔP_{max} – максимальный продольный параллакс 3D сцены;

D – траектория перемещения камеры.

Расчёт параметров формирования стереоизображения начинается с вычисления максимального числа ракурсов, которое определяется отношением разрешения печати T к разрешению растра S :

$$N_{max} = \frac{T}{S}. \quad (1)$$

Число ракурсов, которое будет использовано для формирования стереоизображения, очевидно, выбирается в интервале:

$$2 \geq N \geq N_{max}. \quad (2)$$

Максимальная ширина зоны стереонаблюдения d_{max} определяется как:

$$d_{max} = NB_{zl}. \quad (3)$$

Так как ширина зоны стереонаблюдения d определяется в соответствии с выражением

$$d = 2tg \frac{\gamma}{2} h, \quad (4)$$

то с учетом формул (3) и (4) можно вычислить минимальное и максимальное расстояние наблюдения стереоизображения:

$$h_{min} = \frac{B_{zl}}{2tg \frac{\gamma}{2}}, \quad (5)$$

$$h_{max} = \frac{NB_{zl}}{2tg \frac{\gamma}{2}}. \quad (6)$$

На основе вычисленного минимального и максимального расстояния наблюдения, с учётом размера объекта на стереоизображении l и поставленной задачи, определяется основное (проектное) расстояние наблюдения стереоизображения:

$$h_{min} \geq h \geq h_{max}. \quad (7)$$

При формировании стереоизображения глубина сцены Δh должна составлять примерно $1/10$ от расстояния наблюдения h . Если глубина сцены превышает этот показатель, то возможно проявление негативных эффектов, выраженных в форме разрушения стереоэффекта, усталости глаз, головной боли. При уменьшении глубины сцены стереоэффект становится менее выраженным вплоть до его исчезновения.

В связи с этим возникает вопрос о «коррекции» 3D сцены для соответствия указанным критериям. В традиционной фотограмметрии такое решение под названием «преобразованная связка лучей» широко использовалось в конструкции универсальных приборов различных типов. Его сущность заключается в независимом определении горизонтального и вертикального масштаба фотограмметрических моделей местности, построенных по снимкам, полученным в соответствии с законами центральной проекции. Преобразование вертикального масштаба осуществляется путём изменения расстояния от центра фотографирования до объекта, причём сохранение горизонтального масштаба достигается пропорциональным изменением фокусного расстояния съёмочных камер.

В качестве примера необходимости увеличения вертикального масштаба можно привести ландшафтную модель местности, так как перепад высот моделируемой территории, как правило, незначителен по сравнению с размерами рассматриваемого участка. Так, высота самой высокой точки планеты – горы Эверест – составляет менее 9 км, тогда как окружность планеты по экватору около 40 000 км, что даёт относительную глубину сцены менее $\frac{1}{4\,000}$. То есть для достижения выразительного стереоэффекта необходимо увеличить вертикальный масштаб такой модели в 400 раз.

Очевидно, что параметры h и H , Δh и ΔH , l и L , Δp_{max} и ΔP_{max} , d и D соотносятся друг с другом с точностью до масштабного коэффициента:

$$m = \frac{D}{d} = \frac{L}{l} = \frac{\Delta P_{max}}{\Delta p_{max}}, \quad (7)$$

$$k = \frac{H}{h} = \frac{\Delta H}{\Delta h}. \quad (8)$$

где m – знаменатель горизонтального масштаба;

k – знаменатель вертикального масштаба.

Для определения параметров положения камер в 3D модели сначала определяется знаменатель горизонтального масштаба m на основе выражения (7):

$$m = \frac{L}{l}. \quad (9)$$

Если преобразование связки лучей не выполняется, то знаменатель вертикального масштаба k берётся равным знаменателю горизонтального масштаба m . Иначе знаменатель вертикального масштаба k вычисляется в соответствии с выражением (8):

$$k = \frac{\Delta H}{\Delta h}. \quad (10)$$

Также на основе выражений (7) и (8) можно выразить длину траектории перемещения камеры D и расстояние от камеры до объекта H :

$$D = md, \quad (11)$$

$$H = kh. \quad (12)$$

При формировании ракурсов 3D сцены должны выполняться следующие условия:

- Траектория перемещения камеры параллельна продольной оси объекта;
- Ось камеры перпендикулярна траектории перемещения камеры и не меняет свою ориентацию в пространстве;
- Фокусное расстояние камеры выбирается таким образом, чтобы объект полностью попадал в кадр при крайних положениях камеры на траектории перемещения.

Разработанная методика была апробирована в ходе выполнения дипломного проекта студентом группы ИП-51 ИДЗиП СГГА Васиным Е.Д.:

- При создании растрового стереоизображения земной поверхности, включающей части Западной и Восточной Сибири, Горный Алтай;
- При создании растрового стереоизображения трехмерной модели здания, разработанной студенткой группы Ф-51 ИДЗиП СГГА Сидякиной А.Е. Модель здания была создана в программе 3DS Max;
- При создании вариокарты на основе трех цифровых исторических карт территории России 1914, 1922 и 1967 гг., предоставленных студентом группы Ф-51 ИДЗиП СГГА Морозовым С.А. Карты были созданы в ГИС MapInfo, имели одинаковый масштаб и проекцию.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стереарт – История развития растровых стерео- и вариоизображений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stereoart.ru/pg.php?page=paperIp0022.html>

© В.Н. Никитин, 2010

УДК 528.7

Т.А. Хлебникова

СГГА, Новосибирск

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ТРЕХМЕРНЫХ ВИДЕОСЦЕН ПО МАТЕРИАЛАМ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК В РАЗЛИЧНЫХ 3 D ГИС

Статья посвящена вопросам, связанным с появлением новых видов цифровых геопространственных продуктов, получивших название 3D-моделей, трехмерных видеосцен. Приведено определение измерительной трехмерной видеосцены. Рассмотрены исходные данные для получения ее составляющих: цифровой модели рельефа (ЦМР) и объектов (ЦМО). Определены условия, при которых будут получены ЦМР, ЦМО, удовлетворяющие требованиям для дальнейшего создания измерительных трехмерных видеосцен.

Приводятся результаты экспериментальных работ по исследованию точности трехмерных видеосцен, созданных по материалам аэрофотосъемки в средах двух 3D ГИС: ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3), ERDAS IMAGINE Leica Geosystems & GIS Mapping – Virtual GIS (версия 9.0).

Т.А. Khlebnikova

SSGA, Novosibirsk

ANALYSIS OF MEASURING 3D VIDEOSCENES ACCURACY ON THE BASIS OF AERIAL AND SATELLITE SURVEYS DATA IN DIFFERENT 3 D GIS

The problems of the new types of digital geospatial products are considered. They are called 3D-models, three-dimensional videoscenes. The definition of the measuring 3D-videoscene is given. The original data for its components acquisition are presented, i.e. digital terrain model (DTM) and that of the object. The conditions are specified for DTM and digital object model to be acquired, which meet the demand for further measuring 3D-videoscenes development.

The experimental works results are given concerning the research of accuracy of 3D-videoscenes developed on the basis of aerial photography in two 3D GIS environments: GIS KARTA 2005 (version 9.15.3), ERDAS IMAGINE Leica Geosystems & GIS Mapping – Virtual GIS (version 9.0).

В последние годы во многих областях народного хозяйства потребность в информации о местности уже не удовлетворяется использованием только топографических карт в аналоговом и цифровом видах. Недостаточная информативность карты, необходимость умения читать карту затрудняет ее использование, а в ряде специальных приложений существенно ограничивает ее применение.

Появились новые цифровые геопространственные продукты, получившие название 3D-моделей [1, 2, 3]. Получению таких новых видов цифровой продукции способствовало использование достижений трехмерной машинной графики при пространственном моделировании местности [1] в геоинформационных технологиях.

В общем случае трехмерные цифровые модели представляют собой трехмерные пространственные аналоги реальных объектов местности.

Перечень актуальных 3D-продуктов постепенно расширяется. В настоящее время наиболее востребованы визуальные цифровые модели городов. В крупных европейских городах трехмерная географическая информация используется при решении таких задач, как городское планирование, управление подземным транспортом, защита от шума и др.[4, 5].

Исследования, изложенные в данной статье являются продолжением работ, опубликованных в [6, 7]. В последней на основе базовых понятий, приведенных в известных словарях по геоинформатике и картографии: данные, пространственные данные, геопространственные данные, местность, территория сформулировано определение цифрового геопространственного вида продукции, который рассматривается в статье.

Трехмерная измерительная видеосцена – трехмерная цифровая электронная модель территории (3D ЦМТ), включающая в себя (или содержащая) цифровую модель рельефа и модель (модели) других объектов, расположенных в границах рассматриваемой территории, предназначенная для визуализации в статическом или динамическом режимах и расчетно–измерительных операций с использованием специальных программных средств географических информационных систем (ГИС).

Следует сказать, что выбранный термин «измерительная» применительно к трехмерной видеосцене не совсем корректен. Для «измерения» выполняется наведение курсора ПЭВМ на выбранную точку трехмерной видеосцены. При этом происходит не измерение, а считывание значений координат X, Y, Z из базы. Здесь и далее под термином «измерение» будет подразумеваться считывание координат и высот.

Как следует из данного определения для создания трехмерных видеосцен, используются цифровые модели рельефа (ЦМР) и моделей объектов местности (ЦМО), источниками информации для получения которых могут служить различные данные.

По мере практического применения трехмерных цифровых моделей территории, пользователи выявили недостатки, приводящие к ограничению их использования. Поэтому совместное применение цифровых топографических карт, планов (ЦТК, ЦТП) и трехмерных измерительных видеосцен позволит по наиболее наглядно опознаваемым объектам на трехмерной видеосцене определять значения координат и высот точек интересующего объекта территории на цифровой карте с точностью, регламентированной для масштаба данной карты.

Для формирования ЦМР, ЦМО наиболее часто используются аэрокосмические материалы, обработка которых выполняется средствами фотограмметрических технологий.

В связи с изложенным в технологию получения измерительных трехмерных видеосцен включены следующие этапы:

1. Создание цифровых моделей рельефа и объектов, цифровых карт (планов), ортофотокарт по материалам аэрофотосъемки, космической съемки высокого разрешения средствами цифровых фотограмметрических систем по технологической схеме, приведенной в [7].

2. Создание модели поверхности территории и объектов на ней расположенных, согласование их средствами 3D ГИС.

3. Создание трехмерной видеосцены средствами 3D ГИС.

Схемы перечисленных этапов представляются на трех слайдах.

Определены необходимые условия, при которых будут получены ЦМР, ЦМО, удовлетворяющие требованиям для создания измерительных трехмерных видеосцен.

Технология создания цифровых моделей местности по материалам аэрокосмосъемки известна, поэтому в [7] представлена только ее схема и рассмотрены некоторые особенности.

При создании ЦМР, ЦМО средствами фотограмметрических технологий для дальнейшего их использования в 3D ГИС возникает задача комплексного согласования на информационном уровне трехмерных моделей территории, создаваемых на ЦФС, и трехмерных моделей территории, построение которых осуществляется во внутренних структурах 3D ГИС на основе входных пространственных данных, получаемых экспортом из ЦФС.

Решение этой задачи требует:

– Разработки дополнительных требований к подготовке информационного обеспечения: к подготовке классификатора и его содержанию; к правилам сбора цифровой информации о рельефе и объектах территории на ЦФС;

– Проверки степени идентичности цифровой модели рельефа, полученной на ЦФС, и модели рельефа, полученной в среде 3D ГИС.

В этой связи экспериментальные исследования были связаны с проверкой степени идентичности цифровой модели рельефа и цифровых моделей объектов, полученных на ЦФС и трехмерной видеосцене, полученной в средах двух 3D ГИС.

Экспериментальные исследования технологии выполнялись на производственных материалах двух объектов аэрофотосъемки с характеристиками: масштабы залета – 1 : 8 000, 1 : 9 400, фокусное расстояние АФА – 153 мм, формат кадра 23×23 см.

Сбор трехмерной пространственной информации осуществлялся средствами ЦФС ЦНИИГАК (ЦНИИГАК, Россия, ГНПП «Геосистема», Украина)

в объеме 0.6 НЛ плана масштаба 1 : 2 000 (объект «Северный»), 1НЛ плана масштаба 1 : 2 000 (объект «Северо – западный»).

Создание трехмерной видеосцены выполнялось в средах двух 3D ГИС: ГИС Панорама – ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3) и ERDAS IMAGINE Leica Geosystems& GIS Mapping – Virtual GIS (версия 9.0).

Анализ метрической точности 3D ЦМТ проводился по следующей методике:

1. Оценка точности выполнялась по высотной составляющей метрической информации контрольных точек, так как плановые координаты точек ЦМР, полученные на ЦФС, не изменяются при импорте их в 3D ГИС.

2. В качестве контрольных точек были приняты четко опознаваемые точки (на поверхности земли, углы строений на поверхности земли, на углах крыш), измеренные опытным оператором на стереофотограмметрических моделях.

3. Модель земной поверхности в обеих ГИС представлена матрицей высот, являющейся регулярной структурой, содержащей элементы, значения которых – абсолютные высоты рельефа местности, а также набором высотных отметок в узлах треугольников – триангуляция Делоне (для ГИС КАРТА 2005) .

Размер элемента матрицы при построении трехмерной видеосцены средствами ГИС КАРТА 2005 задавался значениями: 1 м, 3 м, 5 м, 10 м, 20 м, 30 м,

средствами ERDAS Imagine – 1 м, 5 м, 10 м, 20 м.

Результаты исследований показали, что программное обеспечение ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3) не имеет функции измерения значений высот точек, расположенных на объектах, т.е. выше поверхности земли. В ГИС VirtualGIS такие функции имеются. При этом трехмерную видеосцену для более точного измерения выбранной точки объекта можно вращать, наклонять, увеличивать.

Результаты оценки точности для ГИС КАРТА 2005, Virtual GIS в виде значений средних погрешностей, средних квадратических погрешностей высот контрольных точек представлены на слайдах.

Результаты анализа точности цифровой модели рельефа и моделей объектов, полученных в средах двух 3D ГИС в объеме выбранных материалов аэрофотосъемки позволяют сделать следующие выводы.

1. Значения средних погрешностей высот контрольных точек, полученных средствами ГИС Карта 2005 и VirtualGIS практически сопоставимы для ЦМР с размером ячейки матрицы от 1 м до 20 м на равнинной территории (объект «Северный», перепад высот 30 м).

2. Значения средних погрешностей высот контрольных точек практически одного порядка при размерах элемента матрицы от 1 м до 10 м. При этом объем дисковой памяти матрицы с уменьшением элемента матрицы значительно возрастает.

3. При использовании в качестве исходных данных ЦМР равнинной местности в виде горизонталей с сечением рельефа 1 м для построения

измерительной трехмерной видеосцены размер элемента матрицы достаточно задавать не плотнее чем 10 м, или в пределах 10–20 м.

4. При использовании в качестве исходных данных ЦМР всхолмленной местности в виде горизонталей с сечением рельефа 1 м для построения измерительной трехмерной видеосцены размер элемента матрицы достаточно задавать в пределах 5–10 м.

Результаты исследований, приведенные в пп. 2–4 хорошо согласуются с предложениями построения ЦМР, изложенным в [8].

5. Точность ЦМР для объекта «Северный» ниже, так как часть контрольных точек (угловые точки строений или точки, близко к ним расположенные) имеют расхождения высот в пределах 0.5–0.9 м. Такие точки находятся в селитебных зонах на углах строений или площадках, выровненных под строение, промплощадках.

6. Поскольку действующих нормативных документов на оценку трехмерных видеосцен по показателю точности нет, то полученные значения средних погрешностей высот на контрольных точках сопоставим с допусками, регламентированными Инструкцией по фотограмметрическим работам [9] при создании ЦТК, ЦМР для масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа 1 м.

Полученные значения средних погрешностей высот на контрольных точках трехмерной видеосцены превышают допуски, регламентированные в [9] при создании ЦМР для масштаба 1 : 2 000 с сечением рельефа 1 м в 1,5 раза.

Причины этого выявлены.

7. Для повышения точности 3D ЦМТ, получаемой по ЦМР в виде горизонталей, необходимо использовать дополнительные данные в виде высот точек, расположенных по периметру площадок строений после планировки рельефа.

В результате исследований:

– Проверена степень идентичности модели рельефа, полученной на ЦФС, и модели рельефа, полученной в ГИС КАРТА 2005 (версия 9.15.3) и ERDAS IMAGINE Virtual GIS (версия 9.0);

– По результатам экспериментальных исследований предложенной технологии сделаны выводы: создаваемые на ЦФС по материалам аэросъемки ЦМР, ЦМО, с учетом дополнительных данных при сборе могут использоваться для последующего получения измерительных трехмерных видеосцен с заданными параметрами;

– Намечены пути решения следующего этапа работ, связанного с анализом факторов, влияющих на точность измерительных трехмерных видеосцен.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дуда, Р.О. Распознавание образов и анализ сцен [Текст] / Р.О. Дуда, П.Е. Харт; пер. с англ. – М.: Мир, 1976. –511 с.

2. Важнейшие фундаментальные и прикладные проблемы геоинформатики [Текст] / И.А. Соколов, В.Н. Филатов, А.И. Мартыненко и др. // Геодезия и картография. – 2006. – №11. – С. 47–56.
3. Основные проблемы пространственного представления местности в цифровых картографических изделиях [Текст] / В.Н. Филатов, В.А. Авдеев, Р.С. Мухудинов, В.А. Радионов // Геодезия и картография. – 2007. – № 4. – С. 35–38.
4. Городскому управлению Вены дано еще одно измерение [Текст] / По материалам ESRI // ArcREView. – 2008. – № 4 [47]. – С. 22–23.
8. 5 Modelling of Urban Environments [Электронный ресурс]/ Sandra Haydeé González García, Raúl Muñoz Salabarría, Alián Mayet Valdés, Dunia Suárez Ferreiro, Bernardino Deni Díaz Rodríguez // XXI Congress 3-11 July 2008, Beijing China. PROCEEDINGS Volume XXXVII, Part B5, TC V. pp. 707-710. 1электр. опт.диск (DVD+R).
5. Хлебникова, Т.А. Технология построения измерительных трехмерных видеосцен по данным ЦММ: проблемы и пути решения [Текст] / Т.А. Хлебникова // Геодезия и картография. – 2008. – № 2. – С. 44–46.
6. Журкин, И.Г. Технология получения измерительной трехмерной видеосцены по материалам аэрокосмических съемок [Текст] / И.Г. Журкин, Т.А. Хлебникова // Геодезия и картография. – 2009. – № 8. – С. 43–48.
7. Лобанов, А.Н. Автоматизация фотограмметрических процессов [Текст] / А.Н. Лобанов, И.Г. Журкин. – М.: Недра, 1980. – 240 с.
8. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов [Текст].– М.: ЦНИИГАиК, 2002. – 100 с.

© Т.А. Хлебникова, 2010

УДК 528.7

А.Ю. Чермошенцев

СГГА, Новосибирск

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОРДИНАТ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ СВЕРХВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

В статье приведен анализ точности определения координат точек местности по космическим снимкам с помощью универсальных методов обработки.

A.Yu. Chermoshentsev

Siberian State Academy of Geodesy (SSGA)

10 Plakhotnogo Str., Novosibirsk, 630108, Russian Federation

INVESTIGATION OF DETERMINATION ACCURACY OF TERRITORY POINTS COORDINATE BY MEANS OF VERY HIGH RESOLUTION SATELLITE IMAGES

This article is about analysis of determination accuracy of territory points coordinate by means of universal processing methods.

Высокоточное определение координат точек местности по космическим снимкам сверхвысокого разрешения, получаемых с помощью оптико-электронных съёмочных систем, требует применения достаточно сложных математических моделей, устанавливающих функциональную связь между координатами точек снимков и местности. Разработчики программного обеспечения стараются включать в свои программные продукты (ПП) как можно больше различных методов обработки, чтобы обеспечить возможность работы с данными, получаемыми существующими и вновь запускаемыми съёмочными системами. Однако производители и владельцы съёмочных систем не всегда заинтересованы в предоставлении разработчикам ПП информации об особенностях геометрической модели сенсора, установленного на спутнике, что затрудняет реализацию строгих методов обработки космических снимков. Таким образом, одним из приоритетных направлений исследований в области дистанционного зондирования является разработка и анализ математических моделей, описывающих геометрию спутниковых изображений.

Строгие методы обработки космических снимков обеспечивают самую высокую точность определения координат точек местности. Однако они не гарантируют выполнения высокоточной обработки изображений, прошедших предварительную коррекцию, а также изображений, представляющих собой часть целого снимка [1].

Универсальные методы, основанные на общих предположениях о геометрии съёмки, не требуют привлечения дополнительных данных о сенсоре, и в отдельных случаях при обработке космических снимков, полученных при небольших отклонениях оптической оси от надира, позволяют достигнуть точности, как и при использовании коэффициентов рациональных многочленов (рациональных функций) [1].

В связи с этим актуальным является исследование точности определения координат точек местности по космическим снимкам сверхвысокого разрешения с помощью универсальных методов.

В большинстве современных программных продуктов реализованы следующие универсальные методы фотограмметрической обработки космических снимков:

- Полиномиальный метод, позволяющий выполнять преобразования с использованием полиномов первой и второй степени;
- Проективные преобразования;
- Метод dlt (прямое линейное преобразование).

Полиномиальный метод предполагает использование обобщённых, конформных или пространственных полиномов второго, третьего и более высокого порядка [2].

Проективные преобразования основаны на формулах связи координат точек снимка x, y и местности X, Y [3]:

$$x = \frac{b_{11}X + b_{21}Y + b_{31}}{b_{12}X + b_{22}Y + 1}; \quad y = \frac{b_{12}X + b_{22}Y + b_{32}}{b_{13}X + b_{22}Y + 1},$$

где i, j – коэффициенты преобразования.

В основе *метода прямого линейного преобразования DLT* (Direct Linear Transformation) лежат проективные зависимости вида [4]:

$$x = \frac{A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1}; \quad y = \frac{B_1X + B_2Y + B_3Z + B_4}{C_1X + C_2Y + C_3Z + 1},$$

где Z – координата соответственной точки на местности;

A_i, B_i, C_i – коэффициенты проективного преобразования.

В ходе экспериментов было выполнено исследование универсальных математических моделей обработки космических снимков, реализованных в ПП ERDAS 9.1. В качестве исходных материалов использовались два космических снимка WorldView – 1 с пространственным разрешением 0,5 м уровня обработки OrthoReady Standard. Территория, изображённая на снимках, представляет собой предгорную возвышенность. Абсолютные отметки достигают 221 м. Максимальный перепад высот составляет 57 м. Снимки были получены с соседних витков орбиты при углах отклонения оптической оси от надира 9° и 29° . Количество точек с известными геодезическими координатами составляло 11 и 14 соответственно для обработки первого и второго снимков.

В первой части эксперимента выполнено определение координат точек местности по снимкам WorldView при различном количестве опорных точек,

равномерно распределённых по всей площади снимков, с целью установления оптимального количества точек для каждого метода обработки.

По результатам обработки снимков вычислены средние квадратические ошибки (СКО) расхождений плановых координат опорных и контрольных точек. В табл. 1 представлены данные, характеризующие точность определения плановых координат точек местности по второму снимку. При обработке первого снимка выявлены аналогичные закономерности.

Таблица 1 СКО расхождений плановых координат опорных и контрольных точек? полученных в результате обработки снимка 2

Метод обработки	Число точек опорных/ контрольных	СКО расхождений координат опорных точек			СКО расхождений координат контрольных точек		
		mdX, м	mdY, м	mL, м	mdX, м	mdY, м	mL, м
Polynomial_1	14/0	1,25	1,44	1,90	-	-	-
	12/2	1,30	1,39	1,90	0,97	1,82	2,06
	11/3	1,29	1,44	1,93	1,26	1,52	1,97
	10/4	1,33	1,47	1,98	1,13	1,44	1,83
	9/5	1,36	1,52	2,04	1,16	1,49	1,89
	8/6	1,39	1,44	2,00	1,12	1,52	1,89
	7/7	1,49	1,22	1,92	1,04	1,79	2,07
	6/8	0,95	1,28	1,59	1,89	1,70	2,54
	5/9	1,25	0,99	1,59	1,56	1,81	2,39
	4/10	0,89	1,07	1,39	1,93	1,73	2,59
Polynomial_2	14/0	0,94	1,25	1,56	-	-	-
	12/2	0,76	0,94	1,21	2,28	3,09	3,84
	11/3	0,73	0,98	1,22	2,05	2,51	3,24
	10/4	0,89	1,06	1,38	1,25	1,73	2,13
	9/5	0,79	0,79	1,12	1,57	2,05	2,58
	8/6	0,02	0,06	0,07	1,97	2,59	3,26
Projective transformation	14/0	1,59	2,60	3,05	-	-	-
	12/2	0,92	1,34	1,62	0,99	1,34	1,67
	11/3	0,78	1,21	1,44	0,90	2,25	2,42
	10/4	1,15	1,34	1,77	0,96	2,86	3,02
	9/5	0,82	0,73	1,10	2,16	2,58	3,36
	8/6	0,51	0,46	0,69	1,45	1,90	2,39
	7/7	0,30	0,60	0,67	1,62	1,99	2,56
	6/8	0,12	0,15	0,19	1,06	1,80	2,09
DLT	12/2	0,70	0,98	1,20	1,58	1,78	2,38
	11/3	0,55	0,69	0,89	0,67	1,65	1,78
	10/4	0,45	0,70	0,84	0,84	1,55	1,77
	9/5	0,47	0,73	0,86	1,01	1,41	1,73
	8/6	0,37	0,37	0,52	1,02	2,28	2,50
	7/7	0,61	0,28	0,67	0,76	1,99	2,13

Из анализа результатов, представленных в табл. 1, можно сделать следующие выводы в отношении методов обработки снимков WorldView в ПП ERDAS.

Метод Polynomial. Использование полиномов первой степени позволяет выполнять обработку снимков при наличии минимум 4 опорных точек. При

числе опорных точек 8–11 ошибка планового положения контрольных точек не превышает 4 пикселей. Последующее увеличение количества опорных точек не приводит к ощутимому повышению точности.

Если используется полином второй степени, то для решения задачи требуется минимальное количество опорных точек, равное 6. Наименьшее значение СКО планового положения контрольных точек (не более 4 пикселей) наблюдается при 10 опорных точках (для второго снимка). Дальнейшее увеличение числа опорных точек не приводит к повышению точности. Аналогичная ситуация прослеживается при обработке первого снимка с использованием 9 опорных точек (СКО контрольных точек не более 3 пикселей). Таким образом, для достижения точности определения координат точек местности в 3–4 пикселя по снимкам WorldView с использованием полиномов второй степени достаточно 9–10 опорных точек.

Метод *Projective transformation*. Для обработки снимков с использованием данного метода требуется как минимум 5 опорных точек. С увеличением числа опорных точек сначала наблюдается увеличение остаточных расхождений координат контрольных точек (до 6 пикселей), затем следует их уменьшение. При наличии 10 опорных точек СКО планового положения контрольных точек составляет около 3 пикселей. Подобная тенденция прослеживается и при обработке первого снимка.

Точность обработки снимков WorldView по методу *Direct Linear Transformation* в целом сопоставима с точностью, обеспечиваемой методом *Projective transformation*. СКО планового положения контрольных точек не превышает 3,5 пикселей при использовании 9–11 опорных точек (второй снимок) и 7–9 опорных точек для первого.

Анализ точности определения координат точек местности по космическим снимкам WorldView с использованием различного числа опорных точек, равномерно распределённых по всей площади снимков, показал, что при наличии достаточно большого числа этих точек (11–13), лучшую точность обработки обеспечивает метод *Projective transformation*. Если число опорных точек составляет 8–10, то предпочтительно использование полиномов первой и второй степени, а также метод DLT. В случае, если число опорных точек 7 и менее, то лучшую точность обработки обеспечивают методы *Projective transformation* и *Polynomial* (первой степени), а также, с некоторыми ограничениями – метод DLT.

Во второй части эксперимента был выполнен анализ влияния расположения опорных точек на точность обработки второго снимка WorldView в ПП ERDAS 9.1 с использованием методов *Polynomial* (1 и 2 степени), *Projective transformation* и DLT при количестве опорных точек, равном 7, 8 и 9 опорных точек, поскольку в этих случаях обеспечивается наиболее высокая точность результатов.

Исследования выполнены при трёх вариантах размещения опорных точек:

- Равномерно по всей площади снимка (вариант 1);
- Преимущественно по периметру изображений (вариант 2);
- В центральной части снимка и по углам (вариант 3).

На рис. 1 представлены графики СКО планового положения опорных и контрольных точек, полученных по результатам обработки снимка WorldView при различном расположении опорных точек. Методы обработки обозначены следующим образом: 1 – метод Polynomial (первой степени); 2 – метод Polynomial (второй степени); 3 – метод Projective transformation; 4 – метод DLT.

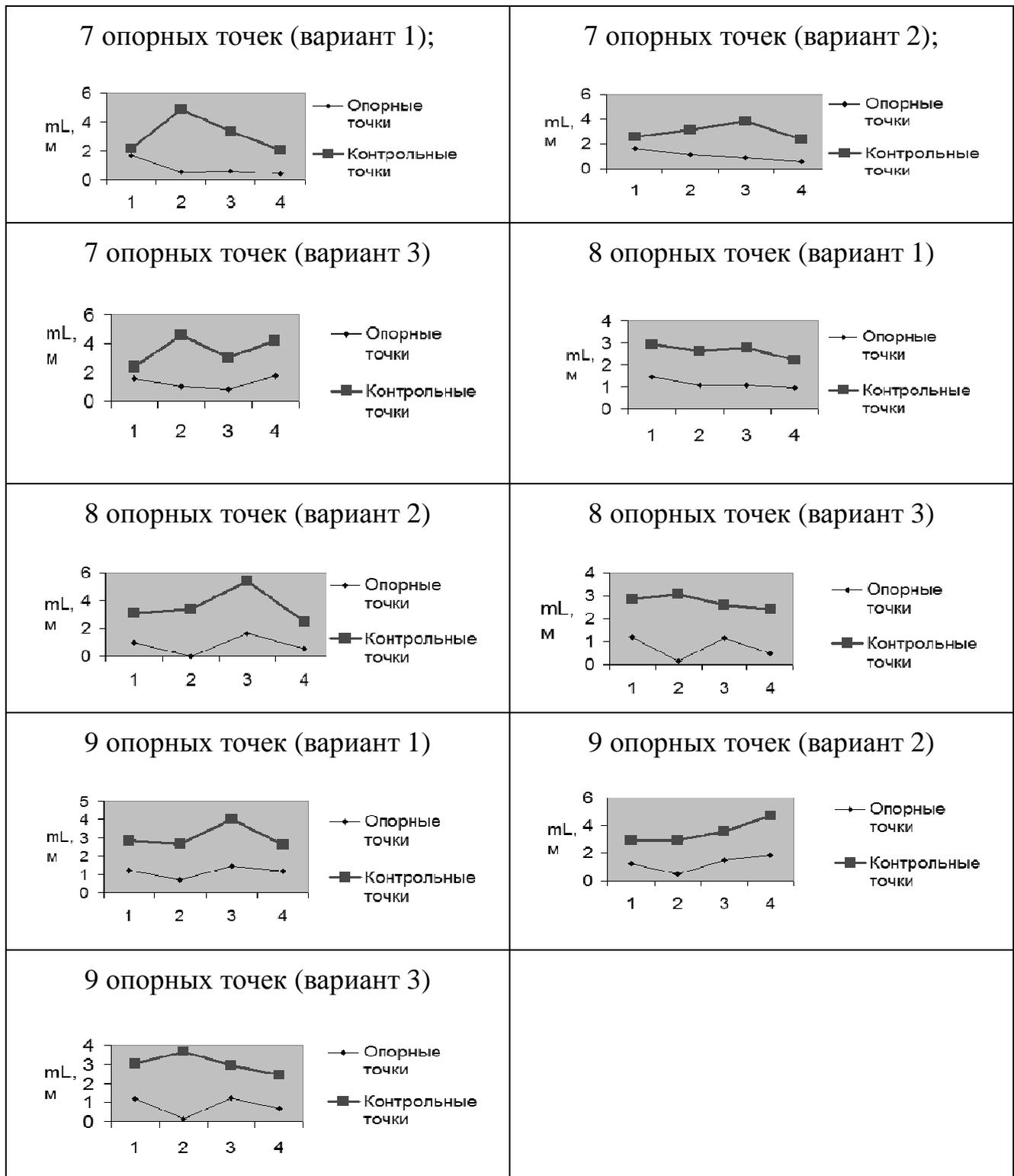


Рис. 1. Зависимость средних квадратических ошибок расхождений планового положения точек от расположения опорных точек

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Титаров, П. С. Практические аспекты фотограмметрической обработки сканерных космических снимков высокого разрешения [Текст] / П.С. Титаров // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2004. – № 3. – С. 45–46.
2. Назаров, А.С. Фотограмметрия [Текст] / А.С. Назаров. Минск: ТетраСистемс, 2006 – 368 с.
3. Okeke, F.I. Review of Digital Image Orthorectification Techniques [Electronic resource] / F.I. Okeke - Англ. – Режим доступа: <http://www.gisdevelopment.net/technology/ip/fiopf.htm>
4. Погорелов, В.В., Шавук, В.С., Анализ математических моделей при фотограмметрической обработке космических снимков. [Текст] / В.В. Погорелов, В.С. Шавук // Геодезия и картография. – 2009. – № 3. – С. 30–32.

© А.Ю. Чермошенцев, 2010

УДК 681.785

В.Б. Шлишевский

СГГА, Новосибирск

ОПТИМАЛЬНАЯ МОНТИРОВКА РЕШЕТКИ В ДИФРАКЦИОННОМ СПЕКТРОМЕТРЕ С МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМ ПРИЕМНИКОМ ИЗЛУЧЕНИЯ

Для сохранения постоянства масштаба изображения в дифракционном спектрометре с многоэлементным приемником излучения предлагается перестройку рабочего спектрального диапазона осуществлять с помощью дополнительного плоского зеркала, совершающего сложное движение; при этом спектр остается нормальным во всей области работы решетки.

V.B. Shlishevsky

SSGA, Novosibirsk

OPTIMAL MOUNTING OF THE GRATE IN THE DIFFRACTION SPECTROMETER WITH MULTIELEMENT RADIATION DETECTOR

To maintain the steady image scale in diffraction spectrometer with multielement radiation detector the operating spectral range is offered to be changed by means of the additional plane mirror moving in a complicated way, with the specter being normal throughout the grating operation region.

Большим неудобством работы видеоспектрометра с дифракционной отражательной решеткой является наложение друг на друга изображений, образованных лучами разных длин волн из различных спектральных порядков. Если позволяют условия эксперимента, то одним из способов исключения налагающихся спектральных порядков может быть разделение общего широкого рабочего диапазона прибора на более узкие спектральные интервалы и их последовательная регистрация (приемником меньшего формата) при соответствующей настройке дифракционной решетки и установке необходимых фильтров*.

Зафиксируем угол $\Theta_n = \varphi' - \varphi = \text{const}$ между дифрагированным и падающим на решетку пучками (он может быть как положительным, так и отрицательным) и примем за ее начальное положение такое, в котором выводимая на оптическую ось длина волны излучения $\lambda = 0$, т. е. спектральное разложение отсутствует, а вдоль оси фокусирующего объектива распространяется нулевой порядок спектра (рис. 1). Если теперь повернуть

* Существуют и другие, в частности компоновочно-схемные, решения устранения наложения порядков, не связанные с перенастройкой дифракционной решетки.

решетку вокруг вертикальной оси, проходящей через середину ее нарезанной части, на угол α , то на оптическую ось «выведется» монохроматический световой пучок с длиной волны настройки λ_n , для которого углы падения и дифракции будут равны φ_n и φ'_1 . Нетрудно заметить, что в таком случае $|\Theta_n|/2 = \alpha - \varphi'_1 = \varphi_n - \alpha$, или $\alpha = (\varphi_n + \varphi'_1)/2$. Тогда, сделав подстановку углов α и $\Theta_n/2$ в основное уравнение решетки

$$\sin\varphi + \sin\varphi' = kN\lambda,$$

где k – рабочий порядок спектра, N – число штрихов решетки на 1 мм, запишем: $2\sin\alpha\cos\Theta_n/2 = kN\lambda_n$. Отсюда получаем известное соотношение

$$\alpha = \arcsin \frac{kN\lambda_1}{2\cos\Theta_1/2},$$

которое показывает, что угол поворота решетки и выводимая длина волны настройки связаны между собой нелинейной (синусной) зависимостью.

При угле поворота $\alpha = |\Theta_n|/2$ угол дифракции $\varphi'_1 = 0$, т. е. формируется нормальный спектр с длиной волны настройки $\lambda_n = \sin|\Theta_n|/kN$, в котором и дисперсия, и масштаб изображения оказываются практически постоянными в пределах рабочего поля используемого фотоприемника. Для всех других положений решетки угол дифракции $\varphi'_1 \neq 0$, и по полю фотоприемника могут наблюдаться значительные вариации меридионального увеличения.

Чтобы сохранить условие $\varphi'_1 = 0$ для любых λ_n предлагается осуществлять настройку решетки на заданный спектральный интервал по закону

$$\varphi = \arcsin kN\lambda_1,$$

т. е. путем изменения только угла φ падения пучка на нее. Для этого к решетке добавляется плоское зеркало (рис. 2), которое в зависимости от заданной λ_n должно перемещаться вдоль оптической оси на расстояние

$$x = l \operatorname{tg}\varphi = \frac{kN\lambda_1}{\sqrt{1 - (kN\lambda_1)^2}} l$$

и разворачиваться вокруг своей вертикальной оси на угол $\alpha = \varphi/2$.

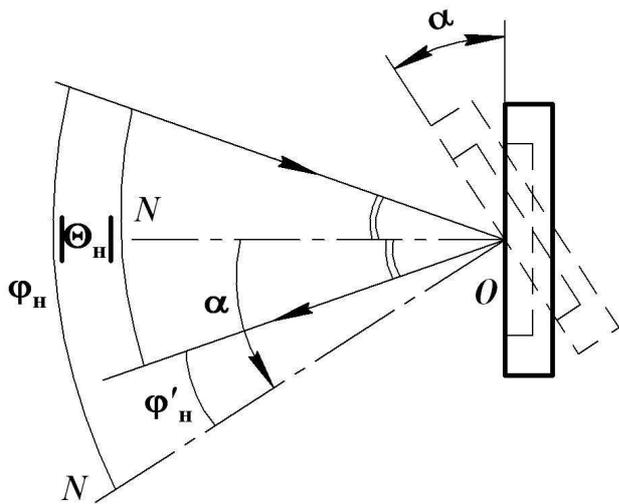


Рис. 1. Перенастройка дифракционной решетки разворотом вокруг своей вертикальной оси

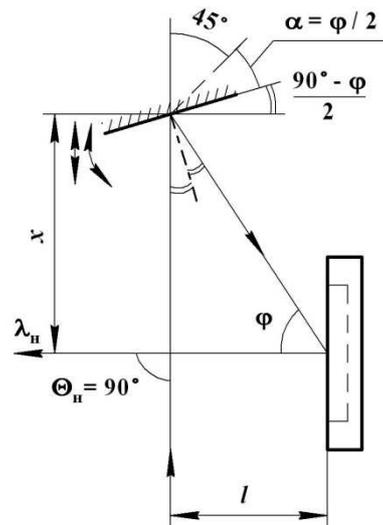


Рис. 2. Перенастройка дифракционной решетки с нормальным спектром с помощью дополнительного плоского зеркала

В приведенной на рис. 2 схеме общий угол отклонения системы $\Theta_H = 90^\circ = \text{const}$, но при необходимости он может быть и другим.

© В.Б. Шлишевский, 2010

УДК 528.8:528.77

К.А. Поздина, Е.А. Кобзева, Ю.Д. Зраенко

ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ КАК ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Ключевым процессом в решении задач мониторинга городских территорий по космическим снимкам является их дешифрирование. Повысить оперативность дешифрирования позволяет автоматизация этого процесса. В случае снимков сверхвысокого разрешения городских территорий наибольшее применение находит объектно-ориентированная классификация, позволяющая анализировать не только яркостные характеристики объектов на снимке, но и их пространственные параметры (текстуру, форму, размер). Эффективность метода рассмотрена на примере космических снимков г. Екатеринбурга и ПО eCognition.

К.А. Pozdina, Е.А. Kobzeva, J.D. Zraenko

Uralgeoinform

51 Studencheskaya St., Ekaterinburg, 620078, Russian Federation

AUTOMATED CLASSIFICATION AS AN EFFECTIVE SOLUTION FOR URBAN-AREA MONITORING APPLICATIONS

Interpretation of high-resolution images is the key process in urban-area monitoring applications. Automation of this procedure allows raising the monitoring efficiency. In case of very high-resolution imagery, object-based classification algorithms are becoming more widely used due to their capabilities to analyze both spectral characteristics of the image objects and their spatial parameters (texture, shape, size).

The efficiency of these algorithms is exemplified with the satellite images of Ekaterinburg using eCognition software.

Мониторинг городских территорий – неотъемлемая часть системы контроля и наблюдения за развитием мегаполиса. В настоящее время информационные свойства снимков сверхвысокого разрешения позволяют эффективно использовать их при решении задач мониторинга. Ключевым процессом таких задач является дешифрирование космических снимков, ключевым фактором – его оперативность.

Автоматизированное дешифрирование уже зарекомендовало себя при анализе снимков среднего разрешения, тем не менее, достоверность дешифрирования снимков сверхвысокого разрешения, в особенности

изображений городской инфраструктуры, алгоритмами классификации с обучением невелика.

Более надежные результаты дает метод объектно-ориентированной классификации, который позволяет анализировать не только яркостные характеристики объектов на снимке, но и их пространственные параметры (текстуру, форму, размер и т. д.).

Алгоритмы объектно-ориентированной классификации реализованы во многих программных продуктах (ENVI, eCognition, ERDAS Imagine и т. д.)

Результаты, полученные в ENVI, представлены в [3], поэтому в настоящей статье рассмотрены только результаты, полученные с помощью eCognition – лидирующего программного обеспечения в области объектно-ориентированной классификации [4–8].

Экспериментальная работа проводилась по космическим снимкам Ikonos города Екатеринбурга.

Процесс объектно-ориентированной классификации состоит из нескольких этапов:

1. Сегментация изображения
2. Классификация изображения по спектральным и текстурным признакам с заданием правил, обучением системы

Под *сегментацией* подразумевается разбиение изображения на совокупность непересекающихся связанных областей, являющихся изображениями некоторых объектов или их частей [2].

Задачи сегментации делятся на две группы:

– Разбиение изображения на однородные области (не имеется никакой априорной информации об изображенных объектах, на разбиение накладываются условия, например, все области должны быть однородны по цвету и текстуре).

– Выделение областей изображения с известными свойствами (например, известны цвет, форма, или интересующие нас области представляют собой изображения известного объекта).

В нашей работе мы использовали первый вариант сегментации, что позволило получить представление изображения в более удобном для дальнейшей работы виде и перейти к этапу классификации.

Реализованная в ПО eCognition технология объектно-ориентированной классификации помимо анализа основных дешифровочных признаков позволяет учитывать пространственный контекст объектов, представления людей об их характеристиках (о протяженности здания или их прямоугольной форме, сильной текстурированности деревьев в сравнении с травой и т. д.)

Также важной является возможность управления параметрами классификации, формирование правил анализа изображений экспертом в области дешифрирования.

В качестве классов исследования выбраны следующие группы объектов:

- Водные поверхности;

- Растительность;
- Отдельно стоящие здания и сооружения.

Результаты классификации гидрографии и растительности описаны в [1, 3]. При классификации отдельно стоящих зданий и сооружений влияние спектральных характеристик, вследствие их разнообразия, не столь важно, как в случае классификации растительности или гидрографии. Более существенным является параметр формы объектов, влияние которого устанавливается на начальном этапе сегментации.

Для наилучших результатов классификации мы задаем параметры, свойственные характеристикам строений с точки зрения логики человеческого восприятия:

1. Строения не могут иметь длину в сотни метров.
2. Площадь строений не может быть сравнима с площадью, например, футбольного поля.
3. Строения в большинстве случаев имеют прямоугольную форму.
4. Важным является наличие теней возле каждого объекта.
5. Важную роль играют параметры симметрии, плотности, длины границы объектов.

На рис. 1 представлены результаты объектно-ориентированной классификации застроенных территорий.

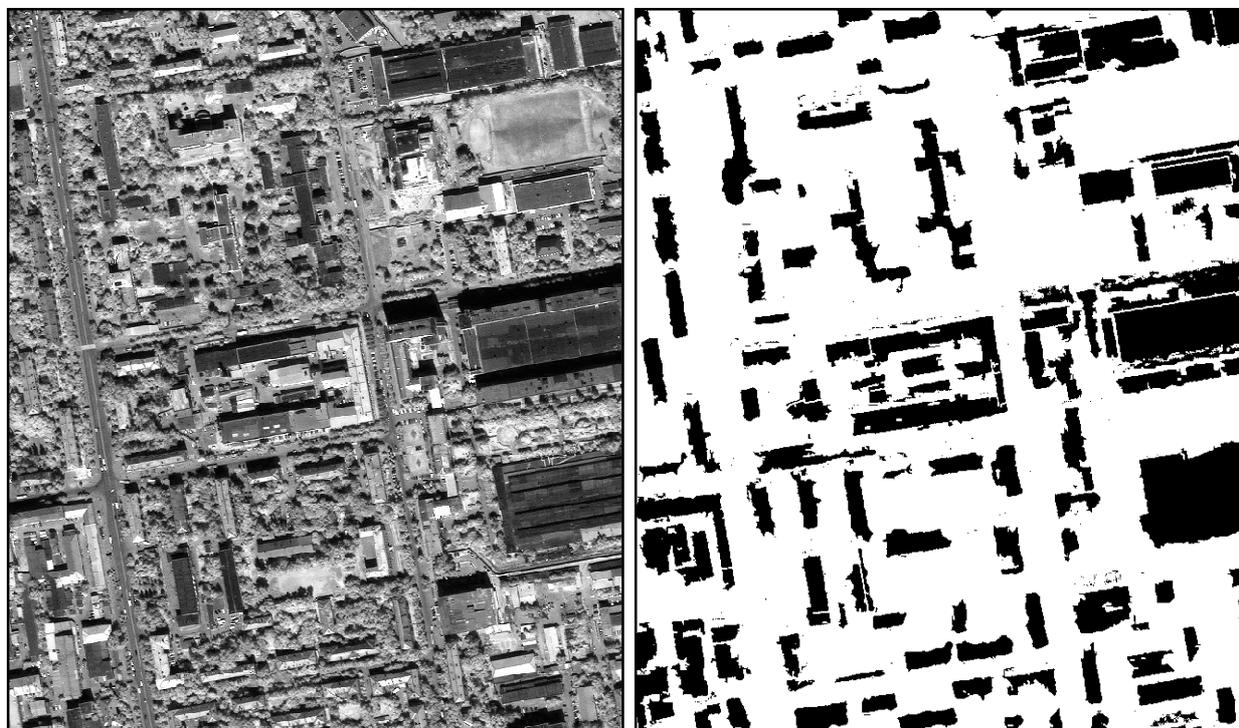


Рис. 1. Фрагмент космического снимка Ikonos (слева) и результат работы алгоритма объектно-ориентированной классификации строений (справа)

Достоверность такой классификации составила 84,3 %, что сравнимо с точностью, полученной в [6] и превышает тонность, полученную в [4].

Безусловно, из рисунка видно, что с помощью такой классификации мы можем лишь обозначить местоположение строения, но не можем точно отрисовать его контур. Приведение таких результатов в законченный вид требует значительной ручной доработки.

При мониторинге территорий основной задачей является обнаружение изменений, поэтому в рамках экспериментальной работы также рассмотрена возможность непосредственного анализа разновременных снимков с помощью алгоритма Change Detection. Суть нашего подхода – выявить участки, где изменилось состояние растительности, т. е. растительности стало меньше, или не стало совсем. Обоснованием такого метода применительно к объектам городских территорий является то, что, как правило, в местах исчезновения растительности появляются новые постройки и наоборот. Важным фактором является корреляция характеристик исходных снимков (времени года, угла наклона, и т. д.), в особенности соответствие состояния вегетации у растительности.

Для количественной оценки результатов работы метода автоматизированного выявления изменений была произведена ручная векторизация экспериментального участка снимка, и выделение изменений, произошедших за 4 года

С помощью описанного алгоритма было обнаружено 67 областей возможных изменений, из которых 46 было обнаружено верно и 21 ложно (площадки строительства, стоянки, насыпи песка и т. д.). Кроме того, алгоритм не заметил 17 существующих изменений

Таблица 1 Результаты работы метода автоматизированного выявления изменений

Количество обнаруженных объектов, всего		67
В том числе	правильное обнаружение	46
	ложное обнаружение	21
Количество пропущенных объектов, всего		17

Таким образом, достоверность работы алгоритма Change Detection составила 68,6 %.

Из анализа результатов проведенных экспериментальных работ можно сделать следующие выводы:

Несмотря на хороший результат выделения строений – 84 %, алгоритмы объектно-ориентированной классификации не гарантируют получения четких контуров объектов, требуется визуальный анализ ситуации с последующей ручной векторизацией. Тем не менее, автоматизированные алгоритмы подходят для определения зон ежегодных и ежеквартальных изменений объектов городской инфраструктуры, для оценки необходимости проведения обновления пространственных баз данных той или иной территории.

Автоматизированная классификация является перспективным направлением в области дешифрирования космических снимков и решения задач мониторинга городских территорий, но на сегодняшний день, для

применения в производственной деятельности необходимо совершенствование технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Виноградова Н.С., Кобзева Е.А. Выделение растительности и объектов гидрографии по снимкам городских территорий сверхвысокого разрешения // Пространственные данные – 2009. - №4. – С. 42-46
2. Грибков И.В., Захаров А.В., Кольцов П.П., Котович Н.В., Кравченко А.А., Куцаев А.С., Осипов А.С. «Исследование методов сегментации изображений» // Программные продукты и системы – 2008. – № 4.
3. Кобзева Е.А., Поздина К.А. Автоматизация дешифрирования спутниковых снимков: опыт и проблемы // Геодезия и картография. – 2008. – № 6. – С. 40–44
4. Birgit Mittelberg. Pixel vs. Object: A method comparison for analyzing urban areas with VHR data // eCognition Application note Vol. 3. No.3.
5. Impervious Surface Mapping with High Resolution Satellite Imagery // University of Arkansas, The Center for Advanced Spatial Technologies. // URL: <http://www.cast.uark.edu/>
6. M. Herold, S. Guenther, and K.C. Clarke, Mapping Urban Areas in the Santa Barbara South Coast Using Ikonos Data and eCognition.// eCognition Object Oriented Image Analysis: Application Note, Mar. 2003, vol. 4, No. 1, Definiens Imaging GmbH, Germany.
7. Peter Hofmann. Detecting buildings and roads from IKONOS and DEM data with Definiens eCognition // URL: <http://www.definiens.com>
8. Siachalou S., Doxani G., Tsakiri-Strati M. Classification Enhancement in Urban Areas // 1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing, Humboldt-Universität, Berlin, 2-3 March 2006.

© К.А. Поздина, Е.А. Кобзева, Ю.Д. Зраенко, 2010

УДК 528.7

А.М. Мамутин

Западно-Сибирский филиал ФГУП «Госземкадастръемка» – ВИСХАГИ, Омск

СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ТОЧЕК МЕСТНОСТИ НА ВИДЕОИЗОБРАЖЕНИИ ПРИ СЪЕМКЕ С БОРТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

В статье рассмотрена концепция создания системы оперативного видео мониторинга с беспилотного летательного аппарата.

A.M. Mamoutine

West-Siberian Branch of FSUE «Goszemkadastrsjemka» – VISHAGI

4, Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation

POSITIONING SYSTEM POINTS LOCALITIES WHEN FILMING ON BOARD UNMANNED AERIAL VEHICLES

In this article the concept of a video monitoring system operating with an unmanned aircraft.

Мониторинг объектов с применением беспилотных летательных аппаратов приобретает все большую актуальность.

В связи с этим встает задача привязки к местности видео картинки получаемой с борта летательного аппарата. Для оперативного мониторинга определение координат объектов на видео изображении должно производиться в режиме реального времени.

Данная система может применяться во многих отраслях, таких как:

1. Мониторинг лесных пожаров и незаконных вырубок.
2. Мониторинг состояния трубопроводов, нефтепроводов, ЛЭП с целью предотвращения аварий и выявления незаконных подключений.
3. Борьба с незаконным оборотом наркотиков.
4. Военная разведка
5. Использование при ликвидации последствий природных и техногенных катастроф

Для решения задачи необходимы следующие компоненты.

1. Инерциальная навигационная система
2. Система спутниковой навигации
3. Видеокамера
4. Система передачи данных
5. Система синхронизации
6. Компьютер оператора

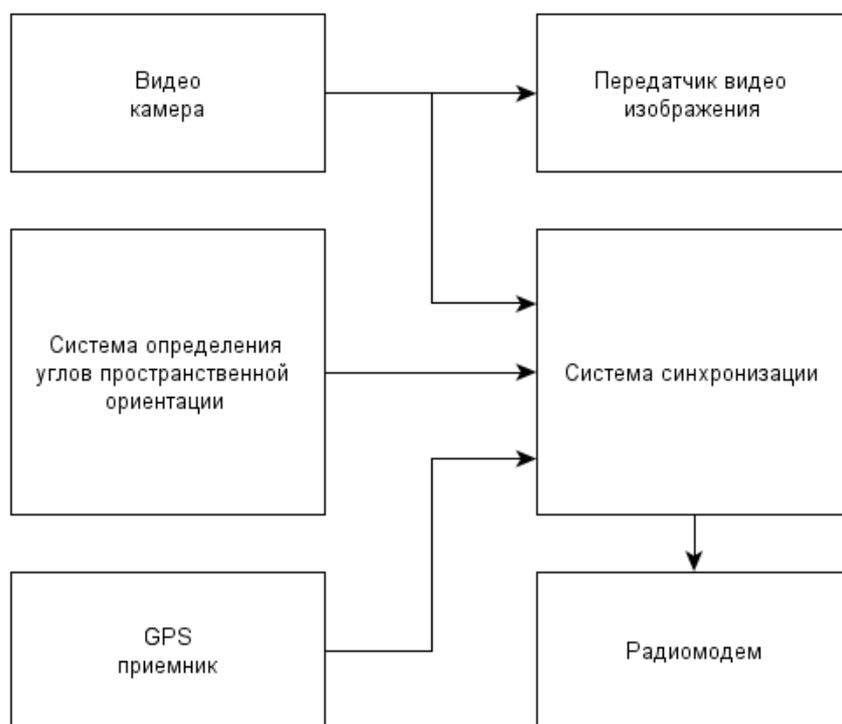
Система передачи данных обеспечивает передачу с борта ЛА следующей информации: изображение с видео камеры, углов ориентации ЛА с ИНС, координаты и высоты с системы спутниковой навигации. Наземная вычислительная система, обрабатывает полученную информацию. Видео изображение передается в компьютер оператора вместе с телеметрической информацией от ИНС ГНСС. Телеметрическая информация синхронизирована с видео картинкой по времени.

Наземная вычислительная система по данным от инерциальной и спутниковой систем, производит трансформацию системы координат снимка.

Пользователь на экране монитора, в реальном времени, видит картинку и кликнув мышкой на любой объект может определить его координаты.

Основная проблема в реализации данной системы состоит определении углов ориентации углов ЛА. ИНС должна обеспечивать постоянную точность в течении всего времени полета, при этом иметь массогабаритные характеристики пригодные для установки на борт БПЛА.

Традиционные электромеханические ИНС обеспечивают высокую точность, стабильность и малые уходы, но имеют массу 1 кг и более. К примеру, самая лёгкая гироскопическая вертикаль МГВ-6 представляет собой цилиндр 90×150 см массой 1,0 кг. Более современные MEMS гироскопы имеют меньшую массу и габариты (от 10 до 200 гр.), но подвержены временным и температурным уходам.



УДК 528.73

A.S. Essin, S.S. Essin

Западно-Сибирский филиал ФГУП «Госземкадастръёмка» – ВИСХАГИ, Омск

ОСОБЕННОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ ЦИФРОВОЙ АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БПЛА

В статье рассматривается возможность использования данных навигационного оборудования установленного на БПЛА при обработке фотограмметрической сети.

A.S. Essin, S.S. Essin

West-Siberian Branch of FSUE «Goszemkadastrsjemka» – VISHAGI

4, Mira Avenue, Omsk, 644080, Russian Federation

THE FEATURE OF PHOTOGRAMMETRICAL PROCESSING OF DIGITAL AIRBORNE MATERIALS USING PILOTLESS VEHICLES

The article shows the possibility of application the data of navigation equipment set on the board of pilotless vehicles in the processing of photogrammetrical net.

Цифровые малоформатные фотокамеры получили широкое применение в фотограмметрии. По материалам аэросъемок такими камерами оперативно обновляются и создаются планы на локальные участки местности.

В Западно-Сибирском филиале ВИСХАГИ в качестве носителя малоформатных фотокамер используется беспилотный аэрофотосъемочный комплекс. В состав комплекса входят: беспилотная авиамодель, цифровая малоформатная фотокамера, навигационная система и комплект телевизионно-телеметрического оборудования.

Материалы аэрофотосъемки, выполняемой с беспилотной авиамодели, имеют следующие особенности:

- Аэрофотосъемочные маршруты не прямолинейны;
- Аэрофотоснимки могут иметь существенные взаимные углы наклона 10-15 градусов, разворота и значительную разномасштабность;
- Три последовательно полученных снимка могут не иметь зоны тройного продольного перекрытия или эта зона имеет «не правильную» форму.

Обработка такой съемки с использованием цифровых фотограмметрических станций, ориентированных на обработку материалов классической аэрофотосъемки, не всегда эффективна.

Разработана технология фотограмметрической обработки таких снимков [1, 2, 3].

Перед аэрофотосъемкой определяется фокусное расстояние фотокамеры и создается модель нелинейных искажений снимка.

После аэрофотосъемки выполняется калибровка снимков и создание электронного накидного монтажа. На накидном монтаже указывается положение опорных точек, с учетом расположения которых формируется блок фототриангуляции. Затем выполняется измерение связующих точек блока.

Приближенные значения элементов внешнего ориентирования снимков, необходимые для уравнивания сети, определяются в два этапа. Первый – это грубое определение элементов внешнего ориентирования на основе данных электронного накидного монтажа. На втором этапе вычисляются приближенные значения элементов внешнего ориентирования на основе обратной фотограмметрической засечки. При этом в качестве координат точек местности используются приближенные координаты связующих точек определенные с электронного накидного монтажа на средней высоте.

Уравнивание блока фототриангуляции выполняется по методу связок [4].

При выполнении аэрофотосъемки с большого самолета определяют координаты центров фотографирования снимков и используют их в качестве опорных точек. Для определения их координат используют данные навигационного оборудования установленного на борту самолета.

При выполнении аэрофотосъемки с БПЛА определение координат центров снимков по классической технологии не представляется возможным. Навигационное оборудование, установленное на БПЛА, позволяет получить траекторию полета, но из-за отсутствия системы синхронизации навигационной системы и фотокамеры нет возможности определить момент срабатывания затвора.

Поэтому в качестве дополнительных опорных данных для внешнего ориентирования фотограмметрической сети предлагается использовать траекторию полета.

Задача сводится к определению положения центра фотографирования снимка на траектории и последующего использования его в качестве опорных данных.

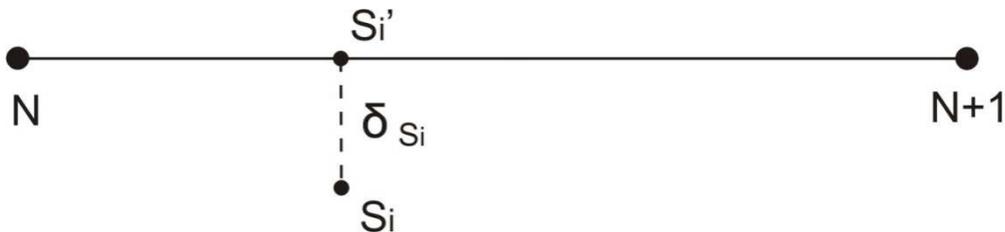
Первоначально выполняем построение фотограмметрической сети с использованием наземных опорных точек. При этом для каждого снимка вычисляются координаты центров фотографирования и находятся по две ближайшие точки траектории. В общем случае, полученные центры фотографирования не попадут на траекторию полета (рис. 1).



S_i - центр фотографирования i -го снимка.
 $N, N+1$ - точки траектории, ближайшие к центру фотографирования S_i .

Рис. 1

Для устранения этого несовпадения при построении фотограмметрической сети необходимо для каждого центра фотографирования задать дополнительные условия попадания его на траекторию (рис. 2).



δ_{S_i} - поправка в координаты центра фотографирования.

S_i' - исправленные координаты центра фотографирования.

Рис. 2

В координатной форме эти условия примут следующий вид

$$\varphi_x = \begin{vmatrix} X_N - X_s & X_{N+1} - X_s \\ Z_N - Z_s & Z_{N+1} - Z_s \end{vmatrix} = 0$$

$$\varphi_y = \begin{vmatrix} Y_N - Y_s & Y_{N+1} - Y_s \\ Z_N - Z_s & Z_{N+1} - Z_s \end{vmatrix} = 0$$

В результате уравнивания вычисленные координаты центров фотографирования совпадут с траекторией. Полученные координаты центров фотографирования можно использовать, с более низкими весами, в качестве дополнительных опорных данных при следующих циклах уравнивания.

Совмещение уравненных координат центров фотографирования с траекторией позволит повысить точность построения фотограмметрической сети и соответственно повысить точность выпускаемой продукции. Кроме того, использование полученных координат центров фотографирования в качестве дополнительных опорных данных позволит уменьшить количество наземных

опорных точек и сократить затраты на выполнение планово-высотной подготовки снимков.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ессин, А.С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, полученной с беспилотного летательного аппарата./ А.С. Ессин, С.С. Ессин // Сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2007», Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2007. – С. 48–52.
2. Ессин, С.С. Постановка задачи обработки фотограмметрических сетей из аэрофотоснимков, полученных с беспилотного летательного аппарата, на основе метода связок./ С.С. Ессин // Сб. материалов науч. конгр. «ГЕО-Сибирь-2008», Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2008. – С. 99–101.
3. Ессин, С.С. Разработка методики пространственной фотограмметрической обработки материалов цифровой аэрофотосъемки, выполненной с беспилотной авиамодели / С.С. Ессин // Геодезия и картография. – 2008. – № 10. – С. 35–37.
4. Лобанов А. Н. Фотограмметрия / А. Н. Лобанов. – М.: Недра, 1984. – 552 с.

© А.С. Ессин, С.С. Ессин, 2010

УДК: 528.71

А.С. Костюк

Западно-Сибирский филиал «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ, Омск

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ОЦЕНКА КАЧЕСТВА АЭРОФОТОСЪЕМКИ С БПЛА

В статье рассмотрены особенности расчета параметров аэрофотосъемки с малых беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Изложен способ оперативной оценки качества аэрофотосъемки с БПЛА.

A.S. Kostyuk

West-Siberian branch «Goszemkadastrsyomka» - VISHAGI

4 Prospect Mira, Omsk, 644080, Russian Federation

CALCULATION OF THE PARAMETERS AND EVALUATION OF QUALITY WITH UAV AERIAL PHOTOGRAPHY

The article describes the features of calculation of parameters from aerial surveys of small unmanned aerial vehicles (UAVs). Described method for rapid assessment of the quality of aerial photography from unmanned aircraft.

Проведение работ по инвентаризации земель и объектов недвижимости, подготовка документов для постановки на государственный кадастровый учёт и государственная регистрация прав подразумевает выполнение комплекса картографо-геодезических, землеустроительных и кадастровых работ. Для поддержания информации на современном уровне необходим системный мониторинг. Для локального обновления картографического материала интенсивно используемых земель целесообразно использовать беспилотно-пилотируемые летательные аппараты. В Западно-Сибирском филиале предприятия «Госземкадастрсъёмка» – ВИСХАГИ разработано несколько летательных аппаратов и все они попадают в весовую категорию до 3,5 кг.

Несмотря на всю простоту любительской съёмки с БПЛА, при проведении аэрофотосъёмочных работ для целей картографирования возникает ряд проблем, связанных с выбором фотокамеры, устанавливаемой на летательный аппарат, расчетом параметров аэрофотосъемки и оперативной оценке качества материалов аэрофотосъемки.

Выбор фотокамер для целей аэрофотосъемки основан на анализе следующих характеристик: разрешающей способности снимков, физическом размере матрицы, величине угла захвата, веса камеры и её стоимости. Нами была разработана методика присвоения оценочных баллов по каждой характеристике фотоаппарата. Лучшим фотоаппаратом считался фотоаппарат, набравший большую сумму баллов. Было исследовано более десяти цифровых

камер подходящих для установки на БПЛА из модельного ряда весовой категории до 3,5 кг.

По результатам исследования, наилучшими для целей аэрофотосъемки признаны камеры Canon IXUS-980IS, Pentax Optio-A30 и Sony DSC-W300, их основные характеристики представлены в табл. 1.

Таблица 1 Основные характеристики выбранных фотокамер

Название фотокамеры	Длина матрицы, пкс	Ширина матрицы, пкс	Размер матрицы, "	f экв 35 мм кадру, мм	Вес, г
Canon IXUS-980IS	4416	3312	1/1.7	36.0	160
Sony DSC-W300	4224	3168	1/1.7	35.0	156
Pentax OptioA30	3648	2736	1/1.8	38.0	150

В настоящее время на беспилотных летательных аппаратах Западно-Сибирского филиала “Госземкадастрсъемка” – ВИСХАГИ установлена фотокамера Pentax Optio-A30. Камера хорошо показала себя во время производственной и экспериментальной аэрофотосъемки. Постоянно развивающаяся технология аэрофотосъемки с БПЛА требует приобретения новых фотокамер и совершенствования методики их выбора.

Расчет параметров аэрофотосъемки изложен в соответствующих нормативных документах. Аэрофотосъемка с малых беспилотных летательных аппаратов имеет ряд особенностей. Превышение допустимых углов наклона снимков, несоблюдение прямолинейности траектории полета, для обеспечения необходимого перекрытия между снимками высокая частота фотографирования и как следствие избыток кадров. Нами была разработана методика расчета следующих параметров аэрофотосъемки с БПЛА: высоты фотографирования, расстояния между маршрутами и между центрами фотографирования на маршруте.

Высота аэрофотосъемки зависит от масштаба создаваемого фотоплана. Величина крайнего пикселя снимка на местности не должна превышать 0.07 мм в масштабе создаваемого фотоплана. Например при создании фотоплана

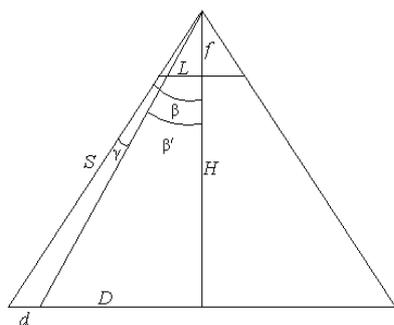


Рис. 1. Связь размера пикселя снимка с местностью

масштаба 1 : 2000 величина пикселя на местности d не должна превышать 0.14 м. Расчет разрешающей способности снимка следует производить для пикселей наиболее удаленных от центра кадра. Схема связи размера крайнего пикселя снимка с местностью показана на рисунке.

На рисунке: f – фокусное расстояние камеры в эквиваленте для 35 мм кадра;

L – длина половины диагонали матрицы, для 35 мм кадра она составит 21.6 мм;

H – высота фотографирования во время АФС;

D – длина половины диагонали снимка на местности.

Из рисунка следует:

$$S = \frac{d \cdot \cos(\gamma - \beta)}{\sin \gamma}; \quad (1)$$

$$H_{\max} = S \cdot \cos \beta; \quad (2)$$

Расчет максимально допустимой высоты аэрофотосъемки выполняется по формуле (2), где угол β зависит от индивидуальных параметров используемой фотокамеры и может быть рассчитан исходя из величины фокусного расстояния эквивалентного 35 мм кадру.

В зависимости от точности GPS навигации и особенностей пилотирования БПЛА могут быть достигнуты следующие параметры выдерживания самолета на маршруте:

- Поперечное смещение от оси маршрута ± 10 м;
- Удержание БПЛА на запроектированной высоте ± 15 м;
- Расстояние от запроектированного центра фотографирования до точки срабатывания затвора фотоаппарата ± 5 м;
- Изменение угла крена БПЛА на маршруте между двумя снимками 10° ;
- Изменение угла тангажа БПЛА на маршруте между двумя снимками 6° .

Приведенные параметры полета БПЛА были получены в результате постобработки множества материалов производственной и экспериментальной аэрофотосъемки.

Для расчета расстояния между маршрутами обеспечивающего 30 % поперечное перекрытие при идеальных условиях по формуле (3) вычисляется половина поперечного угла захвата камеры, где $L_{\text{попереч}}$ – половина ширины 35 мм пленки и составляет 12 мм:

$$\beta'' = \text{arcctg}\left(\frac{f}{L_{\text{попереч}}}\right); \quad (3)$$

Высота полета с учетом погрешности барометрического датчика рассчитывается по формуле (4):

$$H_{\text{пол}} = H_{\max} - 20\text{м}; \quad (4)$$

Половина ширины захвата местности камерой вычисляется по формуле (5):

$$D = H_{\text{пол}} \cdot \text{tg} \beta''; \quad (5)$$

Расстояние между маршрутами в идеальных условиях рассчитывается по формуле (6):

$$R_{\text{уд}} = 2 \cdot k \cdot D, \quad (6)$$

где $k = 0,7$, для обеспечения 30 % поперечного перекрытия снимков.

Для обеспечения надежного сплошного покрытия земной поверхности снимками необходимо учесть максимальные отклонения БПЛА от запроектированного маршрута. Минимальное значение половины ширины захвата местности во время аэрофотосъемки с учетом совокупности

погрешностей навигационных данных и пилотирования летательного аппарата вычисляется по формуле (7):

$$D_{\min} = (H_{\text{пол}} - 15\text{м}) \cdot \text{tg}(\beta - 5^\circ) - 10\text{м}; \quad (7)$$

Предельное отклонение между двумя маршрутами составит:

$$\delta D = 2 \cdot (D - D_{\min}); \quad (8)$$

Расстояние между маршрутами с учетом поперечного смещения БПЛА относительно оси маршрута, удерживания высоты полета и углов наклона камеры, вычисляется по формуле (9):

$$R_{\text{попереч}} = R_{\text{ид}} - \delta D; \quad (9)$$

По формулам (1)–(9) вычисляется высота полета БПЛА для выбранных фотоаппаратов и расстояние между маршрутами при создании фотопланов масштаба 1 : 2 000. Полученные данные представлены в табл. 2.

Таблица 2 Расчет высоты фотографирования и расстояния между маршрутами

Название фотокамеры	H_{max} , м	$H_{\text{пол}}$, м	$R_{\text{ид}}$, м	D_{\min} , м	δD , м	$R_{\text{попереч}}$, м
Canon IXUS-980IS	520	500	233	106	122	112
Sony DSC-W300	484	464	223	101	116	107
Pentax Optio-A30	467	447	198	86	110	87

Расстояние между центрами фотографирования на маршруте рассчитывается по аналогии с расстоянием между маршрутами. По формуле (3) вычисляется половина продольного угла захвата камеры, где L - половина длины 35 мм пленки и составляет 18 мм. Расстояние между центрами фотографирования в идеальных условиях рассчитывается по формуле (6), для обеспечения 60% продольного перекрытия снимков коэффициент k будет равен 0,4. По формуле (7) вычисляется минимальное значение половины длины захвата местности во время АФС. Предельное отклонение расстояния между снимками от рассчитанного вычисляется по формуле (8). Расстояние между центрами фотографирования с учетом погрешности навигационных координат, удерживания высоты полета и углов наклона камеры, рассчитывается по формуле (10):

$$R_{\text{прод}} = R_{\text{ид}} - \delta D; \quad (10)$$

Результаты полученные в ходе вычисления расстояния между центрами фотографирования вдоль маршрута приведены в табл. 3.

Таблица 3 Расчет расстояния между центрами фотографирования

Название фотокамеры	$R_{ид}$, м	D_{min} , м	δD , м	$R_{прод}$, м
Canon IXUS-980IS	200	207	87	113
Pentax Optio-A30	191	197	83	108
Sony DSC-W300	169	173	78	91

По данным табл. 2 и 3 на примере фотоаппарата Canon IXUS-980IS составлена карточка параметров аэрофотосъемки с БПЛА для целей получения фотоплана масштаба 1 : 2 000.

Карточка параметров АФС с БПЛА для целей картографирования	
Фотокамера:	Canon IXUS-980IS
Масштаб АФС:	1 : 2 000
Высота полета при АФС:	500 м
Расстояние между маршрутам:	110 м
Расстояние между центрами фотографирования на маршруте:	110 м
Допустимое отклонение от оси маршрута:	± 10 м
Допустимое отклонение от запроектированной высоты АФС:	± 15 м
Расстояние срабатывания затвора фотоаппарата от намеченных центров фотографирования вдоль оси маршрута:	± 5 м
Допустимое изменение угла крена БПЛА на маршруте между двумя снимками:	10°
Допустимое изменение угла тангажа БПЛА на маршруте между двумя снимками:	6°

Расчет параметров аэрофотосъемки очень важный этап подготовительных работ. Правильно рассчитанные параметры полета позволяют увеличить площадь покрываемую аэрофотосъемкой за один полет и повысить качество материалов аэрофотосъемки.

Для оперативной оценки качества выполнения аэрофотосъемки на нашем предприятии было разработано и внедрено в производство программное обеспечение в виде приложения *.mbx на базе Mapinfo. Программа позволяет проектировать маршруты согласно рассчитанным параметрам аэрофотосъемки. По полученным данным с борта летательного аппарата в реальном времени строится фактическая траектория полета. В момент прохождения БПЛА над точкой запроектированного центра фотографирования в автоматическом, либо ручном режиме подается команда на срабатывание затвора камеры. По высоте летательного аппарата и его ориентации в пространстве в момент фотографирования строится условная рамка снимка, по которым можно оперативно оценить покрытие заданной территории аэрофотосъемкой, и, при необходимости, принять решение о повторном прохождении над проблемными участками.

Разработанная методика проектирования аэрофотосъемки с БПЛА позволила существенно сократить время выполнения аэрофотосъемочных работ и повысить качество материалов.

УДК 551.24

*В.Ю. Тимофеев¹, Д.Г. Ардюков¹, В.М. Соловьев², С.В. Шибяев³, А.Ф. Петров³,
Е.В. Бойко¹, А.В. Тимофеев¹*

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск

² ГС СО РАН, Новосибирск, ³ ЯФ ГС СО РАН, Якутск

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО РЕГИОНА ПО ДАНЫМ GPS ИЗМЕРЕНИЙ И СЕЙСМОЛОГИИ

В работе приведен анализ имеющихся данных о положении границы Северо-Американской и Евразийской плит. Имеются различные представления о положении полюса взаимного вращения. Наибольший эффект вращения наблюдается на больших расстояниях от полюса, на севере в Арктике и на юге в Приморье и на острове Сахалин. На данном этапе рассмотрены: данные о плитных движениях по постоянным GPS станциям северо-востока; о плитных движениях Амурской плиты; сейсмологические результаты по Северу-Востоку России, данные о сильных землетрясениях и глубине гипоцентров.

V.Y. Timofeev¹, D.G. Arduykov¹, V.M. Soloviev², S.V. Shibaev³, A.F. Petrov³, E.V. Boyko¹, A.V. Timofeev¹

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk.

²GD SB RAS, Novosibirsk, ³Yk.D.SB RAS, Yakutsk.

MODERN GEODYNAMIC OF FAR-EAST REGION BY GPS OBSERVATION AND SEISMOLOGY DATA

In this paper we report results of our study the North-American and Eurasia plate border. Different data about rotation pole was estimated. Maximal effect of rotation at large distances from pole observed, for Arctic and southern Primorie-Sakhalin region. We discuss the present-day motion by GPS station data for North-East region and for Amurian plate. Seismology data observed at North-East part of Russia, data on strong earthquakes and the depth of hypocenters was discussed too.

Современная геодинамика и сейсмичность Дальневосточного региона в значительной мере определяется взаимодействием Евразийской, Тихоокеанской, Североамериканской, а также предполагаемых Амурской и Охотской плит (Рис. 1). Высокую активность региональной структуры на новейшем этапе и характер её современной геодинамики определило развитие двух подвижных поясов глобального уровня: Центрально-Азиатского и Тихоокеанского. Очаги землетрясений концентрируются в них, образуя одноименные сейсмические пояса. Взаимодействие плит Земли в настоящее время активно изучается на основе данных космической геодезии. Остановимся на имеющихся кинематических моделях плитных вращений и проанализируем

их на примере Евразии. Из известных моделей вращения Евразии можно отметить геолого-геофизическую модель NNR-Nuvel-1A, модель APKIM2000, построенную по экспериментальным данным всех постоянных станций Евразии на эпоху 2000 года. Неприятной особенностью последней модели является то, что при анализе использованы данные по станциям расположенным на массивных платформах севера континента, а также данные по станциям центральной и южной части, где протекает активный разнонаправленный тектонический процесс, отражающийся в современных катастрофических землетрясениях. Учитывая это при анализе данных по югу Сибири и Дальнего Востока, нам пришлось внимательно рассмотреть модельные оценки и экспериментальные данные по постоянным станциям севера Азии. При этом мы старались не опираться на данные станций, расположенных в зоне вечной мерзлоты.

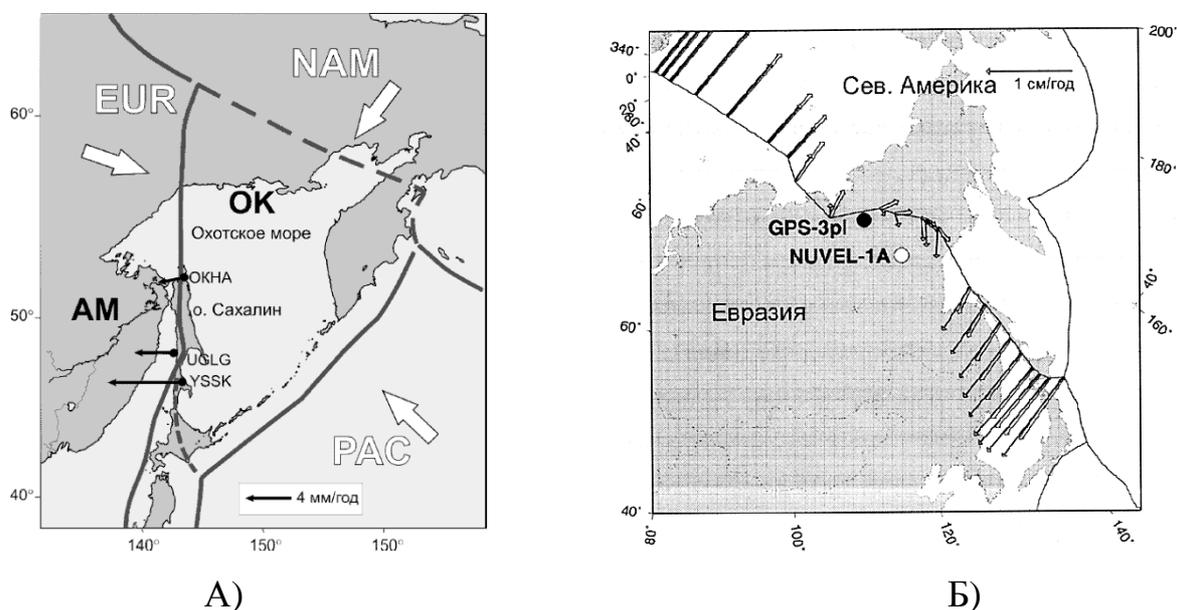


Рис. 1. А) Схема взаимодействия литосферных плит на Северо-Востоке Азии. Стрелки – горизонтальные скорости GPS-пунктов о-ва Сахалин относительно Евразийской плиты. Сплошные линии – границы литосферных плит (глобальная модель Земли NUVEL-1A). Б) Полюс взаимного вращения Северной Америки и Евразии по модели GPS-3р1 и NUVEL-1A. Модельные скорости вдоль границы относительно Евразии

Фактически рассматривались экспериментальные результаты мировой сети IGS для станций ARTU (Средний Урал), NVSK (Новосибирск), KSTU (Красноярск) и IRKT (Иркутск). Станции расположены в полосе широт 52–56 градусов в тектонически стабильной части Евразийской плиты. Данные по этим станциям показали систематические отклонения (в 2 мм) от оценок по модели NNR-Nuvel-1a и модели APKIM2000. Известно, что для определения скоростей горизонтальных смещений пункта с координатами φ и λ используются соотношения:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} = \omega \cos(\Phi) \sin(\lambda - \Lambda); \quad \frac{\partial \lambda}{\partial t} = \omega [\sin(\Phi) - \cos(\lambda - \Lambda) \tan(\varphi) \cos(\Phi)],$$

(1)

где Φ , Λ , ω координаты полюса вращения плиты и её скорость.

Используя формулы (1) и составив систему уравнений можно получить параметры полюса вращения. Опираясь на экспериментальные результаты четырех континентальных станций юга Сибири (ARTU, NVSK, KSTU, IRKT) была построена модель AR-IR-2006 для Евразии. Рассмотрим также модели вращения плит взаимодействующих на Северо-Востоке Азии по представлениям центра SOPAC на 2008 год (табл. 1).

Таблица 1 Параметры полюсов вращения тектонических плит, центр «sopac» 2008

Плита	Широта	градусы	Долгота	градусы	Скорость
	градус/млн.лет				
amur	56.763		-101.663		0.282
eur	55.851		-97.378		0.263
noam	-6.207		-88.473		0.187
okht	7.537		-158.673		0.091
pacf	-62.225		112.235		0.680
Параметры моделей по нашим представлениям:					
eur (AR-IR-2006)	51.045°N		255.842°E (-104.158 °E)		0.2423
amur	59.624°N		238.314°E (-121.686°E)		0.2607

Проанализируем данные постоянных станций Северо-Востока и модельные параметры (табл. 2 и 3).

Таблица 2 GPS пункты азиатской части Евразии. Разности = Эксперимент – Модель (мм/год)

Пункт	Широта φ°	Долгота λ°	Экс.-Модель AR-IR2006, V_n	Экс.-AR-IR2006, V_e	Экс.-Модель SOPAC, V_n	Экс.-SOPAC, V_e
NRIL (2001-2006)	69.362	88.360	+0.98	-1.04	-1.19	-0.12
IRKT (1995-2006)	52.219	104.316	+0.10	-0.29	-2.59	-0.45
(1995-2007)			+1.04	-0.21	-1.45	-0.37
YAKT (2001-2006)	62.031	126.680	-0.26	0.94	-2.88	-0.47
TIXI (1999-2007)	71.634	128.866	+2.24	0.16	-0.38	-0.52

Таблица 3 GPS пункты азиатской части Северо-Американской плиты. Разности = Эксперимент – Модель (мм/год)

Пункт	Широта φ°	Долгота λ°	Экспер. - Модель noam, V_n	Экспер. - noam-SOPAC V_e
BILI (2000-2007)	68.076	166.437	+4.53	+2.69
MAGO (1998-2006)	59.575	150.770	+2.89	-2.86
TIXI (1999-2007)	71.634	128.866	+4.96	-2.87

Предварительные результаты показывают, что для континентальной части Сибири более соответствует модель AR-IR-2006 (табл. 2). Для зоны сочленения плит на северо-востоке на данный момент неясным является вопрос о положении границы Северо-Американской и Евразийской плит. Отклонения по различным моделям достигают 5 мм, что значительно перекрывает точность GPS данных (табл. 3).

Рассмотрим сейсмичность пограничных зон литосферных плит на северо-востоке Азии. Значительная часть Северо-Востока Азии подвержена воздействию сильных землетрясений, тяготеющих к неотектоническим структурам, которые формируют крупный Арктико-Азиатский сейсмический пояс (рис. 2). Его сеймотектоническое положение и природа возникновения сильных землетрясений является результатом взаимодействия крупных литосферных плит, их отдельных блоков и микроплит, развитых в северо-восточной части Азиатского континента и соседних регионах. Арктико-Азиатский сейсмический пояс пересекает Северный Ледовитый океан, Северо-Восток Азии и разграничивает Североамериканскую плиту от Евразийской и Охотоморской плит на расстоянии более 8 тыс. км. По сеймотектоническим особенностям в пределах Якутии в нем выделяются три зоны: Лаптевоморская (шельф моря Лаптевых), Хараулахская (прибрежный район Северного Верхоянья между долиной р. Лены и губой Буор-Хая) и зона хр. Черского (Верхояно-Колымская складчатая система).

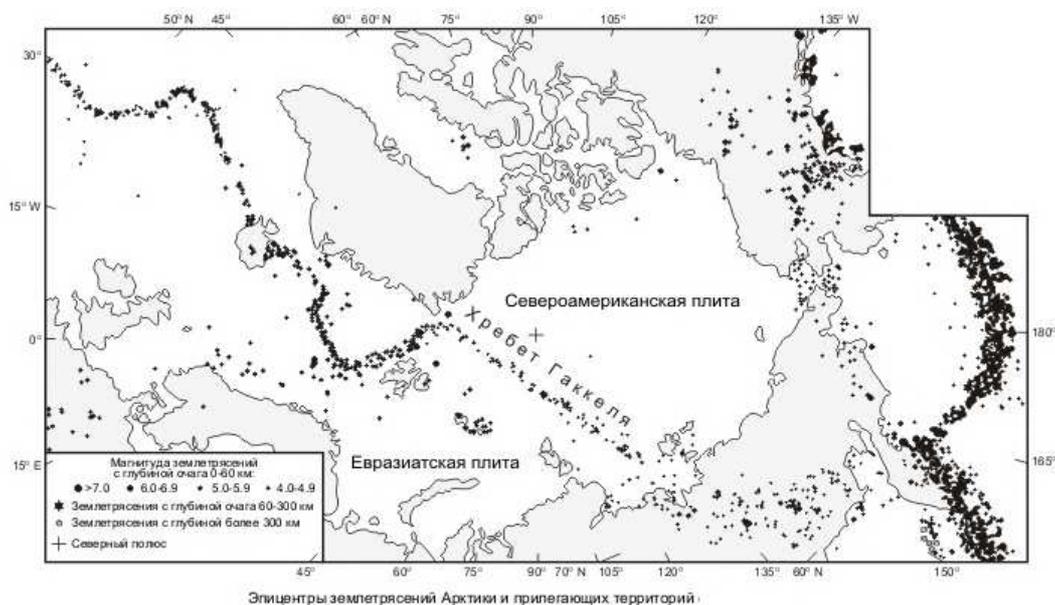


Рис. 2. Эпицентры землетрясений Арктики и прилегающих территорий

Приведем сейсмологические характеристики наиболее значимых событий (табл. 4). Отметим, что все землетрясения регистрируются в пределах земной коры, мощность которой, по отдельным оценкам, около 35 км. Глубина очагов подземных толчков, отмеченных в разных частях территории, показана в табл. 5.

В заключение следует отметить, что анализ движения тектонических плит в области сочленения Евразийской с окружающими её плитами и сейсмичности этой зоны показал слабую изученность вопроса. Подробные исследования этих проблем продолжаются в рамках проекта ОНЗ РАН № 6–2.

Таблица 4 Список ощутимых землетрясений Хараулахской зоны и хребта Черского

Название землетрясения	Дата ч. мес. год	Север. широта	Восточ. долгота	M, магнитуда	S, тыс.км ²	I ₀ , балл
Ямское	27.11.1851	59.5	153.3	6.5	150	8
Булунское-1	14.11.1927	69.9	129.9	6.8	50	8-9
Булунское-2	14.11.1927	70.1	129.2	6.8	50	8-9
Тауйское	03.11.1936	59.0	151.2	5.7	150	7-8
Адычанское	12.02.1951	65.8	137.0	6.4	300	8
Иргичанское	19.04.1962	69.5	138.5	6.2	60-80	7-8
Артыкское	18.05.1971	64.	146.1	7.1	900	9
Кулинское	13.01.1972	61.9	147.1	5.7	200	7
Сеймчанское	19.06.1974	63.2	150.9	4.9	60	7
Гижигинское	19.08.1979	61.6	158.8	5.2	50	7
Оленекское	01.02.1980	73.3	122.6	5.5	170	7
Купкинское	08.11.1981	61.8	153.6	5.4	180	7
Уяндинское	22.11.1984	68.6	140.5	5.4	130	7
Андрей-Тасское	22.06.2008	67,73	141,25	6,1	400	8

Таблица 5 Интервал глубин очагов землетрясений в Хараулахской зоне и хребта Черского

Район	Интервал глубин в км
Губа Буор-Хая моря Лаптевых	(5-23)±5
Найбинский кряж	(15-18)±5
Туостаская впадина	21±8
Система хр.Черского (Артыкское землетрясение 18.05.71г)	22±5
Афтершоки Артыкского (Оймяконского) землетрясения	(4-29)±3
Афтершоки Кулинского землетрясения 13.01.72 г.	(10-25)±5
Северное Приохотье	10-27
Север Камчатки	0-50

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Стеблов Г.М. (2004) Крупномасштабная геодинамика на основе космической геодезии. Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.ф.-м.н., Москва, 2004, 32 с.
2. Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Горнов П.Ю., Малышев Ю.Ф., Бойко Е.В., Результаты анализа данных GPS измерений (2003-2006 гг.) на Дальнем Востоке по Сихотэ-Алиньской сети. // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27. – № 4. – С. 39-49.
3. Boucher C., Altamimi Z., Sillard P., Feissel-Vernier M.. (2001) The ITRF 2000. // IERS Technical Note, 2001, No.31., 270 p.
4. <http://sopac.ucsd.edu>

© В.Ю. Тимофеев, Д.Г. Ардюков, В.М. Соловьев, С.В. Шибяев, А.Ф. Петров, Е.В. Бойко, А.В. Тимофеев, 2010

УДК 528.4

А.П. Григорюк, Л.П. Брагинская
ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ПО АКТИВНОМУ ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКОМУ МОНИТОРИНГУ

В работе представлена архитектура и основные сервисы информационного Интернет-ресурса «Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками» (<http://opg.sccc.ru>). Интернет-ресурс обеспечивает интеграцию информационных ресурсов в области теоретических и экспериментальных исследований по развитию нового направления в геофизике – активной сейсмологии с использованием мощных вибрационных источников сейсмических волн.

A.P. Grigoruk, L.P. Braginskaya

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

INTEGRATION OF INFORMATION RESOURCES ON ACTIVE VIBROSEISMIC MONITORING

The paper presented the architecture and core services of information Internet resources "Active seismology with powerful vibration sources» (<http://opg.sccc.ru>). Internet-resource provides integration of information resources in the field of theoretical and experimental studies on the development of a new direction in geophysics - the active seismology using the powerful vibration sources of seismic waves.

В последние десятилетия широкое развитие получили методы активного геофизического мониторинга, основанные на исследовании отклика литосферы на искусственные воздействия различной физической природы. Определение основных закономерностей изменения геофизических полей, выделение их аномалий является основой решения широкого спектра прогностических задач, способствует лучшему пониманию природы происходящих в литосфере геодинамических процессов.

Одним из направлений таких исследований является метод активной сейсмологии, в котором в качестве источника сейсмических волн используются мощные механические вибраторы. Значительная возмущающая сила, развиваемая источником (до 100 тс), длительные (до нескольких часов) сеансы излучения и прецизионные системы управления и регистрации обеспечивают наблюдаемый волновой эффект (сейсмограммы), сравнимый со средним землетрясением. Проведенные полевые эксперименты показали возможность

получения качественных сейсмограмм на расстояниях до 500 км и регистрацию гармонических сигналов на расстояниях до 2 000 км [1].

К безусловным достоинствам метода можно отнести контролируемость и повторяемость процесса излучения и полную экологическую безопасность, которая позволяет вести экспериментальные работы даже вблизи населенных пунктов.

В настоящее время на веб-сервере Лаборатории геофизической информатики <http://org.sssc.ru> создан и отлажен информационный Интернет-ресурс «Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками», обеспечивающий интеграцию информационных ресурсов в области теоретических и экспериментальных исследований по развитию активной сейсмологии с использованием мощных вибрационных источников сейсмических волн [2]. Интернет-ресурс основан на принципах Web 2.0, согласно которым пользователи принимают непосредственное участие как в создании контента (содержимого ресурса), так и в организации научных коммуникативных связей. Система регистрации позволит пользователям участвовать в обсуждении опубликованных материалов, размещать и редактировать собственные статьи и заметки.

В результате сравнительного анализа различных систем управления содержимым – CMS (Content Management System) было решено строить Интернет-ресурс на базе CMS Joomla. Данная CMS распространяется по лицензии GNU/GPL (свободное программное обеспечение) и ориентирована в первую очередь на создание сайтов электронных публикаций. При создании Интернет-ресурса были использованы встроенные и внешние функциональные расширения Joomla. Структурная схема Интернет-ресурса «Активная сейсмология» представлена на рис. 1.

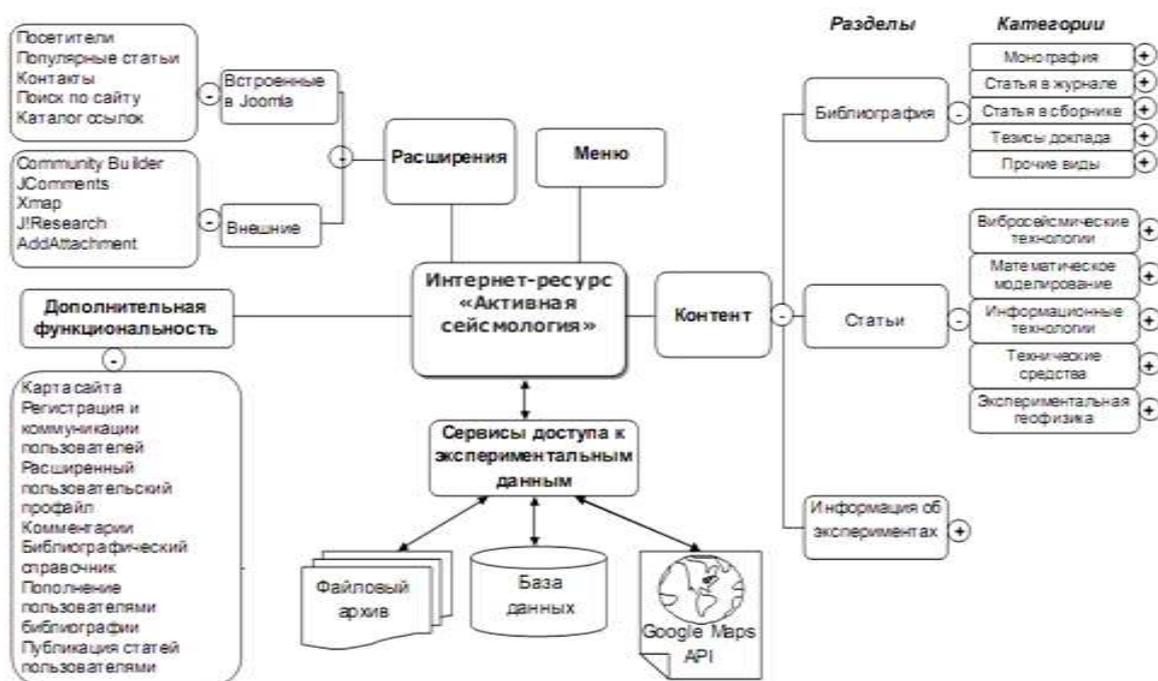


Рис. 1. Структурная схема Интернет-ресурса «Активная сейсмология»

Как раздел Интернет-ресурса доступна созданная ранее информационно-вычислительная система (ИВС) «Вибросейсмическое просвечивание Земли» [3]. ИВС обеспечивает интерактивный доступ через Интернет к данным, полученным в ходе экспериментов по вибросейсмическому мониторингу литосферы в Алтае-Саянском регионе, Байкальской рифтовой зоне и Таманской грязевулканической провинции.

По своей структуре и функциям ИВС «Вибросейсмическое просвечивание Земли» в рамках современной терминологии может быть отнесена к центрам научных данных. Стиль работы в таких центрах состоит в посылке запросов приложениям, выполняемым на сервере, и получении ответов, а не в массовом копировании необработанных данных на локальный компьютер для дальнейшего анализа [4].

Интернет-ресурс предоставляет следующие основные пользовательские сервисы:

- База данных научных работ – электронная библиотека, содержащая тезисы и полные тексты статей, комментарии, информацию об авторах и научных организациях.

- Библиографический каталог публикаций с возможностью поиска по авторам, названию, году издания.

- База экспериментальных данных, содержащая на сегодняшний день порядка 20 000 сейсмотрасс, зарегистрированных в ходе экспериментов по вибросейсмическому просвечиванию Земли. Возможность параметрического поиска, просмотра и анализа в режиме онлайн.

- Возможность обсуждать размещенные на сайте статьи, а также публиковать собственные материалы.

Информационно-вычислительная система имеет следующие основные функции:

- Получение подробной информации по любому из проведенных экспериментов (метаданные);

- Поиск в базе данных одновременно по 18 параметрам вибропросвечивания (либо пром. Взрывов);

- On-line анализ найденных сейсмотрасс с отображением результатов непосредственно в веб-браузере пользователя;

- Построение по результатам поиска интерактивных карт и спутниковых снимков с обозначенными источниками и регистраторами сейсмических волн.

В состав информационно-вычислительной системы входит ГИС, созданная на базе сервиса Google Maps [5]. На рис. 2 показан скриншот окна веб-браузера во время работы с ИВС. Как важное преимущество системы следует отметить, что на стороне клиента не требуется установки какого-либо дополнительного программного обеспечения.

Интернет-ресурс создан при поддержке грантов РФФИ № 05-07-90081 и № 09-07-00515.

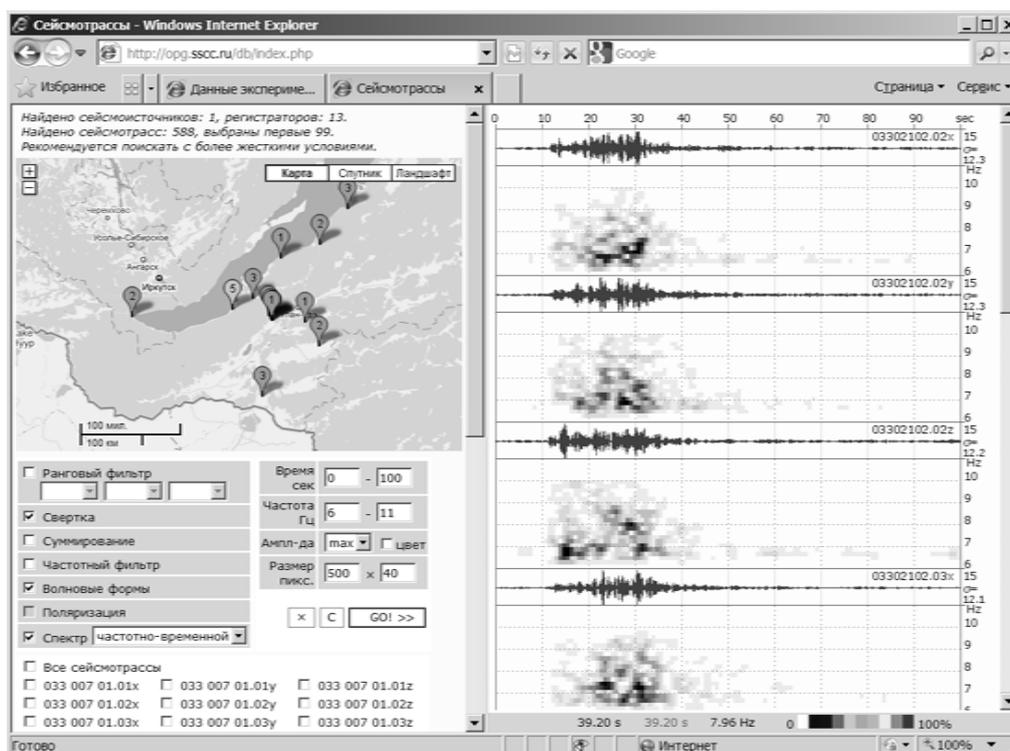


Рис. 2. Работа с информационно-вычислительной системой в режиме онлайн

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками // Отв. ред. Г.М. Цибульчик. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал «Гео» Издательства СО РАН, 2004.
2. Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Интернет-ресурс по вибросейсмическому мониторингу. Современное состояние и перспективы развития. // Горный информационно-аналитический бюллетень, Отдельный выпуск, 2009, Кузбасс 3, Том II.
3. Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Управление данными вибросейсмического мониторинга. // Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Сб. материалов междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2007» Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2007.
4. Scientific Data Management in the Coming Decade, J. Gray, D.T. Liu, M. Nieto-Santisteban, A. Szalay, D. DeWitt and G. Heber // SIGMOD Record, Vol. 34, No. 4, Dec. 2005.
5. Григорюк А.П., Брагинская Л.П. Опыт веб-картографирования на основе сервиса Google Maps // Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия. Сб. материалов междунар. науч. конгресса «ГЕО-Сибирь-2008» Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2008.

УДК 528.854.4

П.А. Калантаев, В.П. Пяткин

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

WEB-СЕМАНТИЧЕСКАЯ СЕНСОРНАЯ СЕТЬ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

В статье представлен проект исследовательской сенсорной сети мониторинга окружающей среды. Для исследования выбрана типичная архитектура сенсорной сети «клиент – сервер – шлюз – сенсор». В проекте применен подход совместного моделирования элементов сенсорных сетей и предметной области мониторинга при помощи технологий Web-семантических баз данных.

P.A. Kalantaev, V.P. Pyatkin

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Science, prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

WEB-SEMANTIC THE SENSOR NETWORK OF MONITORING OF ENVIRONMENT

In article the project of a research touch network of monitoring of environment is presented. For research the typical architecture of sensor network «client -server – gateway -sensor» is chosen. In the project the approach of joint modelling of elements of sensor networks and a subject domain of monitoring by means of technologies of Web-semantic databases is applied.

1. Введение

Сегодня технология беспроводных сенсорных сетей (WSN – Wireless Sensor Network – “сенсорнет”) – единственная сетевая технология, решающая задачи мониторинга окружающей среды, критичные к времени работы датчиков. Объединенные в беспроводную сенсорную сеть датчики образуют территориально-распределенную самоорганизующуюся систему сбора, обработки и передачи информации. Основной областью применения является контроль и мониторинг измеряемых параметров физических сред и объектов окружающей среды. Область покрытия подобной сети может составлять от нескольких метров до нескольких десятков километров за счет способности ретрансляции сообщений от одного элемента к другому. Корпорация Intel к названию технологии сенсорных сетей прибавляет латинское *ad hoc*, что означает “для данной цели”, “по ситуации”. То есть, датчики организуются в “*ad hoc*”-сети для выполнения какой-либо задачи, после чего “логически распадаются” до лучших времен, превращаясь в беспорядочный набор чипов.

Вычислительные возможности сети растут в зависимости от числа ее участников. Увеличивается и полоса пропускания данных (если датчики соединяются не последовательно, а каждый-с-каждым, по так называемой “ячеистой топологии”). Несмотря на малую вычислительную мощность каждого отдельного датчика (который, по сути, является маленьким компьютером), все вместе эти устройства становятся мощным вычислительным комплексом – таким же, как любая распределенная сеть. С ростом числа участников “сенсорнета”, некоторые из них действуют как шлюзы или маршрутизаторы, собирающие информацию у своих соседей и переправляющие ее дальше по цепи или передают считывателю (если он оказывается в пределах их досягаемости). Последний, в свою очередь, передает данные более мощному родительскому компьютеру. Таким образом, вся конструкция, состоящая из датчиков-микрокомпьютеров, маршрутизаторов, считывателей и большой машины, становится крайне эффективной. Наполнение окружающей среды гетерогенными (т. е. способными работать в разных средах и взаимодействовать с различными приборами) сенсорами приведет к формированию полноценной PAN (Personal area network) – “сети персонального пространства”. Все персонально используемые приборы (телефон, компьютер, фото-, аудио-, видео-аппаратура...), начнут прозрачно для человека взаимодействовать и самостоятельно шлюзоваться с внешним миром, например, с модемом или иным устройством входа в сенсорную сеть и (или) интернет. Что значительно повысит информовооруженность исследователя окружающей среды.

2. Архитектура сенсорной сети мониторинга окружающей среды

Для исследования выбрана типичная архитектура сенсорной сети «клиент – сервер – шлюз – сенсор», подобная архитектуре сети, представленной в работе [1]. Состав системы и функции, выполняемые каждым компонентом, описаны табл. 1.

Таблица 1 Архитектура сенсорной сети «клиент – сервер – шлюз – сенсор»

Компонент	Функция
Модуль-сенсор (включает один или несколько датчиков)	производит измерения параметров среды; производит частичную обработку (если требуется); обеспечивает двустороннюю цифровую связь с внешним миром; отрабатывает команды по изменению режима измерений (переход в сон).
Блок связи с модулем-сенсором (шлюз)	обеспечивает двухстороннюю цифровую радиосвязь с модулями-сенсорами; обеспечивает сохранение всех полученных от модуля данных «как есть», без семантики и интерпретации этих данных; передает полученные данные всем авторизованным подписчикам сервиса; ретранслирует модулю-сенсору команды управления, полученные от авторизованных подписчиков сервиса; предоставляет по запросу данные, полученные ранее от модуля-сенсора.
Сервер эксперимента	собирает данные с одного или нескольких блоков связи и обеспечивает сохранение и формирование семантики всех полученных данных; выдает сохраненные данные по запросу с рабочих мест исследователей.
Рабочее место исследователя	предоставляет графический интерфейс пользователя для управления системой; обеспечивает отображение, частичную обработку (семантики в том числе) и сохранение для детальной обработки экспериментальных данных, собранных модулями-сенсорами.
XML - протокол интерфейса между компонентами	обеспечивает универсальность и гибкость ПО управления сенсорной сетью, а также сжатие трафика с использованием априорной информации.

3. Описание функционирования системы

Алгоритм работы системы представлен на рис. 2. схемой функционирования сенсорной сети.

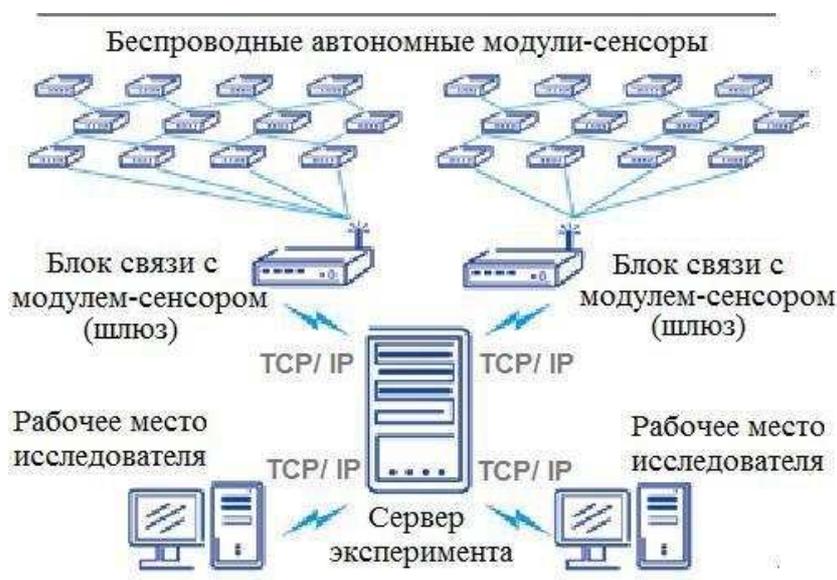


Рис. 2. Схема функционирования сенсорной сети

Описание функционирования системы:

- Система опрашивает доступные шлюзы сети и определяет для них количество и тип устройств, с которыми есть связь;

- Для каждого найденного сенсора в семантической базе данных отыскивается его описание – параметры и ссылка на исполняемый код обработки данных с этого сенсора;

- Если данный частный тип сенсора не требует собственного кода обработки или код недоступен, будет использован код от более общего типа сенсоров (суперкласса), включающего данный подтип;

- По параметрам сенсоров, описанным в семантической базе данных, генерируется интерфейс пользователя, позволяющий настраивать эти параметры. При этом параметры также могут быть типизированы, что позволяет настраивать их в соответствии с их смыслом (например, контролировать граничные значения в соответствии с текущими значениями параметров внешней среды – температуры, влажности, освещенности и т. д.).

4. Семантическая база данных моделирования сенсорной сети

При разработке управляющей системы сенсорных сетей мониторинга окружающей среды предполагается множество различных типов модулей, отличающихся используемыми сенсорами и режимами работы. Сенсорные сети, с точки зрения области применения, являются частным случаем стандартизированных сетей мониторинга и контроля со сформировавшимися стандартами. В этих стандартах сенсоры разделяются на классы с возможностью для управляющей программы управлять сенсором, зная только его класс, независимо от производителя и деталей реализации. В проекте применен подход моделирования элементов сенсорных сетей при помощи технологий Web-семантических (Symantec Web) баз данных [2]. В рамках этого подхода метамодель предметной области сенсорной сети включает в себя такие понятия, как устройство, сенсор устройства, конфигурируемые параметры сенсора и модуля. Web-семантические базы данных дают возможности совершенствования и описания на языке RDF [2] как модели, так и метамодели предметной области, при сохранении совместимости снизу вверх. Язык RDF (Resource Description Framework – модель описания метаданных) позволяет описывать не только предметную область сенсорной сети, но и прикладные предметные области (например, природных ресурсов). При этом программное обеспечение опирается на обобщенную (абстрактную) модель предметной области, расширяемую в модели описаниями допустимого набора сущностей конкретной области и их взаимодействий.

5. Состояние проектирования сенсорной сети

На текущем этапе проекта разрабатывается: 1) на языке RDF модель Web-семантической базы данных по управлению сенсорной сетью окружающей среды, 2) на языке Java модуль-имитатор сенсорной сети на Web-сервере, 3) интерфейс пользователя для управления параметрами устройств сети. На следующем этапе проекта разработанное ПО планируется адаптировать к сенсорной сети мониторинга состояния городских лесов.

6. Заключение

Результатом проекта будет новая сетевая технология поддержки широкого спектра фундаментальных исследований окружающей среды, основанная на интеграции возможностей распределенной обработки данных в среде Интернет и технологии сенсорных сетей. Ключевым компонентом подобных систем должен явиться мобильный или стационарный сенсорный модуль, обеспечивающий беспроводную передачу данных от объекта исследования. Телеметрическая система позволяет получать первичную информацию об объектах внешней среды без внесения в эксперимент приборных погрешностей. Подобная система поставляет управленческую информацию о текущем и прогнозируемом состоянии природной среды и экологии с целью принятия решений по предотвращению катастроф и катаклизмов, что, собственно, и является основной задачей экспериментальных исследований.

Работа выполнена частично при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 10-07-00131-а.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чечендаев А.В., Бодунов Н.В., Игнатъева С.А., Медведев О.С., Пытев С.А., Сухомлин В.А., Ступаченко А.В., Шашурин Д.А.. Опыт разработки имплантируемой биотелеметрической системы мониторинга лабораторных животных. // В сборнике докладов 1-й научно-практической конференции "Современные информационные технологии и ИТ-образование", – М.: МАКС Пресс, 2005. – С. 638–647.

2. Калантаев П.А., Семантическая организация пространственных данных. // В сборнике трудов Международной Конференции "ИНТЕРКАРТО – ИНТЕРГИС 11 Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт" 25 сент.-3 окт. 2005 г., Ставрополь-Домбай-Будапешт, изд-во СГУ, 2005. – С. 92–96.

3. Бучнев А.А., Калантаев П.А., Пяткин В.П., Интернет технологии в обработке данных дистанционного зондирования Земли // Труды Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2006", 24-28 апреля 2006, Новосибирск, Россия, т. 3, ч. 1. "Мониторинг окружающей среды, геоэкология, дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия", с. 43–51.

4. Калантаев П.А., Функции семантической обработки данных космического мониторинга. // Труды Международного научного конгресса "ГЕО-Сибирь-2007", 25-27 апреля 2007, Новосибирск, Россия, т. 3 "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология", С. 162–165.

© П.А. Калантаев, В.П. Пяткин, 2010

УДК 551.89

С.П. Казьмин, О.В. Климов

СибНИГМИ, Новосибирск

ПРИРОДНЫЕ СОБЫТИЯ В ПОЗДНЕМ НЕОПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ КАК ПРЕДПОСЫЛКИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛАНДШАФТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Современные ландшафты представляют собой исторические природные объекты. На основании анализа строения рельефа и рельефообразующих отложений выделены пять типов геолого-геоморфологической основы ландшафтов Сургутского района, обладающих определёнными общими свойствами.

S.P. Kazmin, O.V. Klimov

Siberian Regional Research Hydrometeorological Institute, Novosibirsk

NATURAL EVENTS IN LATE NEOPLEISTOCENE AND HOLOCENE AS PRECONDITIONS OF RATIONAL USE OF LANDSCAPES OF THE CENTRAL PART OF WESTERN SIBERIA

Modern landscapes represent historical natural objects. On the basis of the analysis of a structure of a relief and relief-forming deposits it is selected five types geologo-geomorphological the basis of landscapes of the Surgutskogo district, possessing with the certain general properties.

Исследования, полученные в результате совмещения дистанционного зондирования земной поверхности и необходимого комплекса полевых работ, позволили не только охарактеризовать природную обстановку правобережной части Сургутского района в позднем неоплейстоцене и голоцене, но и установить последовательность природных процессов и динамики климата всей центральной части Западной Сибири для рассматриваемого интервала времени. Среди многочисленных палеогеографических схем были приняты взгляды достижений ледниковой теории за последние годы.

Особенности природной среды, геологической истории, морфологии и возраста рельефа, а также слагающих его отложений позволяют подразделить территорию правобережной части Сургутского района на главные, наиболее крупные районы. Каждый из них следует рассматривать как самостоятельный тип геолого-геоморфологической основы ландшафтов (ГГОЛ). При общем уклоне поверхности к югу каждый из выделенных типов занимает последовательно всё менее значительные высотное положение и протягивается в виде полосы в субширотном направлении. Такое строение поверхности отражает ход процессов осадконакопления и связанных, с ними форм рельефа

на территории от Сибирских Увалов на севере до долины широтного отрезка Оби на юге. Всего выделено пять основных типов ГГОЛ (рис. 1).

Первый тип ГГОЛ образует северная, наиболее возвышенная часть Сургутского района. Она входит в пределы водораздельной гряды, пересекающей в широтном направлении Западную Сибирь от Оби до Енисея. Южнее этой гряды расположены реки водосборного бассейна широтного отрезка Оби, а севернее – Карского моря.

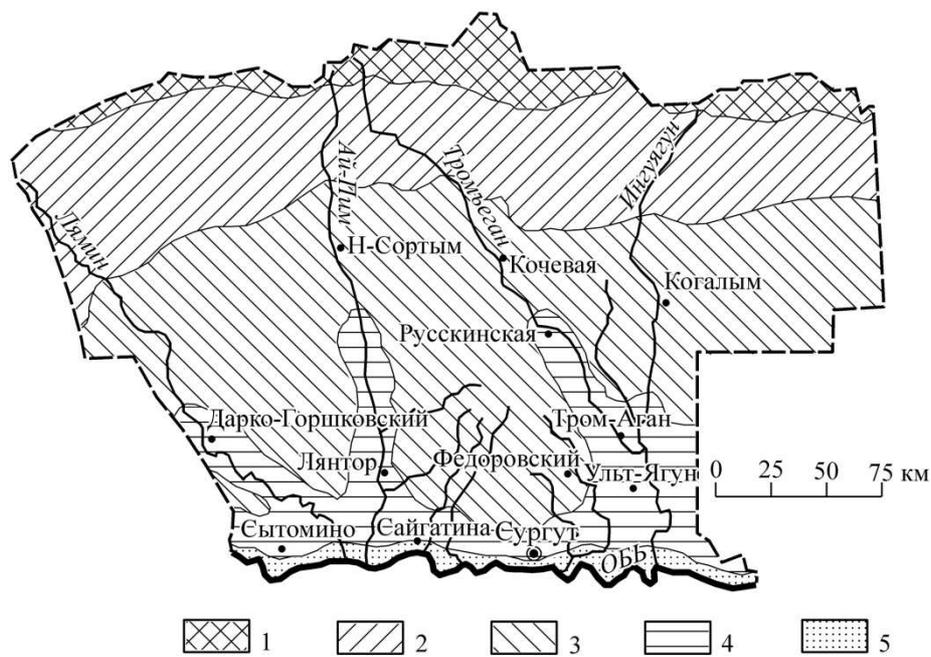


Рис. 1. Типы геолого-геоморфологической основы ландшафтов правобережной (северной) части Сургутского района (номера усл. обозн. соответствуют типам ГГОЛ, описанным в тексте)

В пределы Сургутского района входят южный склон Сибирских Увалов и отчасти их гребневая часть. В генетическом отношении Сибирские Увалы представляют собой краевую полосу конечных гляциальных образований последнего континентального оледенения, сформированной 20–17 т.л.н.

Рельеф здесь имеет сложное строение и представлен главным образом аккумулятивными образованиями ледникового генезиса, имеющими повсюду весьма высокую степень сохранности. Среди них выделяются относительно повышенные водораздельные участки, в пределах которых поверхность достигает высот порядка 150 м. Максимальные высоты имеет водораздельная поверхность в северо-западной части района. С ней берут начало многочисленные долины верховьев Ай-Пима. Возвышена также часть гряды на северо-востоке. За пределами таких возвышенных участков преобладают высоты 140–150 м, неравномерно понижающиеся на юг до отметок 140–135 м.

Среди гляциального рельефа преобладают образования неподвижного льда. Это участки мелкобугристого рельефа на валунных суглинках и в особенности поля пологоволнистой супесчано-суглинистой абляционной морены. Весьма широко распространены также и резко возвышающиеся на 10–15 м над прилегающей местностью камы, сложенные в нижней части разреза озёрно-

ледниковыми, а в верхней – флювиогляциальными песчаными осадками. Переходы между формами рельефа разной морфологии часто бывают постепенными без резких границ. Мелкие водотоки преимущественно слабо разработаны и имеют различную относительную глубину. Кроме поймы обычно нет ясно выраженных террас. Чаще всего дно долины непосредственно переходит в междуречье.

Второй тип ГГОЛ формирует территория, непосредственно примыкающая с юга к гляциальной гряде Сибирских Увалов. Северная граница этой местности пространственно совпадает с древней береговой линией ледниково-подпрудного (Мансийского) озера, которое при максимальном уровне около 125–130 м ограничивало с юга гляциальную гряду. Территория является северной частью слабо наклонной к югу территории между Сибирскими Увалами и широтным отрезком долины Оби и обладает максимальными уклонами этой поверхности. Южная граница рассматриваемой полосы условно расположена на высотах 100 м. Она связана с постепенным изменением морфологии мелких форм рельефа.

Во время максимума последнего оледенения и несколько позже эта полоса местности представляла собой прибрежную мелководную часть дна озёрного бассейна, уровень которого испытывал существенные колебания, но в целом постепенно снижался. Этот процесс сочетался с зарождением и развитием сети мелких неглубоко врезанных долин. Первичная плоская озёрная поверхность по мере понижения уровня озера испытывала также процессы эоловой переработки, криогенеза, термокарста и перемыва мелкими потоками. Это отразилось главным образом в формировании маломощного слоя субэральных осадков, термокарстовых неровностей и ложбин стока, а также торфа. В целом плоская поверхность приобрела сложный своеобразный озёрно-эрозионный рельеф, сохранившийся до настоящего времени. Он отличен от расчленения иных участков местности и отчётливо отражён на аэро- и космоснимках. Междуречные пространства слабо расчленены озёрами и соединяющими их мелкими протоками. Большинство озёр имеют круглые очертания и в поперечнике не превышают нескольких сотен метров или 1–2 км. Встречаются и более крупные озёра в поперечнике до несколько километров. Сверху между озёрами и их протоками почти всюду залегает торф. Выходы преимущественно супесчаных осадков встречаются редко, главным образом по берегам озёр значительных размеров и на склонах некоторых долин.

Сеть долин, расчленяющих междуречные пространства, представлена в основном мелкими и неглубоко врезанными понижениями, ширина которых в верховьях редко превосходит несколько сотен метров. Эти эрозионные понижения находятся лишь в начальной стадии развития. Об этом свидетельствует и слабая разработка дна долин. Обычно оно представлено лишь одной поймой с редкими участками первой террасы.

Третий тип ГГОЛ занимает в пределах правобережной части Сургутского района максимальную площадь и характеризуется постепенным снижением высот плоских междуречий от 100 до 65 м, однозначным уклоном и общим возрастанием роли эрозионных форм рельефа в южном направлении.

История формирования рассматриваемого типа чётко подразделяется на два этапа: раннего субаквального и позднего субаэрального. Ранний период связан с существованием ледниково-подпрудного озёрного бассейна и отражает в общих чертах строение междуречных пространств. Тогда возникла единая плоская поверхность дна приледникового бассейна с пологими уклонами на юг к долине Оби. После исчезновения приледникового озера значительное время в условиях многолетней мерзлоты и процессов криогенеза сохранялась тундра. Особенности мезо- и микрорельефа возникли во время субаэрального этапа развития территории. При резком потеплении и аридизации климата широкое распространение получили эоловые процессы, в результате которого образовался покров эоловых, преимущественно супесчаных осадков. Заключительным этапом формирования ГГОЛ явилось заболачивание и развитие гидросети в условиях обильного стока времени образования первой террасы Оби и её притоков, а позже поймы в условиях умеренного стока по обильности близкого к современному. Обрисованная история становления ГГОЛ выявлена главным образом в результате дистанционного зондирования земной поверхности и ограниченных полевых наблюдений.

На междуречных пространствах преобладает биогенная поверхность. Обычно мощность торфа здесь составляет 2–3 м. Распространено множество слабо врезанных понижений, занятых озёрами и соединяющими их протоками. Наряду с небольшими озёрами широко развиты и крупные до нескольких километров в поперечнике. Количество и размеры их возрастают в южном направлении. Вблизи южной границы рассматриваемого типа такие крупные озёра нередко преобладают, а их суммарная территория приближается по площади к межозёрным пространствам. В краевых участках междуречий межозёрные протоки постепенно обращаются в верховья мелких долин.

Эрозионная сеть представлена значительными местными и крупными транзитными долинами, осложнёнными большим количеством мелких местных притоков. Реки основных долин обычно меандрируют среди поймы значительной ширины. Существенна площадь и первой террасы, обычно слабо возвышающейся над поймой. Врез дна водоток превосходит 10 м, а местами приближается и к 15 м, особенно в южной части территории рассматриваемого типа.

Четвёртый тип ГГОЛ охватывает южную часть древней озёрной равнины, примыкающей к долине Оби. Плоские междуречья здесь чередуются значительно расчленёнными участками, занятыми эрозионным рельефом. Он представлен низовьями основных долин крупных рек, правых притоков Оби и впадающих в эти реки местных мелких долин, образующих сети притоков второго порядка.

Центральные участки междуречных пространств сложены с поверхности заболоченными торфяными болотами, осложнёнными неглубокими, но преимущественно обширными по площади котловинами, занятыми озёрами.

Поверхность рассматриваемого типа расчленена долинами основных притоков Оби и мелкими местными речками, образующими эрозионный, в основном дренированный рельеф. В своих низовьях водотоки испытывают

воздействия сезонных колебаний уровня Оби, которые влияют на динамику эрозионных процессов.

Пятый тип ГГОЛ расположен в пределах северной части долины Оби. Его граница повсюду совпадает с внешним уступом поверхности первой террасы Оби, включая также пойму и протоки этой реки. На дне долины Оби в районе её широтного отрезка почти повсюду видны криогенные нарушения. Большая часть морозобойных клиньев залегает гипсометрически ниже уровня маловодья Оби, на абсолютных отметках порядка 10–15 м. Следовательно, уже позже окончательного спада вод Мансийского озера в центральной части Западной Сибири максимальный уровень половодьев Оби оставался ниже современного её маловодья. Климат был холоднее современного, и существовала многолетняя мерзлота. Сток, вероятно, был слабым.

В отношении дальнейшего изменения климата позднеледниковья исключительное значение имеют данные по геологическому строению дна долины Оби в районе Сургу́та. Здесь в береговых обрывах протоки Чухтинской обнажена толща эоловых супесей мощностью 8–10 м. Она накапливалась одновременно с быстрым вытаяванием льда в нижележащих морозобойных клиньях. Сверху эта толща ничем не перекрыта. Это было очень резкое потепление, последовавшее за периодом холодного климата и существования многолетней мерзлоты в центральных районах Западной Сибири.

В целом, ГГОЛ правобережной части Сургутского района крайне молодая. Она образовалась на протяжении последних 20–17-ти тысяч лет, т. е. в конце позднего неоплейстоцена и в голоцене. Выявлены следующие основные природные события.

1. Позже образования гляциальной гряды Сибирских Увалов произошёл полный спад вод Мансийского приледникового озера от максимального уровня 125–130 м.

2. Некоторое время сохранялся субэра́льный режим в условиях холодного климата и многолетней мерзлоты даже на дне долины Оби гипсометрически ниже её современного маловодья, т. е. от высот порядка 15 м.

3. Резкое потепление и аридизация климата, полное или почти полное прекращение стока по Оби. Окончательная деградация многолетней мерзлоты, накопление эоловых алевритов на дне долины Оби и в иных регионах.

4. Обильный сток по Оби и иным долинам Западной Сибири в условиях тёплого и влажного климата. Формирование регионально развитой первой террасы в конце позднеледниковья.

5. Установление в голоцене климата близкого к современному, умеренный сток рек. Широкое развитие биогенных отложений и образование пойменного аллювия в речных долинах.

Следует отметить, что предотвращение отрицательного антропогенного влияния на природную среду возможно только на базе полного изучения ГГОЛ. Это даёт оценить характер техногенной нагрузки на природные ландшафты, обосновать мероприятия по рациональному природопользованию.

© С.П. Казьмин, О.В. Климов, 2010

УДК 519.652

П.А. Ким

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ГЕНЕРАЦИЯ ПРОФИЛЕЙ МАСШТАБИРУЕМОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА

Рассмотрена задача генерации профилей вертикальных разрезов масштабируемой модели земного рельефа, являющейся интегральной гладкой аппроксимацией ступенчатой модели рельефа, определяемой дискретным множеством опорных точек, в которых задается усредненная высота ступенек, проекции которых задают разбиение-покрытие опорной горизонтальной плоскости. Искомые функции образуются полидугами, частным случаем которых являются известные полилинии. Для генерации фрагментов полидуг разработан аппарат площадных геометрических преобразований, сохраняющих площадь, естественно реализуемый в матричной среде ОКМД-процессоров. Представлен оригинальный алгоритм для перспективных суперкомпьютеров векторной или матричной архитектуры, разработанный в лаборатории Обработки изображений ИВМиМГ СО РАН. Массовые перемещения элементов разметки осуществляются в геометрии 6 или 8-соседства. Работа частично поддержана грантом РФФИ 10-07-00131.

P.A. Kim

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
6, prospect Akademika Lavrentjeva, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

PROFILES GENERATION IN THE SCALED MODEL OF RELIEF

The profiles generating problem is considered. The profiles are vertical sectional views of scaled model of the earth relief being integral smooth approximation of stepwise model of a relief, determined by discrete set of reference points with average altitude for plateaus which projections set cover splitting on the reference horizontal plane. Required functions are formed by polyarcs, which particular case is known as polylines. For generation of polyarc's fragments the special technique is developed. There is the geometrical transformations keeping the area constantly and naturally oriented on the matrix environment of SIMD-PROCESSORS. Mass movings of elements is implemented in geometry of the 6 or 8-neighbourhood.

Космическая съемка является неотъемлемой частью современных технологий исследования Земли. Охват больших территорий осуществляется оптической аппаратурой. В обработке снимков необходимо скорректировать изображение, с учетом ракурса съемки с тем, чтобы привести его к картографическому стандарту. В аэрофотосъемке подобный процесс относится к этапу ортотрансформирования. Достижение большей точности и

информативности изображения будет получаться, если учитывать также и рельеф снимаемой местности. Индивидуальность рельефа, исключая разработку универсальных механизмов, в настоящее время, когда уже проведены измерения высот большей части земной поверхности, не должна служить помехой для этого процесса. Однако геометрический рост объема информации, при масштабной детализации рельефа и недостаточная адекватность используемых моделей аппроксимации реального земного рельефа по дискретному множеству высот не позволяет приблизиться к практическому решению этой задачи. Одним из перспективных направлений исследования моделей земного рельефа является его функциональная аппроксимация, неприменимая в горных областях, где поверхность рельефа, может иметь отрицательный угол наклона. Разрабатываемая в ИВММГ СО РАН масштабируемая модель рельефа, будучи в достаточной степени оригинальной, связана с классическими уравнениями Лапласа и Пуассона. Исследование этой связи представляется самостоятельной перспективной математической задачей, возможным следствием решения которой могут быть новые способы численного решения этих уравнений. При построении масштабируемой модели рельефа под *масштабируемостью* понималась возможность целенаправленно и безконфликтно уточнять особенности рельефа при изменении масштаба его визуализации на устройствах отображения. Масштабируемая модель $f(x, y)$ строится на основе ступенчатой модели рельефа, задаваемая высотами ступенек над участками разбиения. Когда поверхность задана уравнением $z = f(x, y)$, то площадь поверхности вычисляется по формуле
$$S = \iint_G \sqrt{(f'_x)^2 + (f'_y)^2 + 1} dx dy.$$

здесь G – проекция поверхности S на плоскость xOy . Искомой поверхностью выберем решение, имеющее минимальную площадь всей поверхности, и удовлетворяющее граничным условиям по границе области. При этом на каждом участке разбиения должно сохраняться равенство объема над участком разбиения «*объему соответствующей ступеньки*». То есть, для каждого участка выполнено $(\forall i) \iint_{G_i} f(x, y) dx dy = S_{G_i} \times h_{G_i}$ где, S_{G_i} - площадь соответствующего участка, а h_{G_i} – усредненное значение высоты для данного участка. Также и интеграл по всей территории, должен равняться сумме объемов конечного числа разбиений. при минимальности площади обтягивающей поверхности.

$$\iint_G f(x, y) dx dy = \sum_i S_{G_i} \times h_{G_i}$$

Искомая функция выбирается по минимальной площади поверхности из класса/семейства непрерывных функций, у которых объем (или интеграл по элементу разбиения равен объему соответствующей ступеньки.

Если рассмотреть вертикальный срез масштабируемой модели рельефа, то приходим к двумерной модели, в которой, в отличие от классической задачи интерполяции дискретного множества значений $\langle x_1, \bar{f}(x_1) \rangle, \dots, \langle x_n, \bar{f}(x_n) \rangle$ некоторой функции многочленами, рядами Фурье, и т. д. решением объявляется функция,

обладающая минимальной длиной ее огибающей $L = \int_{x_1}^{x_n} \sqrt{(f')^2 + 1} dx$, сохраняющей

площадь $S = \int_{x_1}^{x_n} f(x) dx$, равной сумме площадей ступенек. Особо отметим, что при интегральной аппроксимации допускается несовпадение значений функции со значениями высот в опорных точках: $\forall i \{(\bar{f}(x_i) \neq f(x_i)) \text{ or } (\bar{f}(x_i) = f(x_i))\}$.

В работе [1] установлено, что для плоского случая искомая функция масштабируемой модели рельефа представляется полидугой – последовательностью гладко состыкованных дуг окружностей различных радиусов и выпуклостей/вогнутостей. Если, в частности, отрезок рассматривается как дуга окружности бесконечного радиуса, а точка сочленения отрезков, как окружность нулевого радиуса, то полидуга оказывается расширением понятия полилиния – последовательности примыкающих друг к другу отрезков.

Для последовательностей

$$\langle a_1, a_2, a_3, \dots \rangle$$
$$\langle S_1, S_2, S_3, \dots \rangle$$

где верхняя строчка задает последовательность примыкающих отрезков а вторая, нижняя строчка, задает площади прямоугольников над этими отрезками. Отыскиваемым решением является последовательность высот $\langle h_0, h_1, h_2, h_3, \dots \rangle$, задающих высоты на границах отрезков a_i и обеспечивающих построение последовательности дуг, окружностей, так, что в для функции рельефа в виде полидуги, первая производная непрерывна. Иначе, говоря в точках сопряжения касательная общая, как для левой, так и для правой дуги.

Космогонические теории создания вселенной предполагают, что звезды и планеты образовались в результате слипания частиц протоматерии – результата первоначального взрыва. Моделирование этого процесса производится на самых мощных суперкомпьютерах с привлечением различных физических моделей. В интересах нашей задачи существенной характеристикой рассматриваемого процесса является «шарообразность» получаемых образований. Рассмотрим задачу моделирования несжимаемого «жидкого» слипания частиц, естественно распараллеливающуюся на суперкомпьютерах векторной архитектуры. Для простоты мы будем рассматривать плоскую модель на равномерной дискретной квадратной сетке, помеченные клетки, которой моделируют элементарные частицы. Если предположить некоторое случайное размещение частиц, которые в дальнейшем устремляются к некоторому центру, то конечный результат должен быть получен в виде круга с суммарной площадью всех частиц. Однако поэтапное преобразование общей картины таким образом получить не удастся.

Если же на перемещения частиц наложить некоторые ограничения, то конечным результатом будут фрагменты круга. На рис. 1 представлен вариант ограничений позволяющие получать фрагменты круга разных форм, основным свойством которого является равенство их площадей, требуемое для построения масштабируемой модели рельефа. В представленном эксперименте точки

движутся к центру, расположенному внизу-справа. Ограничивая их перемещение в горизонтальном и вертикальном направлениях, мы получаем фрагмент круга, фиксированной площади.

Вогнутый фрагмент рельефа получается инвертированием задачи слипания (рис. 2), когда частицы разбегаются от выделенного центра, но пространство их перемещения ограничивается некоторыми условиями.

В этом случае центр от которого удаляются точки располагается вверху-слева. Особенностью алгоритма является его локальность. Точки перемещаются к указанному центру, если у них есть незанятая клетка, расположенная ближе, либо дальше от центра. Поскольку все точки считаются от единственного центра, то операция может быть исполнена независимо

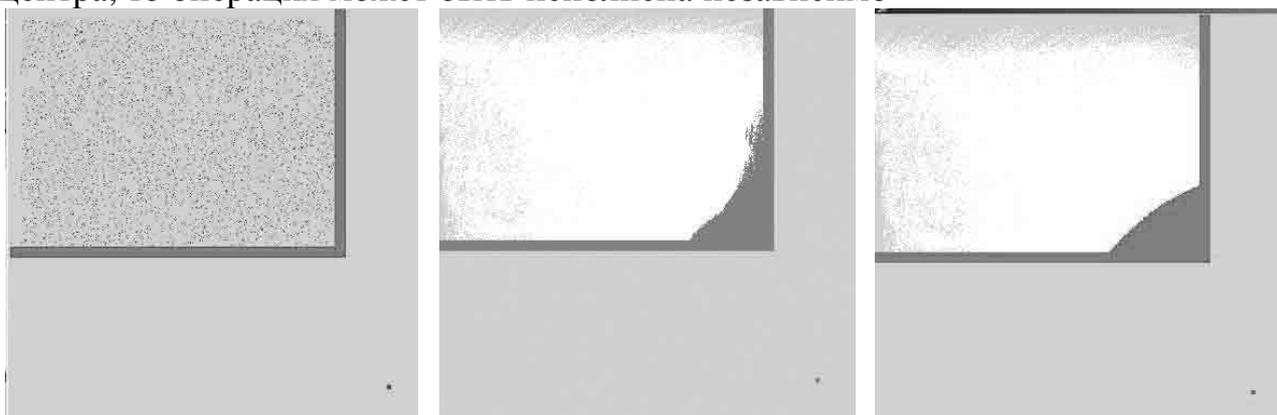


Рис. 1. Выпуклый фрагмент дуги

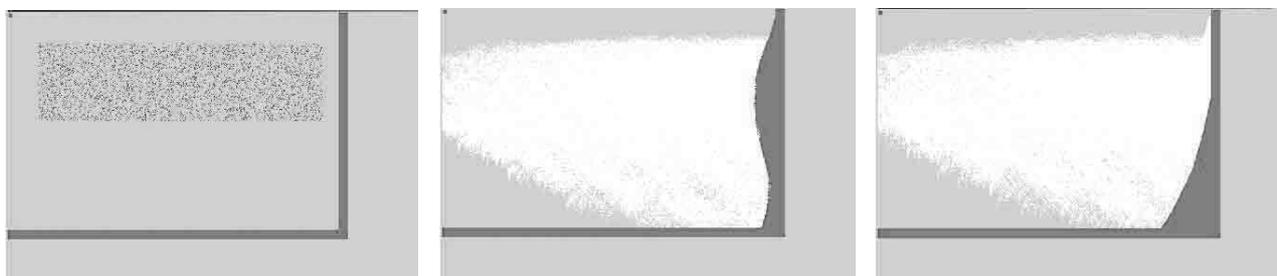


Рис. 2. Вогнутый фрагмент дуги

Продвигаясь к выделенной пункту (x_0, y_0) возможно параллельно [3] для всех точек вычислить декартово расстояние $\rho = \sqrt{(x_j - x_0)^2 + (y_j - y_0)^2}$. Таким же образом, массовой операцией сравнения выделить те точки, свободные соседние клетки которых расположены ближе к выбранной точке. Трудности, возникающие с неопределенностью ближайшей точки в геометрии 8-соседства можно избежать перейдя к геометрии 6-соседства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ким П.А. Полидуга как элемент конструирования профилей масштабируемой модели рельефа. // Труды Международного научного конгресса «ГЕО-Сибирь-2007», 25–27 апреля 2007, Новосибирск, Россия, т. 3 «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология», с. 188–192.

2. Ким П.А. Порождение геометрических объектов итерационным способом. Труды 15 Международной конференции по компьютерной графике и ее приложениям ГрафиКон"2005. 20-24 июня 2005 года Россия Новосибирск Академгородок, ИВМиМГ СО РАН стр. 216-223

3. Shooman W. "Parallel Computing with Vertical Data". Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, Winter Session, 1960.

4. Kim P.A., Pyatkin V.P., Rusin E.V. Three Massively Parallel Algorithms for Solving Computational Geometry Problems by Using Euclidean Distance Transform // Pattern Recognition and Image Analysis. - 2004. - Vol. 14, No. 2. - P. 267–275.

© П.А. Ким, 2010

УДК 519.6:532.5

В.В. Кравченко

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ЧИСЛЕННАЯ МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ВИХРЯ НА ОСНОВЕ СМЕШАННЫХ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

После применения расщепления по физическим процессам и по времени и метода конечных элементов к двумерному нелинейному уравнению вихря получена схема с двумя этапами расщепления. После расщепления по физическим процессам для построения сеточных уравнений используются различные виды конечных носителей. Тестовые расчеты проводились как для общей задачи, так и для этапов расщепления в отдельности, что показало их работоспособность.

V.V. Kravtchenko

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
6 Akademika Lavrentjeva prospect, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

METHOD OF SOLVING 2D NONLINEAR VORTICITY EQUATION ON BASE OF A MIXED FINITE ELEMENT METHOD

Based on the splitting in terms of physical processes and with respect to time and on a finite element method (FEM) as applied to a 2D nonlinear vorticity equation, a scheme with two splitting steps was obtained. For constructing FEM operators at the steps of splitting in terms of physical processes, different types of finite elements are used. The efficiency of the scheme was tested on each splitting step separately as well as on the problem as a whole.

Задача о нахождении плоской нестационарной циркуляции является одной из типичных задач динамики океана. Эта начально-краевая задача описывается двумерным нелинейным уравнением вихря. В данной работе представлена схема для её решения, для построения которой используется расщепление в комбинации с методом конечных элементов (МКЭ). При этом расщепление проводится на различных этапах построения численной модели и включает в себя как расщепление по физическим процессам, позволяющее провести линеаризацию исходной задачи, так и дальнейшее расщепление по времени одного из полученных сеточных операторов. После расщепления по физическим процессам для построения сеточных уравнений используются различные виды конечных носителей, вследствие чего удастся значительно сократить сеточный шаблон при переходе от одной характеристики к другой на этапах расщепления.

Перейдём к постановке задачи. В области $Q = \Omega \times (0, T)$ рассмотрим двумерное нелинейное уравнение вихря, записанное в терминах функции тока, с определёнными начальными и граничными условиями. В безразмерном виде имеем [1]:

$$\Delta \Psi_t + \delta J(\Delta \Psi, \Psi) + \beta \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \varepsilon \Delta \Psi - \mu \Delta \Delta \Psi = f, \quad (x, y, t) \in Q;$$

$$\Psi(x, y, 0) = \Psi^0(x, y); \quad \Psi|_{\partial \Omega} = 0; \quad \Delta \Psi|_{\partial \Omega} = 0. \quad (1)$$

Здесь Ω – ограниченная односвязная область пространства R^2 с границей $\partial \Omega \in C^2$, $\beta = 1$, $\delta, \varepsilon, \mu \geq \gamma_1$, $\delta, \varepsilon, \mu \leq \gamma_2$, $\gamma_1, \gamma_2 > 0$; $\Psi^0(x, y) \in C^2(\Omega)$,

$$f = f(x, y, t) \in L_2(\Omega) \times C^0((0, T]); \quad J(u, v) = \begin{vmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} & \frac{\partial v}{\partial x} \\ \frac{\partial u}{\partial y} & \frac{\partial v}{\partial y} \end{vmatrix} - \text{якобиан.}$$

В терминах вихря $\zeta = \Delta \Psi$ уравнение (1) можно переписать в виде:

$$\zeta_t + \delta J(\zeta, \Psi) + \beta \frac{\partial \Psi}{\partial x} + \varepsilon \zeta - \mu \Delta \zeta = f, \quad \Delta \Psi = \zeta, \quad (x, y, t) \in Q; \quad (2)$$

$$\zeta(x, y, 0) = \Delta \Psi^0(x, y); \quad \Psi|_{\partial \Omega} = 0; \quad \zeta|_{\partial \Omega} = 0.$$

Введём разбиение по T с шагом τ . Согласно методу слабой аппроксимации, задачу (2) будем решать с помощью расщепления по физическим процессам [2]:

– $t \in [t_n, t_{n+1}]$:

$$\Delta(\Psi_1)_t + \varepsilon \Delta \Psi_1 + \beta \frac{\partial \Psi_1}{\partial x} = f;$$

$$\Delta \Psi_1|_{t=t_n} = \zeta_2|_{t=t_n}; \quad \Psi_1|_{\partial \Omega} = 0; \quad (3)$$

– $t \in [t_n, t_{n+1}]$

$$(\zeta_2)_t + \delta J(\zeta_2, \Psi_1^{n+1}) - \mu \Delta \zeta_2 = 0;$$

$$\zeta_2|_{t=t_n} = \Delta \Psi_1|_{t=t_{n+1}}; \quad \zeta_2|_{\partial \Omega} = 0; \quad (4)$$

$$n = 0, \dots, N_t - 1.$$

Здесь первый этап является решением линейного уравнения для функции тока, а второй описывает адвекцию-диффузию вихря.

Для определения приближённого решения задач (3), (4) наложим на область Ω прямоугольную сетку. Затем прямоугольники сетки триангулируются диагоналями переменного направления. Рассмотрим конечные элементы двух типов:

1. ω_{pq}^k – кусочно-линейные функции, определённые значениями в вершинах треугольников так, что

$$\omega_{pq}^k(x_k, y_l) = \begin{cases} 1, & \text{если } (k, l) = (p, q); \\ 0, & \text{если } (k, l) \neq (p, q); \end{cases}$$

здесь (x_k, y_l) – вершина некоторого треугольника сетки;

2. ω_{ij}^h – неконформные элементы – кусочно-линейные функции, определённые значениями в серединах сторон треугольников так, что

$$\omega_{ij}^h(x_k, y_l) = \begin{cases} 1, & \text{если } (k, l) = (i, j); \\ 0, & \text{если } (k, l) \neq (i, j); \end{cases}$$

здесь (x_k, y_l) – середина стороны некоторого треугольника. Элементы такого вида были предложены ранее Крузей и Равьяр [3] для решения уравнения Стокса.

Построенные описанным выше способом функции обладают некоторыми важными свойствами: функции $\omega_{ij}^h(x, y)$ ортогональны, а каждый конформный элемент ω_{ij}^k является полусуммой неконформных, его окружающих.

Возьмём за приближённое значение функции тока – комбинацию конформных конечных элементов, а за приближённое значение вихря – комбинацию неконформных.

$$\Psi_1 \approx \psi^{N^k} = \sum_{(p,q) \in N^k} \psi_{pq} \omega_{pq}^k(x, y), \quad \zeta_2 \approx \varphi^{N^h} = \sum_{(i,j) \in N^h} \varphi_{ij}(t) \omega_{ij}^h(x, y), \quad (5)$$

где N^h – множество узлов сетки, образованное серединами сторон треугольников, а N^k – их вершинами; $\varphi_{ij}(t)$, ψ_{pq} – весовые множители, которые нужно определить.

После дискретизации первого этапа (3) по времени и применения метода Галёркина получаем систему линейных уравнений, которая затем решается итерационным методом.

После слабой постановки задачи для второго этапа (4), перед применением метода Бубнова-Галёркина, в силу наличия разрывов на границах носителей у функций $\omega_{ij}^h(x, y)$, вводится приближённая билинейная форма. В результате получаем систему дифференциальных уравнений, оператор которой положительно определён и представим в виде суммы двух трёхточечных одномерных положительно-полуопределённых операторов. В силу этого разложения возможно применение метода расщепления по времени и для решения применяется двуциклический метод расщепления по времени. В отличие от традиционного покоординатного расщепления в данном случае прогонки производятся по ломаным линиям, соединяющим узлы сетки. Это подход, по-видимому, еще не был использован в теории расщепления. Ранее, для конформных элементов, использовалось разбиение, по крайней мере, на три оператора, включающие диагональные направления [4]. Подробно решение

подобной задачи, как и дополнительные выгоды и некоторые сложности применения неконформных конечных элементов, разобрано в [5].

Тестовые расчеты проводились как для общей задачи, так и для этапов расщепления в отдельности, что показало их работоспособность. Остановимся на одном из них. Это задача, имеющая физический смысл, заключающаяся в поиске решения, учитывающего реальные параметры, в том числе и наличие пограничного слоя, – задача на установление при постоянно действующей силе $f = 0.1$. Рассмотрено два варианта начальных данных: нулевое значение и

решение задачи Стоммела $\varepsilon \Delta \Psi + \beta \frac{\partial \Psi}{\partial x} = f \sin\left(\frac{\pi y}{b}\right)$. Так как оба варианта при

одинаковых параметрах имели различия лишь в форме получающейся функции в начале процесса, а к моменту $T = 500$ давали решение одного вида с явной тенденцией к установлению, то решено было ниже привести только первый из них.

Результаты теста: относительная погрешность

$$\varepsilon_{\text{ит}} = \frac{\max_{(i,j) \in N^e} |(\psi_{ij})^{N_r-1} - (\psi_{ij})^{N_r}|}{\max_{(i,j) \in N^e} |(\psi_{ij})^{N_r}|}, \quad \text{максимум приближённого решения}$$

$MAX = \max_{(i,j) \in N^e} |(\psi_{ij})^{N_r}|$ и его вид – даны для следующих параметров: $\delta = 10^{-3}$, $\varepsilon = 10^{-2}$, $\mu = 10^{-4}$, фиксированного шага по времени τ (см. табл. 1 и рис. 1).

Из приведённых данных можно судить о сходимости метода, в эту пользу говорит и то, что при различных шагах по времени в определённый момент T вид получаемых приближённых решений совпадал, за исключением, возможно, небольших различий в максимуме функции. Также стоит заметить, что вид получаемого решения вполне соответствует существующим на настоящее время результатам по этой задаче.

Таблица 1 Скорость установления и максимум приближённого решения в зависимости от числа временных шагов N_t

$[N_x \times N_y \times N_t]$	$\varepsilon_{\text{отн}}$	MAX
$[100 \times 100 \times 10]$	$9,98 \cdot 10^{-2}$	$1,97 \cdot 10^{-3}$
$[100 \times 100 \times 100]$	$9,87 \cdot 10^{-3}$	$1,928 \cdot 10^{-2}$
$[100 \times 100 \times 1000]$	$6,3 \cdot 10^{-4}$	0,122
$[100 \times 100 \times 10000]$	$7,1 \cdot 10^{-6}$	$9,39 \cdot 10^{-2}$
$[100 \times 100 \times 100000]$	$6,21 \cdot 10^{-8}$	$9,35 \cdot 10^{-2}$

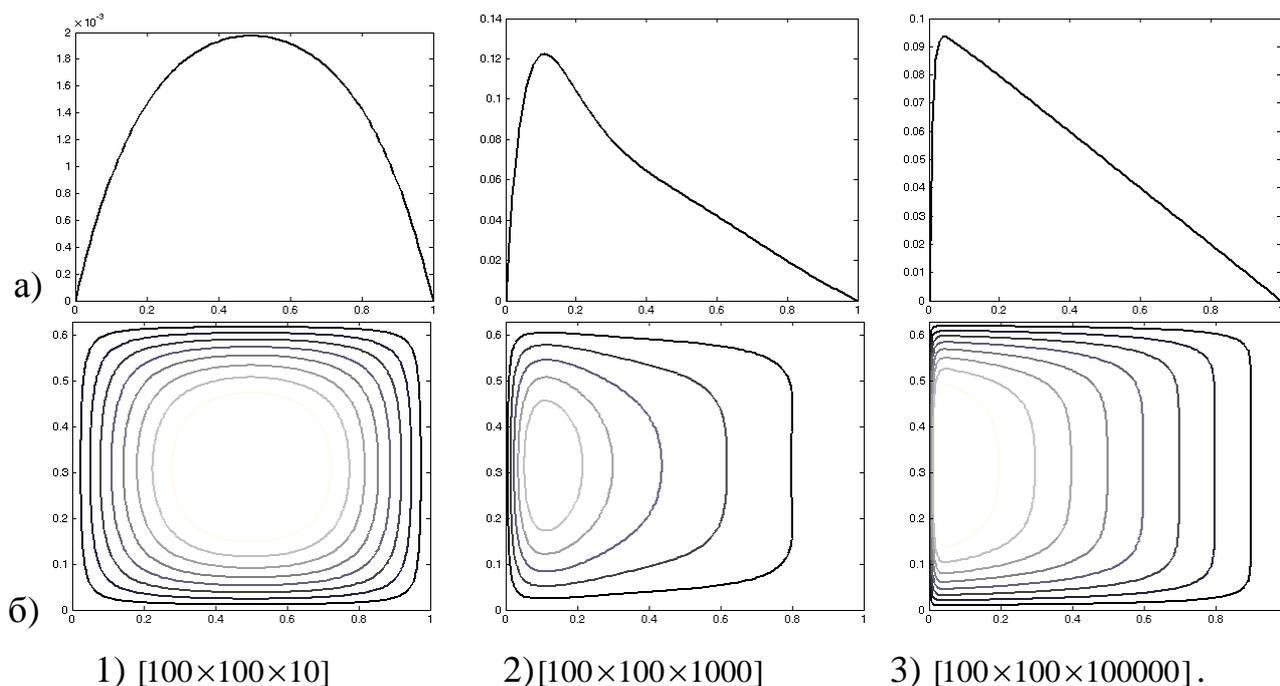


Рис. 1. Вид приближённого решения в зависимости от количества временных шагов $[100 \times 100 \times N_t]$. а) срез вдоль x при $y = \frac{b}{2}$; б) изолинии

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №08-05-00708

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бернье, К., Залесный, В. Б. Сравнение численных алгоритмов решения одномерного нелинейного уравнения вихря [Текст] / К. Бернье, В.Б. Залесный // Океанология. – 1996. – № 5. – С. 704–713.
2. Марчук, Г.И. Методы расщепления [Текст] / Г.И. Марчук. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 264 с.
3. Crouzeix, M., Raviart, P.A. Conforming and non-conforming finite element methods for solving the stationary Stokes equations [Текст] / M. Crouzeix, P.A. Raviart // R.A.I.R.O., Model. Math. Anal. Numer. – 1973. Vol. 7. – P. 33–76.
4. Кузин, В.И. Метод конечных элементов в моделировании океанических процессов [Текст] / В.И. Кузин – Новосибирск: Изд. ВЦ СО АН СССР, 1985.
5. Кузин В.И., Кравченко В.В. Применение неконформных конечных элементов для решения задач диффузии-адвекции [Текст] / В.И. Кузин, В.В. Кравченко // Сиб. журн. вычисл. математики / РАН. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 2010. – Т. 13. – № 1. – С. 51–65.

© В.В. Кравченко, 2010

УДК 551.465+519.63

В.В. Малахова

ИВМ и МГ, Новосибирск

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗОНЫ СТАБИЛЬНОСТИ ПОДДОННЫХ МЕТАНГИДРАТОВ В ПЕРИОД ЛЕДНИКОВО-МЕЖЛЕДНИКОВОГО ЦИКЛА

Анализ ледяных кернов говорит о том, что повышение температуры и рост концентрации метана и диоксида углерода в атмосфере шли в ту эпоху параллельно друг другу. В данной работе на основе трехмерной квазигеострофической модели термогидродинамики Мирового океана оценивается количество метана, которое могло поступить в атмосферу в результате разложения газогидратов в конце последнего ледникового периода 20 тысяч лет назад.

V.V. Malakhova

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS,
prospect Akademika Lavrentjeva, 6, Novosibirsk, 630090, Russia

NUMERICAL MODELLING OF SUBBOTTOM METHANEHYDRATES STABILITY ZONE DURING the last glacial cycle

The observed synchronicity between temperature and methane concentrations from Greenland and Antarctica ice cores has raised the question of the role of methane in glacial–interglacial climate change. The three-dimensional mathematical climatic model of the ocean is used for the quantitative evaluation of the scale of a possible methane flux into the atmosphere from the decomposed subbottom methanehydrates. Two different equilibrium states were used as reference climates; the first state with observed Levitus ocean data and the second state with last glacial maximum forcing conditions.

Газовые гидраты – твердые кристаллические соединения газа и воды, образующиеся при определенных термобарических условиях, в которых молекулы газа (обычно метана) размещаются внутри молекул воды. Природные газовые гидраты – это такой компонент геосферы, который может серьезно влиять на климат и экологическую ситуацию за счет неконтролируемых выбросов и утечек большого количества метана в атмосферу [1]. По различным оценкам [2] возможный выход метана в атмосферу из залежей газогидратов с учетом их термодинамического равновесия составляет 5–200 млн.т/год.

Рост концентрации метана в атмосфере вызывает немалое беспокойство. За последние два столетия она возросла в два раза, в то время как углекислого газа – только на четверть. Среднее содержание метана в современной атмосфере оценивается как 1,8 ppm (parts per million, частей на миллион) [2].

По результатам исследования керна, геофизическим и другим данным на акваториях морей и океанов было выделено свыше 100 районов распространения газовых гидратов в поддонных отложениях. Глобальное присутствие газогидратов метана в поддонных областях Мирового океана и в вечной мерзлоте, [3], и результаты исследования пузырьков воздуха из ледяных кернов Гренландии и Антарктиды [4], натолкнули ряд исследователей на гипотезу о доминирующем влиянии разложения газогидратов метана на изменение климата Земли и, в частности, на завершение последнего ледникового периода [5].

Анализ ледяных кернов говорит о том, что повышение температуры и рост концентрации метана и диоксида углерода в атмосфере шли в ту эпоху параллельно друг другу. Это первое прямое доказательство взаимосвязи содержания парниковых газов в атмосфере и изменений климата на протяжении всего климатического цикла, [4]. В течение всего времени, доступного для изучения по кернам полярных льдов, отмечены значительные колебания концентрации метана. Так резкие изменения концентрации метана приходятся на оба ледниково-межледниковых перехода: 150–135 тыс. и 18–9 тыс. лет назад, рис. 1. В эти периоды она резко возрастала (от 0,35 ppm в разгар оледенения до 0,6–0,7 ppm в межледниковые периоды) [4].

Подобная корреляция изменений температуры и содержания парниковых газов на протяжении всего ледниково-межледникового цикла, очевидно, свидетельствует о наличии причинно-следственной связи. К сожалению, точность таких определений недостаточна для установления последовательности событий: что возникло раньше – повышение температуры, вызвавшее разложение газогидратов, или наоборот. Многие специалисты, [6] считают причиной изменения концентрации метана и углекислого газа.

Наблюдаемые изменения концентраций парниковых газов в прошлом и в современную эпоху могут являться не причиной, а прямым следствием температурных изменений, [7, 8]. Например, даже небольшое повышение средней температуры поверхностного слоя океана приводит к эмиссии огромного объема диоксида углерода за счет изменения его растворимости в морской воде. Одновременно возможен резкий выброс в атмосферу гигантских количеств метана за счет теплового разложения неустойчивых газовых гидратов

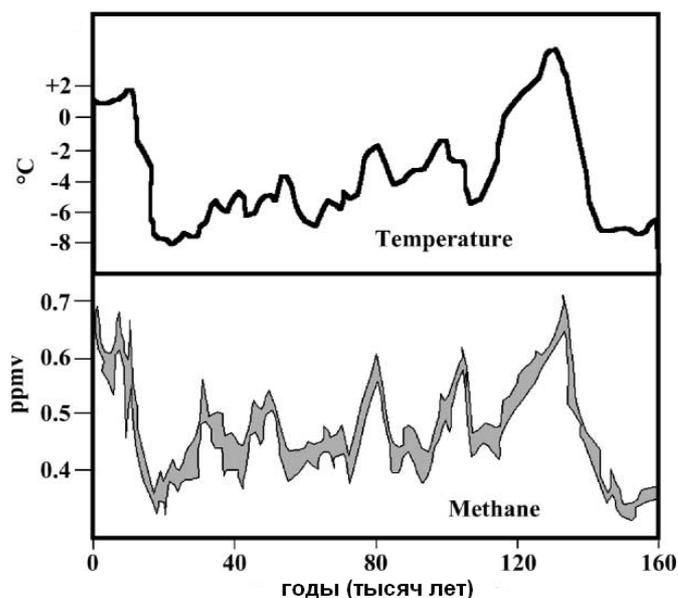


Рис. 1. Изменения температуры атмосферы и атмосферного метана в прошлом по результатам исследования ледяного керна [5]

на морском шельфе и на суше. А сильная положительная обратная связь, реализуемая через механизм парникового эффекта, может многократно усиливать даже небольшие температурные колебания, вызванные любой из возможных причин. Оценки возможного поступления метана в атмосферу в периоды ледниково-межледникового цикла различны. Так, по результатам моделирования получено, что 1 500–2 700 Гт метана могло поступить в атмосферу в результате разложения газогидратов 120 тысяч лет назад и порядка 800 Гт – 55.5 тысяч лет [9].

В данной работе на основе трехмерной квазигеострофической модели термогидродинамики океана оценивается количество метана, которое могло поступить в атмосферу в результате разложения газогидратов в конце последнего ледникового периода 20 тысяч лет назад. Используемая квазигеострофическая численная модель климата Мирового океана, включающей сезонную изменчивость, с учетом реальной топографии дна и Арктического бассейна, подробно описана в работе [10].

Было проведено два численных эксперимента. Начиная с горизонтально однородной температуры и солености под действием заданных сезонно изменяющихся на поверхности океана температуры, солености из атласа Левитуса, и напряжений трения ветра было рассчитано термохалинное состояние Мирового океана в первом эксперименте – «Climat». Климатического состояния, которое было получено в результате интегрирования глобальной геострофической модели до установления на срок 5 000 лет, рис. 2,а.

Во втором эксперименте («Paleo-Climat»), в граничных условиях на поверхности океана задаются зимние и летние значения температуры и солености поверхности океана из палеоклиматических данных [11]. Предполагается, что если температура в поверхностной расчетной точке опускается ниже -2° , то в этой точке появляется ледяной покров и температура поверхностной воды фиксируется на величине -2° и напряжения трения ветра обнуляются. Климатического состояния, также было получено в результате интегрирования глобальной геострофической модели до установления на срок 5 000 лет, рис. 2,б.

Далее, для каждой точки широтно-долготной сетки было рассчитано климатическое поле тепла в донном осадочном слое толщиной 1 000 м, для обоих экспериментов. Океанская модель дополняется одномерной термической моделью донного осадочного слоя [12].

Для оценки масштаба дестабилизации метангидратов важным является модельный параметр глубина залегания гидрата. Пространственное распределение газогидратов метана и глубина их залегания в осадочном слое океана моделируется с учетом геотермического градиента и пористости осадочного слоя океанского дна. Предполагается, что метангидраты существуют в осадочном слое всюду, где выполняются термобарические условия их существования, которые рассчитываются по формуле $T_{stab}^{-1} = 3.79 \times 10^{-3} - 2.83 \times 10^{-4} \lg p_{stab}$, где T_{stab} и p_{stab} температура и давление стабильности газогидратов [13]. Кривая равновесных условий

гидратообразования метана накладывается на линию естественного распределения температур и давлений в исследуемой области. По точкам пересечения этих двух линий определяются верхняя и нижняя границы зоны стабильности газогидрата и, следовательно, ее толщина Δz .

Толщина газогидратной зоны сильно зависит от вертикального температурного градиента в осадках, который задается различным для 22 регионов океана, от $30^\circ\text{C}/\text{км}$ до $87^\circ\text{C}/\text{км}$. Мы принимаем простое уменьшение пористости (P) с поддонной глубиной по экспоненте, полученное из эмпирических данных. Гидратонасыщенность отложений (H), т. е. процент порового пространства, занятого газогидратами, была принята равной 50 % порового пространства непосредственно у подошвы зоны стабильности и плавно уменьшающейся до нуля в направлении морского дна [14]. В результате получено распределение глубины залегания метангидратов от 20 до 320 м в осадочном слое под океанским дном [15].

Общее количество метана, которое может быть заключено в поддонных метангидратах определяем по следующей формуле $V = \Delta z \times S \times P \times H \times C$, [14]. Здесь Δz и S вычисленные толщина и площадь зоны стабильности, P и H – пористость и гидратонасыщенность, C – объемный множитель, показывающий содержание метана в 1 м^3 газогидрата.

Оценки потенциального объема метана, содержащегося в зоне стабильности газогидрата, были получены для обоих экспериментов. Результаты математического моделирования показывают, что количество метана, которое может быть заключено в газогидратах дна океана в условиях современного климата, составило $13,77 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$, что сопоставимо с оценками, полученными в работах [1, 3]. Тогда как в условиях моделирования с использованием палеоклиматических данных получено $14,74 \cdot 10^{15} \text{ м}^3$ метана, что на $970 \cdot 10^{12} \text{ м}^3$ или на $696 \cdot 10^3 \text{ Мт}$ превышает содержание метана, в первом эксперименте. При этом увеличение объема метана произошло в основном в высоких широтах обоих полушарий на глубине океана порядка 500–1 000 метров, табл. 1.

Итак, в результате математического моделирования получено, что порядка 700 Гт метана могло поступить в атмосферу в результате разложения газогидратов в период конца последнего ледникового периода, от 20 тысяч лет назад до настоящего времени. Если бы реализация соответствующего объема метана происходила равномерно на протяжении последних 20 тысяч лет, это было бы эквивалентно потоку метана в атмосферу порядка 35 Тг/год.

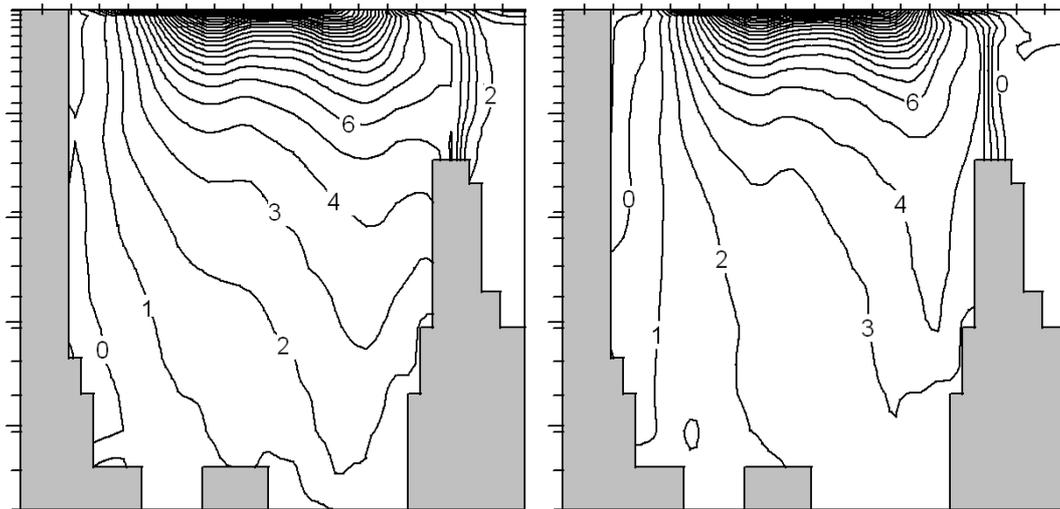


Рис. 2. Зонально-средняя температура в Мировом океане в градусах: а – полученная в эксперименте – «Climat», б – полученная в эксперименте – «Paleo-Climat»

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Kvenvolden K.A. Potential effects of gas hydrate on human welfare [Текст] / К.А. Kvenvolden // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. – 1999. – Vol. 96. – P. 3420–3426.
2. Адушкин В.В. Соотношение антропогенной и природной составляющей в потоке газов в атмосферу [Текст] / В.В.Адушкин, С.П. Соловьев, С.Б. Турунтаев // Глобальные изменения природной среды – 2001. – Новосибирск. – Из-во СОРАН. – 2001. – С.249–265.
3. Ginsburg G.D. Worldwide distribution of subaquatic gas hydrates [Текст] / G.D. Ginsburg, K.A. Kvenvolden, V.A. Soloviev // Geo-Marine Letters. – 1993. – V. 13. – P. 32–40.
4. Котляков В.М. Четыре климатических цикла по данным ледяного керна из глубокой скважины «Восток» в Антарктиде [Текст] / В.М. Котляков // Изв. РАН. Сер. Геогр. – 2000. – № 1. – С. 7–19.
5. Judd A.G. The geological methane budget at Continental Margins and its influence on climate change [Текст] / A.G. Judd, M. Hovland, L. I. Dimitrov, G.Garcia and V. Jukes // Geofluids. – 2002. – V. 2. – P. 109–126.
6. Kennett J. Carbon isotopic evidence for methane hydrate instability during Quaternary interstadials [Текст] / J. Kennett, K.G. Cannariato, I.L. Hendy, R.J. Behl // Science. – 2000. – № 288. – P. 128–133.
7. Maslin M.A Balancing the deglacial global carbon budget: the hydrate factor [Текст] / М.А Maslin, Е. Thomas // Quaternary Science Reviews. – 2003. – No. 22. – P. 1729–1736.
8. Малахова В.В. Моделирование разложения поддонных метангидратов в результате климатических изменений с масштабом несколько тысяч лет [Текст] / В.В. Малахова, А.В. Щербаков // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Том 21. – № 6. – С. 540–545.
9. Glasby G.P. Potential impact on climate of the exploitation of methane hydrate deposits offshore [Текст] / G.P. Glasby // Marine and Petroleum Geology. – 2003. – V. 20. – P. 163–175.

10. Щербаков А.В. Численное моделирование глобального климата океана [Текст] / А.В. Щербаков, В.В. Малахова // Новосибирск: Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2008. – 159 с.
11. Paul A. Modeling the water masses of the Atlantic Ocean at the Last Glacial Maximum [Текст] / A. Paul, C. Schafer-Neth // *Paleoceanography*. – 2003. – Vol. 18. – № 3. – 1058 doi: 10.1029/2002PA000783.
12. Щербаков А.В. Моделирование пространственного распределения метангидратов Мирового океана и потока метана в атмосферу [Текст] / А.В. Щербаков, В.В. Малахова // *Оптика атмосферы и океана*. – 2006. – Т. 19. – № 6. – С. 530–535.
13. Mienert J. Changes of the Hydrate Stability zone of the Norwegian margin from glacial to interglacial times [Текст] / J. Mienert, K. Andreassen // *Annals of the New York Academy of Science / Gas Hydrates challenges for the future* – 2000. – V. 912. – P. 200–210.
14. Hyndman R.D. A mechanism for the formation of methane hydrate and seafloor bottom-simulating reflectors by vertical fluid expulsion [Текст] / R.D. Hyndman, E.E. Davis // *J. Geophys. Res.* – 1992. – V. 97 – P. 7025–7041.
15. Соловьев В.А. Природные газовые гидраты как потенциальное полезное ископаемое [Текст] / В.А. Соловьев // *Рос. Хим. Журнал*. – 2003. – Vol. XLVII. – № 3. – С. 59–69.

© В.В. Малахова, 2010

УДК 551.511.61

В.Ф. Рапута, В.В. Коковкин, С.Ю. Артамонова,

С.Н. Богатырёв, Т.Г. Опенко, Г.И. Симонова, М.И. Воевода

ИВМиМГ СО РАН, ИНХ СО РАН, ИГиМ СО РАН, ИТ СО РАМН, Новосибирск

СОСТОЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ДИНАМИКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗДОРОВЬЯ НАСЕЛЕНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ НОВОСИБИРСКОГО ОЛОВОКОМБИНАТА

Обсуждается полидисперсная модель реконструкции полей аэрозольных выпадений от точечного источника. Апробация модели проведена на данных натурных исследований загрязнения почвенного, растительного и снежного покрова в зоне влияния выбросов Новосибирского оловокомбината (НОК). Для различных секторов выноса примесей приведены результаты исследований показателей здоровья населения в окрестностях НОК. Изучена динамика показателей смертности от разных причин и заболеваемости злокачественными новообразованиями.

V.F. Raputa, V.V. Kokovkin, S.Yu. Artamonova,

S.N. Bogatirev, T.G. Openko, G.I. Simonova, M.I. Voevoda

ICM&MG SB RAS, NIIC SB RAS, IG&M SB RAS, IT SB RAMS, Novosibirsk

CONTAMINATION CONDITION AND POPULATION HEALTH FEATURES DYNAMICS FOR NOVOSIBIRSK TIN PLANT ENVIRONS

Aerosol deposition fields reconstruction polydisperse model for point type source is discussed. Model testing was performed using the data of soil, plant and snow cover contamination experimental investigation for the Novosibirsk tin plant (NTP) emission influence area. For a variety of impurities transfer sectors, the results of health indicators investigation in the NTP environs are given. Mortality features dynamics from various causes and incidence of malignant neoplasms was studied.

1. *Характеристика источника и результаты экспериментальных исследований.* Комбинат находится на левом берегу р. Обь в промзоне Кировского района г. Новосибирска. Деятельность предприятия направлена на производство товарного олова, сплавов, припоев и бабитов на его основе. Токсичными веществами, выделяющимися в воздушную среду во взвешенном состоянии при производстве олова, являются мышьяк, свинец, цинк, окислы серы. Выброс в атмосферу загрязняющих веществ с промплощадки НОК происходит в основном через стометровую трубу с диаметром устья 3,7 м. Скорость выхода из трубы газопылевой смеси может достигать 5–6 м/с, а температура 80–90 °С.

Отбор проб почвы, листового и снежного покрова проводился по радиальным относительно трубы маршрутам. С учетом наибольшей повторяемости ветров южных направлений основное количество точек пробоотбора располагалось к северу от промплощадки. Точки отбора проб размещались на удалениях от трубы – 0,4 до 3 км. Это позволило при оценивании полей концентрации выделить ближнюю и дальнюю зону аэрозольных выпадений при значительной дифференциации частиц по дисперсному составу.

Химический анализ проб проводили методами атомной эмиссии с дуговым возбуждением спектров и атомно-абсорбционной спектроскопии после соответствующей пробоподготовки.

2. *Модель оценивания аэрозольных выпадений полидисперсной примеси.* Предварительный анализ полученных экспериментальных данных наблюдений аэрозольных выпадений примесей в окрестностях НОК показывает, что изменение их концентраций по мере удаления от трубы является весьма значительным. Это позволяет сделать предположение о значительной разнородности состава выпадающих аэрозолей. Для априорного описания распределения вещества примеси по скоростям оседания w в атмосфере воспользуемся следующей двухпараметрической функцией [1]

$$N(w) = \frac{a^{m+1}}{\Gamma(m+1)} w^m e^{-aw}, \quad m \geq -1, \quad a = \frac{m}{w_m}, \quad (1)$$

где параметр w_m характеризует скорость преобладающей по количеству частиц фракции примеси, m – степень однородности распределения частиц примеси по скоростям w , $\Gamma(m)$ – гамма-функция Эйлера.

Исходным моментом для расчета поля выпадений полидисперсной примеси от точечного источника является соотношение [1]

$$p = \int_0^{\infty} w q_w N(w) dw, \quad (2)$$

где q_w – поле концентрации примеси со скоростью оседания w .

С использованием аналитических решений уравнения турбулентной диффузии для невысоких источников поле концентрации q_w вблизи земли можно представить в виде [2]

$$q_w(x, y) = \frac{M c^\omega}{2(1+n)\sqrt{\pi k_0} \Gamma(1+\omega) x^{1.5+\omega}} \exp\left(-\frac{c}{x} - \frac{y^2}{4k_0 x}\right). \quad (3)$$

Здесь ось x ориентирована в направлении ветра, ось y направлена в поперечном ветру направлении, M, H – мощность и высота источника примеси, k_0 - параметр турбулентного обмена в направлении оси y ,

$$c = \frac{u_1 H^{1+n}}{(1+n)^2 k_1}, \quad \omega = \frac{w}{k_1(1+n)}, \quad u_1, k_1, n \quad - \quad \text{параметры степенных}$$

аппроксимаций скорости ветра и вертикального турбулентного обмена.

С учётом соотношений (1), (3) выражение (2) можно представить в виде

$$p(x, y, \bar{\theta}) = \frac{\theta_1}{x^{1.5}} \exp\left(-\frac{c}{x} - \frac{y^2}{4k_0x}\right) \int_0^{\infty} \frac{\omega^{\theta_2} \exp(-\theta_3\omega)}{\Gamma(1+\omega)} \left(\frac{c}{x}\right)^{\omega} d\omega, \quad (4)$$

где $\theta_1 = \frac{M R^{m+2}}{(1+n)a \Gamma(1+m)}$, $\theta_2 = m+1$, $\theta_3 = R$.

Оценка неизвестных параметров θ_1 , θ_2 , θ_3 , входящих в соотношение (4), проводится методом наименьших квадратов с использованием данных измерений плотности выпадений примеси в точках отбора проб снега, растительности, почвы.

3. Численная реконструкция полей выпадений мышьяка и олова. На рис. 1 изображены восстановленные на основе зависимости (4) концентрации мышьяка и олова в различных средах.

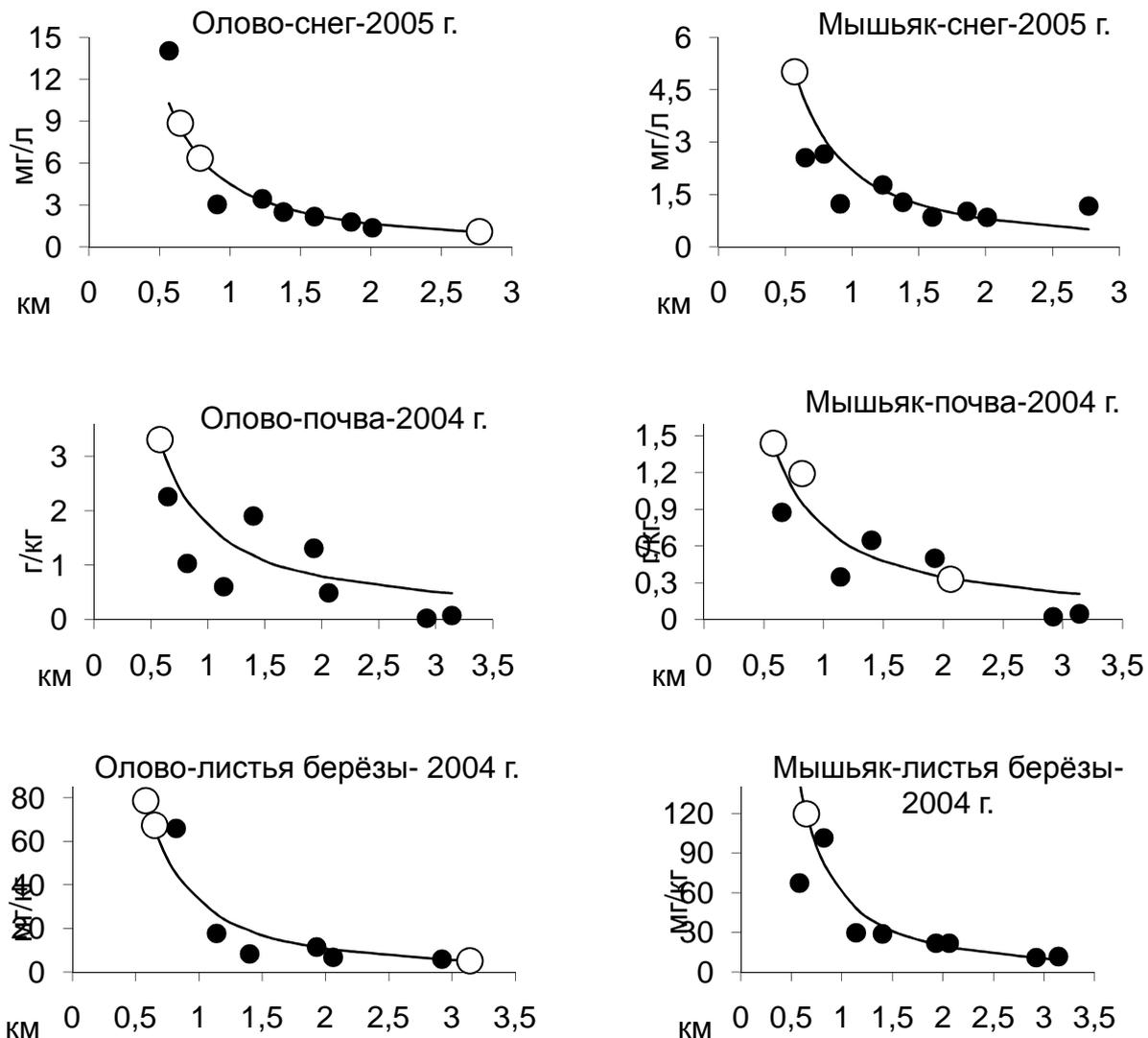


Рис. 1. Восстановленные поля концентраций олова и мышьяка в снеге, почве, листьях березы с использованием полидисперсной модели на маршруте пробоотбора. \circ – опорные точки, \bullet – контрольные точки наблюдений, — — рассчитанная концентрация

Анализ рис. 1 показывает, что предложенная модель вполне адекватно описывает поля аэрозольных загрязнений мышьяком и оловом снежного, растительного и почвенного покрова в окрестностях НОК. Спектр размеров частиц, содержащих мышьяк и олово, является достаточно широким, что приводит к относительно высокому загрязнению территории, как непосредственно прилегающей к промплощадке, так и на значительном удалении от нее. Использование дополнительной априорной информации о возможном спектре размеров аэрозольных частиц позволяет восстанавливать в рамках единой модели оценивания поля концентрации в значительном диапазоне расстояний от источника.

4. *Анализ показателей заболеваемости и смертности населения по секторам выноса примесей от НОК.* Для проведения исследования показателей здоровья населения в окрестностях НОК было рассмотрено три сектора выноса от источника загрязняющих примесей, весьма заметно отличающихся среднегодовой повторяемостью направлений ветра. В сектор I включена частная жилая зона за Бугринской рощей, II – девятиэтажные дома по ул. Мира № 59, 59/1, 59/2, III – ул. Аникина и Оловозаводская. В этих зонах за период времени 1988–2008 гг. была изучена динамика показателей смертности от разных причин (рис. 2).

Для решения задачи получения информации о заболеваемости и смертности от основных хронических неинфекционных заболеваний с учетом особенностей полей доз изучаемых неблагоприятных антропогенных факторов использовались популяционный регистр общей смертности и регистр злокачественных новообразований. Для стандартизации показателей, нивелирующей половозрастные различия и обеспечивающей сопоставимость результатов с аналогичными показателями других регионов, используется прямой метод стандартизации. Расчет относительных коэффициентов смертности проводится с учетом демографической структуры населения районов действия регистра, составленных на основании данных переписи населения.

Для расчета стандартизованных коэффициентов смертности и заболеваемости использован прямой метод стандартизации, в качестве стандарта взята половозрастная структура населения РФ по данным переписи 2002 г. Полученные данные по Новосибирску анализировались за 5-летние временные отрезки 1985–1989 гг., 1990–1994 гг., 1995–1999 гг., 2000–2005 гг., а также в целом за 1985–2007 гг.

Коэффициенты общей смертности и смертности от ССЗ в III зоне, представленной в основном жителями ул. Оловозаводской, были статистически значимо ниже, чем в I зоне, представленной жителями «частного сектора» в районе между Бугринской рощей и ул. Тульской. Коэффициенты смертности от ЗНО в популяции III зоны, представленной в основном жителями ул. Оловозаводской, были статистически значимо ниже, чем в I зоне, представленной жителями «частного сектора» в районе между Бугринской рощей и ул. Тульской только у мужчин. У женщин в сравниваемых зонах не обнаружено значимых различий в коэффициентах смертности от ЗНО.

Выявленные особенности показателей смертности в изучаемых зонах, по-видимому, обусловлены преобладанием такого фактора, как повторяемость направлений ветров, в направлении I зоны. Особо следует отметить высокую частоту заболеваемости лейкозами и лимфомами среди женщин II и III зоны по сравнению с Новосибирском. В связи с этим необходимо проведение как дополнительных химико-аналитических исследований, так и численного моделирования процессов распространения тяжёлых газов от трубы НОК.

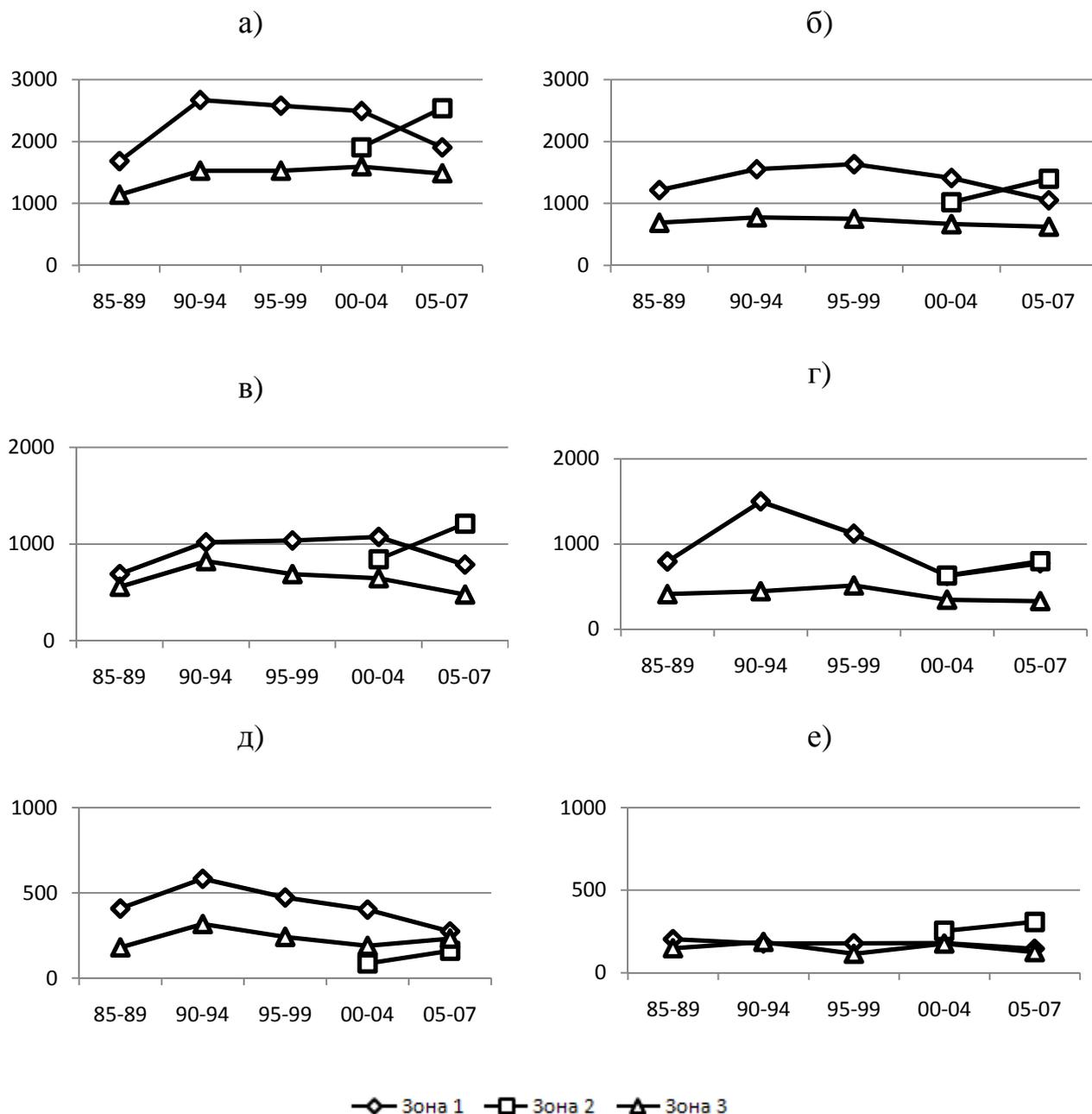


Рис. 2. Коэффициенты смертности в зонах загрязнения оловокомбината, на 100 000, Российский демографический стандарт: общая – у мужчин (а), у женщин (б); от сердечно-сосудистых заболеваний – у мужчин (в), у женщин (г); от злокачественных новообразований – у мужчин (д), у женщин (е)

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16.4, ИП СО РАН № 84.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Прессман, А.Я. О распространении в атмосфере тяжёлой неоднородной примеси из мгновенного точечного источника / А.Я. Прессман // Инженерно-физич. журн. - 1959. - Т. 2, № 3. - С. 78-87.
2. Берлянд, М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. - Л.: Гидрометеиздат, 1975. - 448 с.

© *В.Ф. Рапута, В.В. Коковкин, С.Ю. Артамонова, С.Н. Богатырёв, Т.Г. Опенко, Г.И. Симонова, М.И. Воевода, 2010*

УДК 004.75

В.В. Смирнов

Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск

Д.В. Пчельников

Институт Геологии и Минералогии СО РАН, Новосибирск

КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ СЕРВИСЫ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

В статье представлены картографические сервисы СО РАН, разрабатываемые в Институте вычислительных технологий СО РАН для задач поддержки междисциплинарных исследований. Рассматриваются основные решения и концепция построения системы сервисов.

V.V. Smirnov

Institute of Computational Technologies, SB RAS

D.V. Pchelnikov

Institute of Geology and Mineralogy, SB RAS

CARTOGRAPHICAL SERVICES OF SB RAS

Cartographical services of SB RAS developed at Institute of Computational Technologies SB RAS for tasks of interdisciplinary researches support are presented. Main solutions and the system of services construction concept are considered.

Важнейшей составляющей информационного обеспечения современного общества являются данные дистанционного зондирования (ДДЗ). При исследовании труднодоступных территорий Западной и Восточной Сибири дистанционное зондирование Земли имеет особое значение, потому что ДДЗ – практически единственный источник независимой, объективной и актуальной информации.

В последние годы в области создания и развития средств и технологий дистанционного зондирования Земли наблюдается стремительный прогресс. Пространственное разрешение снимков повысилось до десятков сантиметров, спектральное разрешение – до сотен каналов. Кроме того, с каждым годом растет число запускаемых спутников высокого и сверхвысокого разрешения. Как следствие, лавинообразно растут получаемые объемы данных.

В дополнение к этому накоплен достаточно большой объем атрибутивной информации, размещенной в тематических базах данных.

С другой стороны, сложность современных пакетов обработки данных, имеющих пространственную привязку (пространственных данных), их существенная стоимость и необходимость постоянного обновления значительно затрудняют их широкое использование рядовым потребителем.

Поэтому актуальной является задача разработки сервисов для организации доступа пользователей к распределенным хранилищам пространственных данных, а также наукоемким технологиям и современным вычислительным системам для их обработки.

В настоящее время на базе вычислительных ресурсов ИВТ СО РАН разработан и запущен в эксплуатацию сервис, предоставляющий доступ к картографическим данным по протоколам WMS/WFS. К его основным задачам относятся:

- Обеспечение централизованного доступа к картографическим данным для организаций и сотрудников СО РАН;
- Увеличение скорости работы с удаленными ресурсами;
- Обеспечение кэширования данных, предоставляемых внутренними сервисами сети передачи данных СО РАН, с целью снижения нагрузки на серверы, выполняющие функции генерации данных;
- Снижение загрузки внешних каналов связи.

Сервис предоставляет доступ к хранилищу пространственной информации, базирующемуся на системе хранения данных ИВТ СО РАН с общим объемом дисковой памяти около 70 Тбайт [1, 2]. Схема взаимодействия основных элементов сервиса представлена на рисунке.



Структурная схема картографического сервиса

Программная реализация серверной части системы выполнена на основе картографических серверов с открытыми исходными кодами, распространяемых по лицензии GPL (Geoserver, MapServer). Серверная часть системы обеспечивает доступ пользователей по протоколам WMS/WFS как через веб-интерфейс, так и с использованием подходящего программного обеспечения поддерживающего стандарты OGC (например, qGIS), в том числе коммерческого программного обеспечения (ArcGIS, ENVI, MapInfo и др.). Хранение атрибутивной (а также связанной пространственной) информации реализовано на платформе PostgreSQL/PostGIS, распространяемой по лицензии GPL. Использование данной СУБД позволяет развернуть полномасштабную систему для работы с пространственной информацией.

Важной составляющей в разрабатываемой системе сервисов является подсистема кэширования пространственных данных. Кэширование позволяет существенно уменьшить время доступа к данным, а также значительно снизить

нагрузку на серверное оборудование. Более того, при использовании технологий обмена содержимым кэша, становится возможным создание распределенных по регионам систем кэширования, обеспечивающих оптимальный доступ пользователей к данным. Подсистема кэширования пространственных данных может работать по нескольким стратегиям:

- Кэширование во время выполнения текущих запросов;
- Кэширование дополнительных областей вокруг зон повышенного интереса;
- Постепенное кэширование зон интересов по заказу.

Для реализации функций геопространственного поиска по имеющимся картографическим данным в сервис интегрирован поисковый интерфейс GeoNetwork, который позволяет организовать распределенную сеть поисковых узлов, взаимодействующих по протоколам Z39.50 и CSW.

Для поддержки ряда проектов в ИВТ СО РАН запущены в эксплуатацию несколько клиентских приложений, использующих реализованные сервисы. В первую очередь это – Каталог спутниковых данных СО РАН (<http://catalogue.ict.nsc.ru>), являющийся интерфейсом системы поиска по каталогу данных SPOT 2/4. Также, в настоящее время ведется разработка программного комплекса обработки и предоставления доступа к данным оперативного мониторинга получаемых со сканеров MODIS и AUQA. В этой разработке технологии картографических сервисов также активно использованы.

Клиентское приложение WMSBrowser (<http://gis-app.ict.nsc.ru/wmsbrowser/wmsbrowser.html>), реализованное на платформе Flash/Flex для работы с различными картографическими слоями сервиса, предоставляет веб-интерфейс для доступа к набору базовых слоев на основе данных LandSat, полученных от лаборатории JPL NASA, а также картам, созданным в Институте географии им. В.Б. Сочавы СО РАН (карта растительности Западной Сибири и ландшафтная карта Иркутской области), а также другим тематическим слоям публикуемым в рамках выполнения различных междисциплинарных и интеграционных проектов.

Приложение «Академгородок.Карта» – совместная разработка Института геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН (картографическая основа, созданная под руководством заведующего лабораторий, к.г.-м.н. Н.Н. Добрецова) и Института вычислительных технологий СО РАН (публикация и обеспечение доступа к данным). Это приложение предоставляет авторизованный доступ к пространственным данным на территорию Новосибирского научного центра, а также к набору сопряженных тематических слоев, представляющих различные уровни организации территории ННЦ СО РАН.

Одно из направлений дальнейшего развития системы сервисов – организация аналогичных сервисов на уровне структурных подразделений СО РАН и объединение их в единую распределенную систему кэширования с

возможностью обмена содержимым кэша, что в конечном итоге позволит значительно оптимизировать как внутренний, так и внешний трафик.

Отдельным направлением развития геосервисов – является интеграция этих сервисов с системами обработки пространственной информации базирующихся на стандартах OGC WPS (Web Processing Service). В настоящее время ИВТ СО РАН проводятся работы по интеграции переводу ряда внутренних вычислительных модулей на эту платформу и интеграцию этого сервиса в разрабатываемые системы. Внедрение этих технологий позволит существенно расширить область применения картографических сервисов в практике научных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шокин Ю.И., Пестунов И.А., Смирнов В.В., Синявский Ю.Н., Скачкова А.П., Дубров И.С., Левин В.А., Алексанин А.И., Алексанина М.Г., Бабяк П.В., Громов А.В, Недолужко И.В. Распределенная информационная система сбора, хранения и обработки спутниковых данных для мониторинга территорий Сибири и Дальнего Востока // Журн. Сибирского федерального ун-та. Техника и технологии. – 2008. – Т. 1. – Вып. 4. – С. 291–314.

2. Шокин Ю.И., Пестунов И.А., Смирнов В.В., Синявский Ю.Н., Скачкова А.П., Дубров И.С. Система сбора, хранения и обработки данных дистанционного зондирования для исследования территорий Западной и Восточной Сибири // Сб. материалов V междунар. научн. конгресса «ГЕО-Сибирь-2009» (Новосибирск, Россия, 20-24 апреля 2009). – Новосибирск. – Т. – Ч. – 2009. – С. 165–170.

© В.В. Смирнов, Д.В. Пчельников, 2010

УДК 528.854

О.С. Токарева,

ТПУ, ИХН СО РАН, Томск

Д.С. Климентьев

ТПУ, Томск

ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ НЕФТЯНЫХ РАЗЛИВОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Обнаружение аварийных разливов нефти с использованием данных дистанционного зондирования Земли позволяет получать достоверную информацию об экологическом состоянии окружающей среды в нефтедобывающих регионах. В данной работе приведены результаты картографирования разливов нефти на территории Васюганской группы месторождений в Томской области на основе обработки космических снимков со спутника Landsat с пространственным разрешением 30 м.

O.S. Tokareva

Tomsk Polytechnic University (TPU)

30 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

Institute of Petroleum Chemistry SB RAS (IPC SB RAS)

Akademicheskyy ave., 4, Tomsk, 634021, Russian Federation

D.S. Klimentiev

Tomsk Polytechnic University (TPU)

30 Lenin Ave., Tomsk, 634050, Russian Federation

ASSESSMENT OF CONSEQUENCES OF OIL FLOODS ON THE BASIS OF REMOTE SENSING DATA

The result of oil floods mapping on basis of processing of space images from the satellite Landsat (spatial resolution 30 m) is presented in this work. The pilot territory selected in the Tomsk region (Vasugan group of oil deposits).

Одной из основных проблем нефтегазовой отрасли, представляющих экологическую опасность, являются аварийные разливы нефти. Аварии происходят в результате отказа технологического оборудования, прорывов нефтепроводов и т. д., при этом динамика аварий на промыслах является угрожающей. За 2007 г. в Томской области зафиксировано 1 396 аварийных ситуаций – фактически 4 аварии в день. Главная причина в том, что компании, ведущие нефтегазодобычу, практически не занимаются профилактикой и вкладывают деньги в основном в ликвидацию последствий аварий. В результате в области нефтепродуктами загрязнено около 200 га земель, существенный урон

наносится лесным ресурсам. При этом добывающие компании медленно ведут восстановительные работы на загрязненных территориях [1].

Нефть, попадая в почву, вызывает значительные, порой необратимые изменения ее свойств – образование битуминозных солончаков, гудронизацию, цементизацию и т. д. Эти изменения влекут за собой ухудшение состояния растительности и биопродуктивности земель. В результате нарушения почвенного покрова и растительности усиливаются нежелательные природные процессы - эрозия почв, деградация, криогенез [2]. Известно, что на участках, сильно загрязненных нефтью, растительность, мхи и лишайники полностью погибают. При загрязнении болот нефть разливается по направлению движения болотных вод и, попадая в водоемы, покрывает огромные участки водной поверхности, нарушая кислородный, углекислотный и другие виды газового обмена. Окисленные компоненты нефти оседают на дно водоемов и накапливаются в цепях питания гидробионтов. Даже при малых концентрациях наиболее токсичные и быстродействующие низкокипящие углеводороды оказывают отравляющее воздействие на низшие формы жизни в водной среде [3, 4].

Нефтяные компании зачастую скрывают, либо не разглашают информацию о возникающих авариях, чтобы избежать санкций, которые будут к ним применены. Поэтому актуальной задачей является обнаружение нефтяных разливов на космических снимках (КС), так как данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) объективно отражают складывающуюся ситуацию. Использование КС позволяет более эффективно решать задачи оценки экологического состояния обширных по площади территорий Западной Сибири.

Для проведения исследований был выбран участок на территории нефтедобычи в Томской области, на котором расположена Васюганская группа месторождений, где по данным [5–7] происходит наибольшее количество аварий. В работе использованы разновременные КС со спутника Landsat: 2 мультиспектральных снимка с пространственным разрешением 30 м с датами съемки 07.09.2006 и 26.06.2000 и 2 соответствующих им КС в тепловом канале с разрешением 60 м.

Обработка данных ДЗЗ проводилась с использованием программного комплекса ERDAS Imagine, сочетающего функции растровой и векторной геоинформационной системы и системы для обработки изображений, ориентированной на данные аэро- и космических съемок. ERDAS Imagine предоставляет широкий набор средств для повышения читаемости и информативности изображения, составления карт землепользования и выделения объектов с применением контролируемой (на основе принципа максимального правдоподобия, минимального расстояния, расстояния Махалонобиса) и неконтролируемой классификации (иерархический кластерный анализ), выявления изменений, произошедших с течением времени на какой-либо территории и т. д. ERDAS Imagine позволяет интерактивно конструировать модели, используя специальный объектно-ориентированный графический редактор алгоритмов Model Maker, открывая доступ более чем к 200 операциям по обработке изображений и манипулированию данными ГИС. В

частности, могут быть созданы модели для описания природной среды и происходящих в ней процессов [8, 9].

По результатам неконтролируемой классификации мультиспектральных КС были выделены следующие классы: темнохвойный, светлохвойный и мелколиственный лес, болотная растительность, водные объекты, гари и др. Для идентификации инфраструктуры нефтяных месторождений и нефтепровода использованы векторные слои: границы месторождений, кустовые площадки, внутрипромысловые продуктопроводы и дороги, магистральный нефтепровод. Указанные объекты достаточно хорошо дешифрируются на КС. На первом этапе работы векторные слои были преобразованы в проекцию UTM Zone 43 и совмещены с имеющимися снимками. Данная процедура позволяет также выявить области, где возможны разливы нефти.

Для определения спектральных характеристик разливов нефти использованы данные дешифрирования КС территории Самотлорского нефтяного месторождения, полученные с привлечением наземных исследований [10]. На основе анализа разновременных КС и проведенной неконтролируемой классификации выделены объекты на территории нефтепромыслов и вдоль нефтепроводов, обозначенные на рис. 1 черным цветом, которые с учетом косвенных признаков могут быть идентифицированы как разливы нефти.

Необходимо отметить, что в результате проведенной классификации объекты, показанные на рис. 1, попали в один класс с участками, которые на самом деле являются лесными гарями (рис. 2). На основании этого нельзя утверждать, что данные объекты являются именно разливами нефти, а не последствиями пожаров.

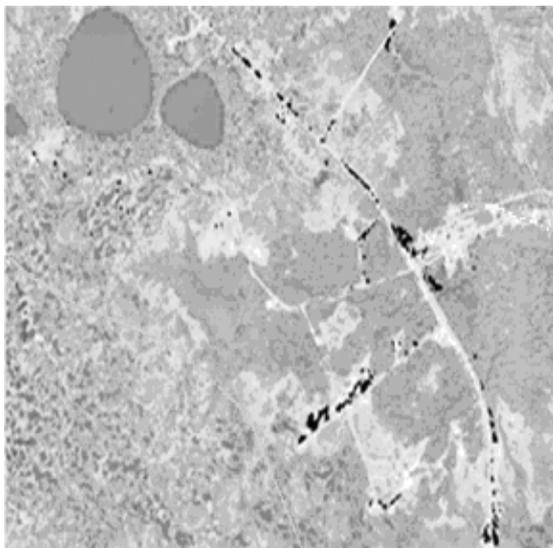


Рис. 1. Разливы нефти

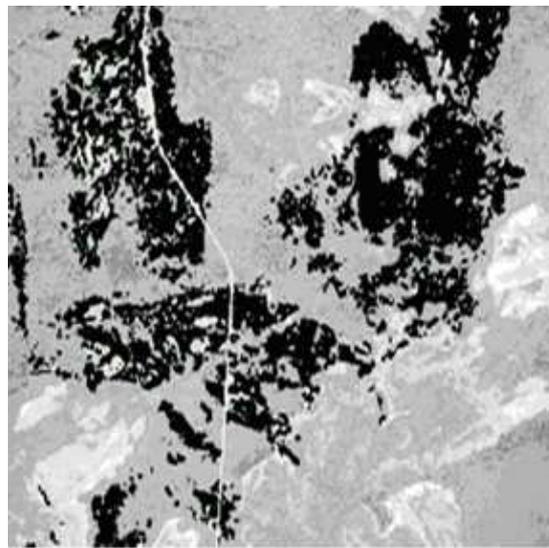


Рис. 2. Лесная гарь

Известно, что для дешифрирования нефтяных разливов используются данные тепловой съемки, поэтому для уточнения результатов дешифрирования использован КС, полученный в тепловом канале.

На рис. 3 изображен фрагмент карты, полученной в результате неконтролируемой классификации данных теплового канала, соответствующий участку на рис. 2. Черным цветом на рис. 3 выделены объекты, спектральные характеристики которых в тепловом канале близки к характеристикам предполагаемых нефтяных разливов, однако при классификации мультиспектрального снимка они были отнесены к другому классу. Как видно из рис. 3, при классификации данных теплового канала гари не попадают в один класс с разливами нефти, т.к. имеют различные величины теплового излучения.

Совместный анализ изображений, полученных в результате классификации мультиспектральных данных и данных теплового канала, позволил выделить нефтяные разливы в отдельный класс.

Таким образом, на основе обработки космических снимков со спутника Landsat территории нефтедобычи в Томской области с использованием инструментария, предоставляемого системой ERDAS Imagine, построена цифровая карта нефтяных разливов, которая может быть использована в дальнейшем для оценки экономического ущерба.

Необходимо отметить, что пространственное разрешение используемых в работе КС не позволяет обнаруживать незначительные по площади разливы.

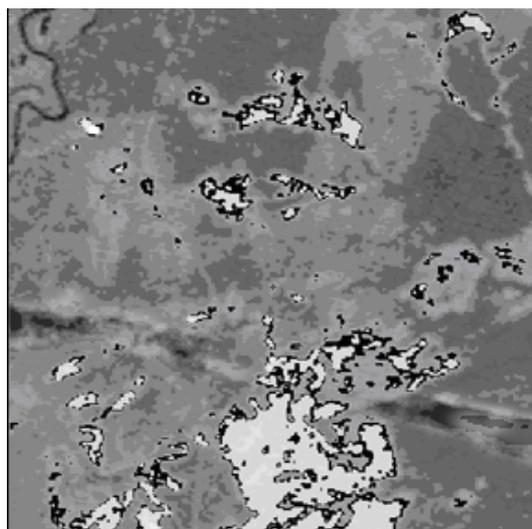


Рис. 3. Изображение гари на карте, полученной в результате классификации данных теплового канала

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Под председательством губернатора Томской области Виктора Кресса прошло заседание [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arto.ru/news-3555.html>.
2. Гриценко А.И., Акопова Г.С., Максимов В.М. Экология. Нефть и газ. – М.: Наука, 1997. – 598 с.
3. Маковский В.И. Влияние нефтезагрязнений на растительный покров и торфяную залежь олиготрофных болот [Текст] / В.И. Маковский // Растительность в условиях техногенных ландшафтов Урала: сб. научн. трудов. – Свердловск: УрО АН СССР, 1989. – С. 96 – 102.
4. Васильев С.В. Воздействие нефтегазодобывающей промышленности на лесные и болотные экосистемы. – Новосибирск: Наука, 1998. – 127 с.
5. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2004 г. [Текст]. – Томск: DesignBand, ООО «Атри», 2005. – 180 с.

6. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2005 г. [Текст]. – Томск: Графика, 2006. – 148 с.
7. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2006 г. [Текст]. – Томск: Графика, 2007. – 148 с.
8. ERDAS IMAGINE 9.3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dataplus.ru/Soft/ERDAS/IMAGINE/Index.htm>.
9. ERDAS IMAGINE [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://wikipedia.org/wiki/ERDAS_Imagine.
10. Нефтяные разливы - вид из космоса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.dataplus.ru/Arcrev/Number_17/6_Oil.htm.

© О.С. Токарева, Д.С. Климентьев, 2010

УДК 528.88

В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин, Г.А. Кочергин

ЮНИИ ИТ, Ханты-Мансийск

КАТАЛОГ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В статье рассмотрены особенности создания банка данных дистанционного зондирования Земли с различных сенсоров космического базирования. На базе СУБД MS SQL и My SQL созданы поисковые системы с ИНТЕРНЕТ и ИНТРАНЕТ доступом.

V.M. Bryksin, A.V. Yevtyushkin, G.A. Kochergin

Ugra Research Institute of Information Technologies (URIIT)

151 Mira Str., Khanty-Mansiysk, 628011, Russian Federation

CATALOGUE OF REMOTE SENSING DATES

In article features of creation catalogue of Earth remote sensing from various sensor controls on space basing are considered. On the basis MS SQL and My SQL retrieval systems about INTERNET and the INTRANET are created by access.

Совершенствование технологий ДЗЗ, лавинообразное возрастание объема получаемых данных вызвало бурное развитие поисковых систем. Как правило, каталоги квиклуков и метаданных имеют операторы всех спутниковых систем запущенных за последние годы. Однако конечным пользователям, выполняющих тематическую интерпретацию спутниковых данных в ГИС приложениях в рамках корпоративной сети, необходимо также обеспечить оперативный доступ к исходным данным. В связи с этим в ЮНИИ ИТ ведется разработка и модернизация программного обеспечения для оперативного поиска космоснимков с возможностью доступа к исходным данным [1–3]. На базе версии поисковой системы для локальной сети разработаны WEB интерфейсы, доступные по адресам <http://dzz.uriit.ru> и <http://www.ucgd.ru>.

В центре ДЗЗ ЮНИИ ИТ с 2005 года ведется создание архива радарных космоснимков ERS-2 на территорию России в формате PRI (Precision Image) на основе данных, принимаемых комплексом ТНА-9. Разработана оригинальная технология пакетной обработки при построении кадров в формате PRI радарных изображений ERS-2 хранящихся на DLT лентах в исходном формате. При этом в сутки восстанавливается до 26 кадров в формате PRI, исключаются простои дорогостоящего оборудования.

Для отработки технологии определения вертикальных смещений земной поверхности методом радарной интерферометрии необходимо использовать помимо радарных данных и космоснимки в оптическом диапазоне спектра различного пространственного разрешения, позволяющие повысить

достоверность дешифрирования природных комплексов и техногенных объектов в различные периоды года и этапы разработки и обустройства нефтегазовых промыслов. Пополнение архива радарных данных ALOS\PAL SAR в форматах, пригодных для интерферометрической обработки, проводятся при поддержке научного гранта от Японского аэрокосмического агентства 07/JAXA/ASP № 0704001.

Структура архива космоснимков и цифровых моделей рельефа представлена в таблицах.

Объем архива космоснимков

Спутник	Съемочная аппаратура	Кол-во кадров
МЕТЕОР-3М	МСУ-Э, СМ	32273
РЕСУРС-О	МСУ-Э, СК	4965
РЕСУРС-Ф1М	МК-4	80
Ресурс-ДК	MS, PAN	31
TERRA	ASTER	69379
LANDSAT 1-7	MSS, TM, ETM	22015
LANDSAT 7	ETM (MrSID формат)	881
LANDSAT 5	TM (MrSID формат)	606
IRS-1D	LISS, PAN	12
Q-Bird	MS	21
WorldView-1	Pan	1
GeoEye-1	Pan, MS	2
ERS-2 (DLT формат)	SAR	60219
ERS-2 (PRI формат)	SAR	33313
ERS-1,2 (tandem)	SAR	11
RADARSAT-1	SAR	2
TerraSAR-X	SAR	7
ENVISAT	ASAR	78
ENVISAT	MERIS	2
SIR-C (STS)	SAR	149
SPOT-2, 4, 5	HRG, HRV, HRVIR, PAN	190
CBERS-2	MS	45
ALOS	PALSAR	90
ALOS	AVNIR-2, PRISM	50
TERRA, AQUA	MODIS	9627
NOAA 12, 14-19	AVHRR	10934

Объем архива цифровых моделей рельефа

Тип данных	Объем исходных данных, Гб	Кол-во кадров
SRTM 3 arc sec (90м)	32.8	14620
SRTM 3 arc sec (30м)	8.4	442
AST GDEM 1 arc sec (30м)	18.8	5530
SRTM GTOPO30 (500м)	0.6	27

Каталог поисковой системы для ИНТРАНЕТ сети построен на базе СУБД Microsoft SQL Server 2000. Серверная часть с защитой от записи пользователем

находится на сервере приемного комплекса ТНА-9 в центре ДЗЗ. Клиентские приложения работают на рабочих местах пользователей в среде Windows в локальной сети ЮНИИ ИТ. Поисковая система для сети ИНТЕРНЕТ построена на базе My SQL и сервера Apache. Для каждого кадра в результатах поиска отображается «квиклук», картосхема с контуром кадра, координаты углов, дата съемки. Картосхемы масштаба М 1 : 1 000 000 построены программным способом на основе модуля, разработанного в среде Delphi.

В связи с развитием и широким использованием картографического сервиса Google Maps в продолжена разработка WEB интерфейса поисковой системы космоснимков высокого и среднего пространственного разрешения имеющихся в систематизированном архиве ЮНИИ ИТ (рис. 1). В поисковой системе для локальной сети также предусмотрена подготовка KML файлов отобранных кадров для целей дальнейшего отображения в сервисе Google Земля [3]. Пользователю предоставляется возможность передачи схемы отобранных кадров в программный комплекс Google Earth через файл формата KML. При этом в Google Earth, помимо схемы кадров передаются ссылки на «квиклуки» хранящиеся на сервере базы, что делает возможным их просмотр непосредственно в поисковой системе без использования дополнительного программного обеспечения.

Поисковая система позволяет осуществлять поиск данных с разбивкой на кадры удаленным пользователям из сети Интернет и локальной сети ЮНИИ ИТ. «Квиклуки» и все атрибутивные данные кадров импортированы из СУБД Microsoft SQL Server 2000 для локальной сети [4, 5]. Для каждого кадра со спутников среднего разрешения в результатах поиска отображается «квиклук», отдельно вызываемая картосхема с нанесенным контуром кадра, координаты углов, дата съемки. Результаты поиска кадров космоснимков или цифровых моделей рельефа также отображаются в сервисе Google в нескольких интерфейсах просмотра: отдельный контур для каждого кадра, карты Google для всех кадров, Google Earth для всех кадров. Для интерфейсов карты Google и Google Earth предусмотрена возможность отображения квиклука кадра в виде всплывающего окна в двух масштабах при соответствующем запросе пользователя. Также контура кадров могут отображаться на фоне подложки из карт или космоснимка в сервисе Google Maps.

Программно реализован режим отображения квиклуков кадров в сервисе Google Earth с наложением на уже имеющийся в сервисе покрытие космоснимками LandSat, Spot, Q-Bird и др. Предусмотрено масштабирование квиклука на несколько уровней на основе построенного динамического KML файла. На языке IDL разработана программа для пакетного построения KML файлов квиклуков кадров с различным уровнем масштабирования в формате PNG с прозрачными границами. Определено, что оптимальным с точки зрения хранения на жестких дисках в оперативном доступе всего объема архива квиклуков с разбивкой на уровни масштабирования в формате KML, является пространственное разрешение 300 м.

Для повышения производительности и оперативности доступа пользователей используются два RAID накопителя 5 уровня EonStor ES A080-

С2412 с сертифицированными дисками емкостью 1 Тб. Общая ёмкость накопителей, обеспечивающих пользователям поисковой системы для локальной сети с online доступ к спутниковым данным в исходных форматах и возможность их тематической обработки, составляет 18 Тб.

Основные показатели созданного в ЮНИИ ИТ каталогизированного архива данных ДЗЗ, ЦМР и сканированных карт: объем исходных данных – 20 Тб, объем данных в оперативном доступе с постоянным хранением на дисковых RAID массивах – 12.6 Тб, объем квиклуков – 170 Гб, число кадров – 302 тыс. Тестирование показало, что время поиска всех занесенных в каталог кадров не превышает 40 секунд.



Рис. 1. Отображение результатов запроса в поисковую систему в сервисе Google Maps, загружаемом в браузер IE

Поисковая система комоснимков используется в ЮНИИ ИТ с 2005 года при выполнении проектов по планированию геофизических профилей, отработки методики картирования видового состава лесов, изучении динамики термокарстовых озер, мониторинга факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа, разработки технологии мониторинга состояния

сельскохозяйственных культур, мониторинга просадок земной поверхности методом радарной интерферометрии, решения задач поиска залежей нефти на основе комплексирования результатов дешифрирования космоснимков, палео- и неотектонических исследований и ряда других комплексных задач.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Брыксин, В.М. Создание базы данных дистанционного зондирования Земли для долговременного мониторинга природной среды и производственных объектов нефтедобывающего комплекса на территории Западной Сибири [текст] / В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин, А.В. Еремеев, Г.А. Кочергин // Сборник материалов Шестой межрегиональной научно-практической конференции «Информационные технологии и решения для «Электронной России», Ханты-Мансийск, 7–8 июня 2007 г. / Екатеринбург: Изд-во Уральского государственного университета, 2007. – Т.2. – С. 10–16.

2. Брыксин, В.М. Технология создания комплексного банка данных дистанционного зондирования Земли [текст] / В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин // Материалы одиннадцатой региональной конференции по математике «МАК-2008» / Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2008. – С. 40–41.

3. Брыксин, В.М. Поисковая система космоснимков для локальной сети с доступом к исходным данным [текст] / Брыксин В.М., Евтюшкин А.В., Еремеев А.В., Кочергин Г.А. // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. Выпуск 6. Том II. - М.: ООО «Азбука-2000», 2009. – С. 521–527.

4. Брыксин, В.М. Система интерактивного поиска и копирования космоснимков в локальной сети Intranet (Base Images) / Брыксин В.М. // Свидетельство о государственной регистрации программы на ЭВМ № 2009611711. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 31 марта 2009 г.

5. Брыксин, В.М. База географически распределенных данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) / Брыксин В.М. // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2009620133. Федеральная служба по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам, 31 марта 2009 г.

© В.М. Брыксин, А.В. Евтюшкин, Г.А. Кочергин, 2010

УДК 550.344

Б.М. Глинский, В.В. Ковалевский, М.С. Хайретдинов

ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА «ГОРА КАРАБЕТОВА» ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

В статье рассматриваются результаты вибросейсмического зондирования грязевого вулкана «Гора Карabetова». Проводится сравнение геофизической и геологической моделей строения вулкана. Проведенные эксперименты служат основой для построения систем мониторинга грязевых вулканов.

B.M. Glinsky, B.V. Kovalevsky, M.S. Khaeretdinov

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics, Siberian

Branch Russian Academy of Sciences

Novosibirsk, 630000 Russian Federation

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE MUD VOLCANO "GORA KARABETOVA" BY VIBROSEISMIC METHODS

In this paper, the results of vibroseismic sounding of the mud volcano "Gora Karabetova" are considered. A comparison of geophysical and geological models of the volcano structure is made. The performed experiments form a basis for the construction of systems for mud volcano monitoring.

Керченско-Таманская область характеризуется большим количеством грязевых вулканов. Не менее 50 грязевых вулканов находятся на Таманском полуострове и Северо-Западном Кавказе, при этом большая часть вулканов является действующей [1].

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН совместно с Институтом физики Земли РАН и Кубанским Государственным Университетом, начиная с 2005 года, поставил ряд экспериментальных исследований по вибросейсмическому зондированию этих уникальных природных явлений. В частности, были поставлены эксперименты на грязевых вулканах Тамани – «Шуго», «Ахтанизовский», «Гора Карabetова» [2-4]. В данной работе частично описываются экспериментальные работы на вулкане «Гора Карabetова», проведенные с применением вибросейсмических методов зондирования этого вулкана, которые могут быть применены при мониторинге грязевых вулканов.

На рис. 1 приведен геологический разрез вулкана «Гора Карabetова» по данным, приведенным в литературе [1, 5].

Строение данного вулкана характеризуется слоистой структурой, сложенной из различных отложений, подпираемых ядром из майкопских глин.

Однако, в своде собственно Карабетовой складки приповерхностная часть ядра не прорвана майкопскими глинами.

В экспериментальных работах по активному вибросейсмическому просвечиванию грязевого вулкана «Гора Карабетова» использовался сейсмический вибрационный источник СВ-10/100 и регистрирующие комплексы RefTek-125A (40 регистраторов с вертикальными сейсмоприемниками GeoSpace GS-20DX) и РОСА (18 каналов с трехкомпонентными датчиками GeoSpace и СМЕ-3011). Общая схема расположения точек излучения и регистрации с регистраторами RefTek приведена на рис. 2.

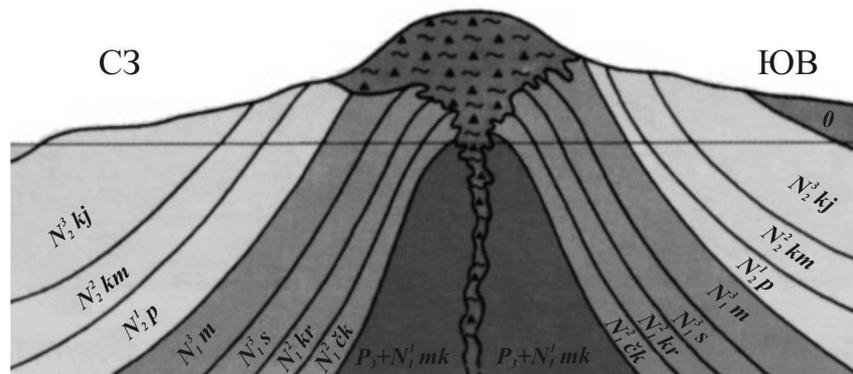


Рис. 1. Геологический разрез вулкана «Гора Карабетова»: N_2km – киммерийский ярус, глины, пески с прослоями и линзами оолитовых железных руд в нижней части; N_2p – понтический ярус, темно-серые, черные глины с прослоями рыхлых известняков, мергелей и песчаников; N_1m – меотический ярус, темные глины с прослоями мергелей и известняков; N_1s – сарматский ярус, зеленовато-серые глины с многочисленными прослоями пористых мергелей и известняков; $N_{1, ch+kr}$ – чокракский и караганский ярусы, темно-серые глины с прослоями мергелей и известняков; P_3-N_1 – майкопская серия, глины

В качестве зондирующих сигналов вибратора использовались свип-сигналы в диапазоне частот 10–64 Гц с линейной разверткой частоты и длительностью 60 с. Количество зондирований в одной точке составляло 5, 10 и 20 для различных точек. Регистрация излучаемого сигнала велась в режиме непрерывного времени с записью файлов волновых форм длиной 3300 секунд. Временная синхронизация регистрирующих систем осуществлялась при помощи GPS-приемников. Одним из сейсмоприемников RefTek осуществлялась регистрация сигнала от генератора сигналов вибратора СВ-10/100. Запись формы излучаемого вибратором сигнала велась с целью использования последнего в качестве опорного при вычислении вибрационных сейсмограмм. Второй регистратор RefTek использовался для записи колебаний грунта в непосредственной близости от вибратора.

В данной работе основное внимание уделено исследованию волнового поля на профиле пройденного вне зоны вулкана (IV) и профиле, пересекающем вулканическую зону (II, III).

Точки излучения сигналов вибраторами располагались на профиле длиной 2 км через 500 м (точки Т1–Т5 на рис. 2). Для определения строения и

скоростных характеристик вмещающей среды была проведена регистрация волнового поля вибраторов на профиле вне зоны вулкана, профиль IV. Излучение сигналов вибраторами осуществлялось в точках профиля IV (точки T8–T11) для последующей обработки по методике сейсморазведки на отраженных волнах. Был также отработан поперечный профиль регистрации длиной 3.2 км пересекающий вулкан.

Дополнительно была добавлена точка излучения на конце профиля (точка T8) с излучением сигналов вибратором во встречном направлении к точкам T1–T5. Поперечный профиль через вулкан обрабатывался в два приема, с использованием 37 регистраторов RefTek (профиль II) и 31 регистратора RefTek (профиль III). На линейном профиле, параллельном вулкану, длиной 1,8 км использовалось 37 регистраторов. В зависимости от местности расстановка регистраторов на профилях осуществлялась с шагом около 50 м.

На рис. 3 приведены корреляционные сейсмограммы, полученные от источников в точках T1 и T8.

В верхней части рисунка обозначены линии пройденных профилей, в нижней – сейсмограммы, полученные путем корреляционной свертки принятого и излучаемого сигналов.

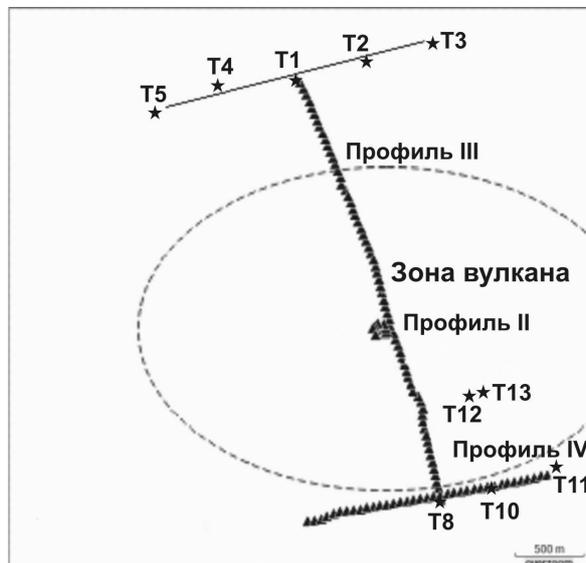


Рис. 2. Общая схема регистрации вибросигналов системами RefTek (треугольники), звездочки – точки излучения вибратора СВ – 10/100, пунктирная линия – зона сопочной брекчии вулкана

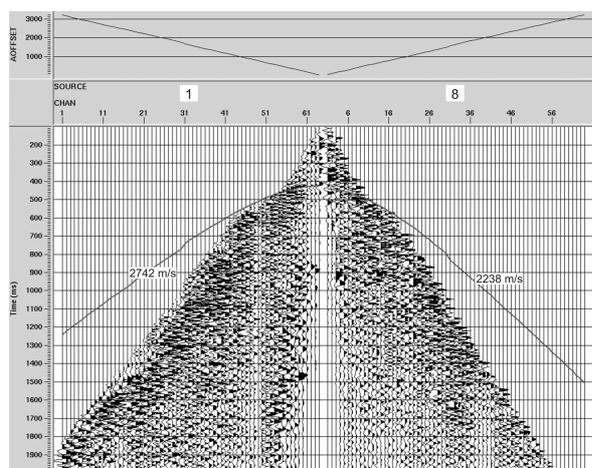


Рис. 3. Корреляционные сейсмограммы, полученные на профилях II, IV от источников T1, T8

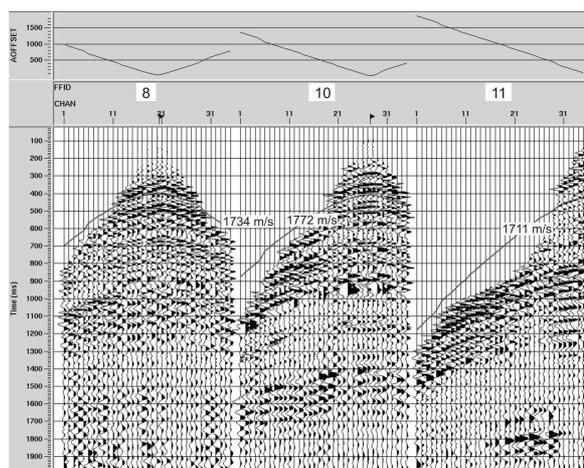


Рис. 4. Корреляционные сейсмограммы, профиль IV, источники T8, T10, T11

На шкале времени, на 430–450 мс наблюдаем отраженную волну, времена пробега которой хорошо аппроксимируются теоретическим годографом отраженной волны со скоростью 2 200–2 700 м/с. Увеличение эффективных скоростей может интерпретироваться как вздымание отражающей границы. Эта картина может интерпретироваться как выклинивание на поверхность пласта, отражение от кровли которого мы наблюдаем, что хорошо согласуется с геологическим строением вулкана «Гора Карabetова» (рис. 1).

Из полученной картины можно видеть, что условия приема сигнала в точках близких к Т8 были хуже, чем вблизи Т1, что может быть обусловлено существенной неоднородностью верхнего слоя. Это также хорошо согласуется с геологическим строением вулкана. Граница сопочной брекчии вулкана находилась на расстоянии менее 100 м от вибратора Т8, практически на границе грязевых фракций, а источник Т1 отстоял от границы сопочной брекчии на расстоянии около 900 м. Соответственно и влияние дилатансной структуры вулкана начало сказываться на более поздних временах.

На рис. 4 приведены корреляционные сейсмограммы, полученные на профиле IV от источников Т8, Т10, Т11. Данный профиль расположен на границе видимой зоны вулкана, что позволило изучить строение среды вблизи грязевого вулкана. Выделяется отражение с двойным вертикальным временем пробега 400 мс. Это отражение хорошо совпадает с теоретическим годографом отраженной волны с эффективной скоростью 1 710–1 770 м/с. Глубина залегания отражающей границы приблизительно составляет 350 м.

На рис. 5 представлен вариант временного разреза ОГТ (общей глубинной точки) по составному профилю II, III. Кратность суммирования равна единице. К сожалению условия местности, не позволили провести полноценные наблюдения по методике ОГТ.

После ввода кинематических поправок сигнал меняет свою форму – растягивается по времени. Особо сильные искажения сигнала происходят на больших удалениях и малых временах.

Следует отметить, что при обработке экспериментальных данных после построения корреляционных сейсмограмм использовался сейсмический пакет ProMAX для отображения корреляционных сейсмограмм и построения временного разреза. Обработка экспериментальных данных проводилась в СНИИГГиМС.

При построении временного разреза по методу однократного ОГТ пришлось применить нестандартные настройки. По умолчанию в ProMAX максимальный процент искажения сигнала установлен 30 %.

На рисунке 5 допустимый процент искажения сигнала 1 000 %, т. е. сигнал может растягиваться не более чем в 10 раз. Только в этом случае удалось получить информацию о центральной части разреза. Полученный экспериментальный материал явно не достаточен для построения полноценного временного разреза по профилю пересекающего грязевой вулкан «Гора Карabetова» из-за недостаточности точек зондирования. Однако, некоторые выводы удаётся сделать.

На разрезе прослеживаются оси синфазности, вздымающиеся к центральной части разреза. На рисунке 5 некоторые из них выделены линиями. Не очень отчетливо, но все-таки просматривается слоистая куполообразная структура грязевого вулкана, предложенная в геологической модели [1] (рис. 1).

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: вибросейсмические зондирования грязевого вулкана «Гора Карabetова» показывают, что он имеет чрезвычайно сложное строение, обусловленное слоистой структурой, сложенной из различных отложений; Полученные данные, в целом, подтверждают модель строения этого вулкана, предложенную геологами.

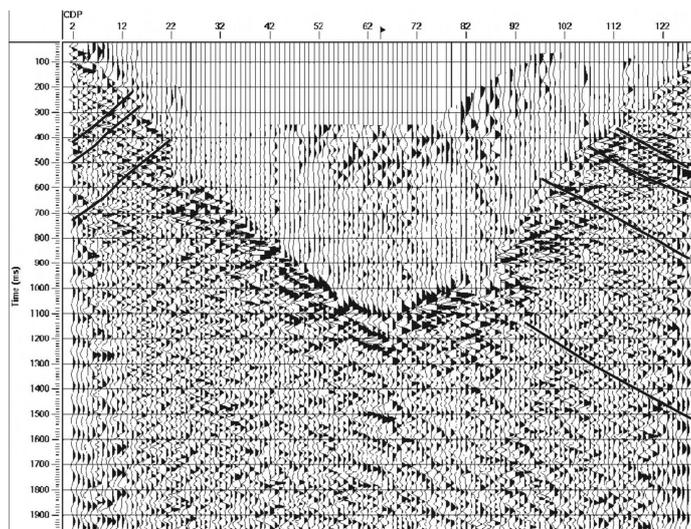


Рис. 5. Глубинный временной разрез, построенный от источников Т1, Т8 по методу однократного ОГТ (профиль II, III)

Для дальнейшего детального уточнения строения этого вулкана геофизическими методами нужно отработать поперечный профиль, пересекающий вулкан, по методике ОГТ с применением небольших взрывов.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 07-05-00858, 07-07-00214, проект СО РАН 16.5, ИП СО РАН № 133.

Авторы благодарят сотрудников ИВМиМГ СО РАН Л.П. Брагинскую и И.Н. Иванову за помощь в подготовке полевых материалов и оформлении данной работы; сотрудника СНИИГГиМС Т.А. Петроченко за обработку материалов с применением пакета ProMAX.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков В.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона // – Краснодар: ГлавМедиа, 2006.– С. 176.
2. Глинский Б.М., Собисевич А.Л., Фатьянов А.Г., Хайретдинов М.С. Математическое моделирование и экспериментальные исследования грязевого вулкана Шуго. // Вулканология и сейсмология, – 2008 – № 4. – С. 1–9.
3. Алексеев А.С., Глинский Б.М., Собисевич А.Л., Ковалевский В.В., Хайретдинов М.С. и др. Активная сейсмология с мощными вибрационными

источниками / Отв. ред. Г.М. Цибульчик. – Новосибирск: ИВМиМГ СО РАН, Филиал "Гео" Издательства СО РАН, 2004. – С. 387.

4. Глинский Б.М., Собисевич А.Л., Хайретдинов М.С. Опыт вибросейсмического зондирования сложно построенных геологических структур (на примере грязевого вулкана Шуго) // Докл. РАН. - 2007. - Т. 413. – № 3. - С. 398–402.

5. Горбатиков А.В. и др. Технология глубинного зондирования земной коры с использованием естественного низкочастотного микросейсмического поля. // Коллективная монография «Изменение окружающей среды и климата. Природные и связанные с ним техногенные катастрофы». – М.: ИФЗ РАН, 2008. – Т. 1 / Сейсмические процессы и катастрофы. – Ч. 2. – С. 223–236.

© Б.М. Глинский, В.В. Ковалевский, М.С. Хайретдинов, 2010

УДК 631.4

Н.В. Гонн

ИПА СО РАН, Новосибирск

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СОДЕРЖАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ГЛИНЫ В ПОЧВАХ ПО ДАННЫМ АНАЛИТИЧЕСКОЙ, НАЗЕМНОЙ И СПУТНИКОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

На примере ключевого участка в Джулукульской котловине (Республика Алтай) показана возможность эффективного применения аналитических данных почв и материалов наземной и радиолокационной съемки для моделирования пространственной изменчивости содержания физической глины в верхнем горизонте почв и составления соответствующей тематической карты.

N.V. Gonn

Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA SB RAS), 18 Sovietskaya St.,
Novosibirsk, 630099, Russian Federation

MODELLING OF SPATIAL VARIABILITY OF THE PHYSICAL CLAY CONTENT IN SOILS BASED TO ANALYTICAL, LAND AND SATELLITE DATA

By the example of a test plot in Dzhulukulsky hollow (Republic of Altai) the possibility of effective application of soil analytical, land and radar satellite data was shown for modeling of spatial variability of physical clay content in soil upper horizon and for drawing up a corresponding thematic map.

По содержанию физической глины в почвах определяют разновидность почв (гранулометрический состав), согласно таблице Качинского [1]. От количественного содержания физической глины в почвах зависят многие физико-химические свойства почв, что обусловлено большой удельной поверхностью частиц и, следовательно, повышенной сорбционной способностью. Таким образом, важность исследования и моделирования этого параметра почв с применением данных радиолокационной съемки имеет огромное значение при изучении не только особенностей функционирования почв и составления модельных прогнозов, но и для предсказательного картирования.

Индикационный принцип гласит, если какое-то свойство почв коррелирует с рельефом, то его можно прогнозировать прямо по рельефу [2]. В исследованиях McBratney A.V. et al. [3] сделан вывод, что из всех внешних по отношению к почве данных (космоснимки, рельеф, электропроводность почв и урожай сельскохозяйственных культур) для предсказания пространственной изменчивости свойств почв наиболее информативен рельеф. Следует отметить,

что рельеф влияет на свойства почв опосредованно через регулирование факторов среды. При этом, многие параметры рельефа (крутизна склонов, горизонтальная кривизна и др.) оказывают влияние на действие сил гравитации, которые способствуют миграции и аккумуляции минеральных и органических веществ по элементам рельефа. Поэтому в верхних ярусах возвышенностей преобладает снос продуктов выветривания, а в нижних ярусах наблюдается аккумуляция материала, принесенного сверху.

Объекты и методы исследования

Исследовалось распределение фракций гранулометрического состава в пробах отобранных из почв (рис. 2), располагающихся на различных формах рельефа. Полученные аналитические данные использовались для сопряженной обработки с тематическими картами параметров рельефа, для выявления корреляции и составления линейного прогноза на весь ключевой участок. Тематические карты параметров рельефа (площадь максимального сбора, максимальная кривизна, горизонтальная кривизна и др. см. табл. 1) были получены в процессе обработки радиолокационного снимка SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, разрешение 90 м) в программе ГисЭко (автор Шарый П.А.). Алгоритмы расчета локальных морфометрических величин описаны в работе Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. [4]. Краткое описание некоторых из них представлено в настоящей работе.

Согласно исследованиям Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. [4] горизонтальная кривизна (kh) отрицательна, когда вогнутость нормального сечения направлена вверх (линии тока сближаются – области конвергенции), и положительна в противоположном случае (линии тока расходятся – области дивергенции); kh равно нулю для прямолинейной изолинии высоты. Геоморфологически, области конвергенции известны как вогнутые отроги, в то время как области дивергенции – как выпуклые отроги (рис. 1).

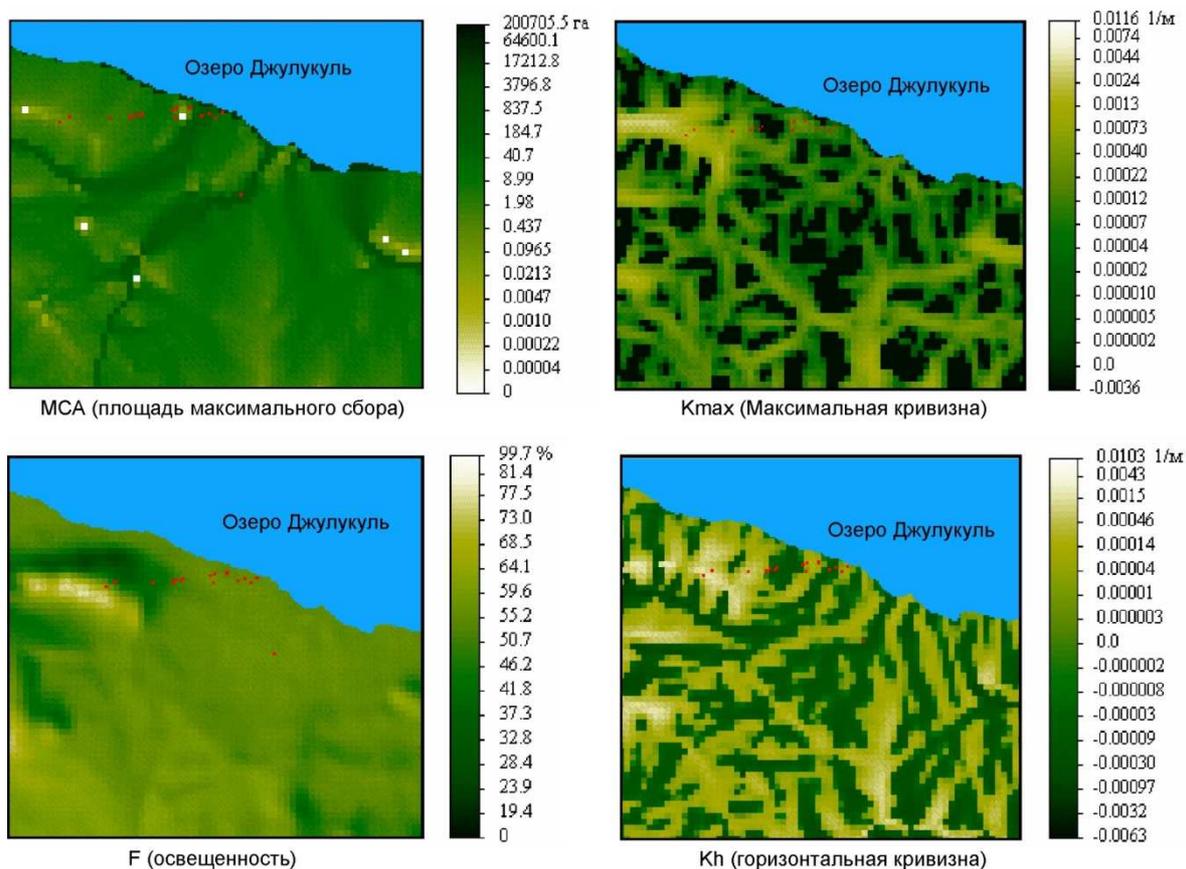


Рис. 1. Тематические карты морфометрических величин рельефа

Максимальная кривизна (k_{max}) описывает геометрические формы рельефа (рис. 1). Геоомфологически, положительные значения k_{max} описывают геометрические гребневые формы (или С-гребни), отрицательные же значения k_{max} описывают С-депрессии, то есть депрессии, определенные в классе С [4].

Карта максимальной площади сбора (рис.1) показывает для каждого элемента матрицы (квадрата на карте) максимальную площадь, с которой в него могут собираться со всех склонов сыпучие и жидкие вещества [4].

Ключевой участок ограничен координатами $89^{\circ}40'18,07'' - 89^{\circ}43'41,50''$ в.д., $50^{\circ}28'32,32'' - 50^{\circ}26'23,03''$ с.ш. По физико-географическому районированию территория исследования относится к Юго-Восточной Алтайской провинции, Джулукульский район [5]. Максимальная контрастность процессов сноса и аккумуляции для изучаемой территории, как функции от действия сил гравитации, обуславливается грядово-холмистым и гривисто-западинным рельефом.

Результаты и обсуждение

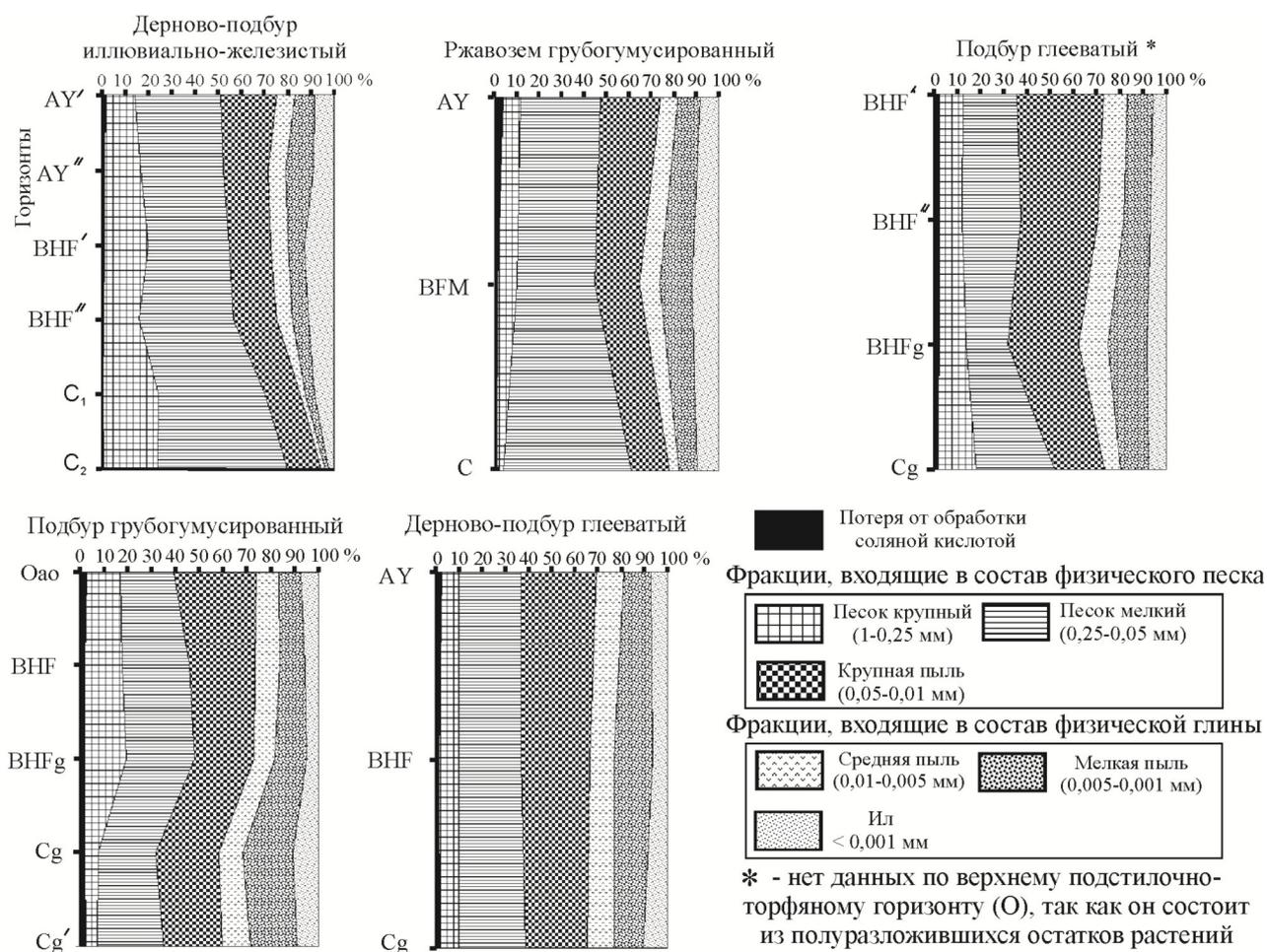


Рис. 2. Распределение фракций гранулометрического состава

Среди основных процессов, обуславливающих пространственную изменчивость содержания физической глины, можно выделить следующие: вертикальное перемещение вниз по профилю, горизонтальный поверхностный и внутрипочвенный сток. Изучение вертикального перемещения физической глины вниз по профилю проводят по профилям, составленным на основе аналитических данных (рис. 1).

Данные рис. 2 свидетельствуют о перемещении более легких фракций в срединные горизонты почв (ВНФ, ВФМ). Однако такой подход не позволяет учесть влияние экзогенных факторов и гравитации, в результате действия которых происходит снос продуктов выветривания, в том числе и фракций физической глины, в аккумулятивные зоны рельефа. В результате почвы возвышенностей характеризуются более легким гранулометрическим составом, чем почвы понижений, при условии, что они формируются на одинаковой почвообразующей породе. Определить, как происходит перераспределение содержания физической глины в верхнем горизонте почв в результате действия поверхностного стока можно с использованием параметров рельефа, рассчитываемых по радиолокационному снимку (табл. 1).

Таблица 1 Коэффициенты корреляции Спирмана (r_s) между параметрами рельефа и гранулометрическими фракциями образцов почв

Гранулометрические фракции почв (для верхнего горизонта), n = 25	Параметры рельефа (Морфометрические величины)					
	МСА*	F	Z	kmax**	kh*	GA*
Физическая глина	0,86 p<0,000001	НЗ	- 0,44 p<0,05	- 0,63 p<0,001	- 0,60 p<0,01	- 0,55 p<0,01
Физический песок	- 0,70 p<0,0001	НЗ	НЗ	0,48 p<0,05	0,46 p<0,05	НЗ

* – величины описывающие поверхностный сток; ** – величины описывающие геометрические формы

Условные обозначения: МСА – максимальная площадь сбора; F, % (склонение 35^0 , азимут 180) – освещенность; Z – высота; kmax – максимальная кривизна; kh – горизонтальная кривизна; GA – крутизна склонов; НЗ – незначимое значение; p – уровень значимости; n – количество почвенных проб.

Корреляция между содержанием физической глины и площадью максимального сбора говорит об увеличении содержания физической глины в депрессиях, где значения МСА наибольшие. Обратная средняя корреляция физической глины с высотой говорит об уменьшении содержания глины при увеличении высоты. Обратная средняя корреляция физической глины с максимальной кривизной подтверждает, что при приближении к гребням содержание физической глины снижается. Обратная корреляция содержания физической глины с горизонтальной кривизной подтверждает, что на выпуклых отрогах содержание ее снижается. В целом, рассматривая корреляцию между параметрами рельефа и содержанием физической глины обнаруживается, что перераспределение содержания физической глины по элементам рельефа связано также и с процессами поверхностного и внутрипочвенного стока, а не только с вертикальным перемещением вниз по профилю.

Для установления пространственной изменчивости содержания физической глины в верхнем горизонте произведен линейный прогноз (рис. 3) по формуле регрессии:

$$x = a \cdot k_{\max} + b \cdot Z + c \cdot \text{МСА} + d,$$

где $a = 3.731797$, $b = 0.201934$, $c = 11.758459$, $d = 19.415444$;

x – содержание физической глины; k_{\max} – максимальная кривизна;

Z – высота; МСА – площадь максимального сбора.

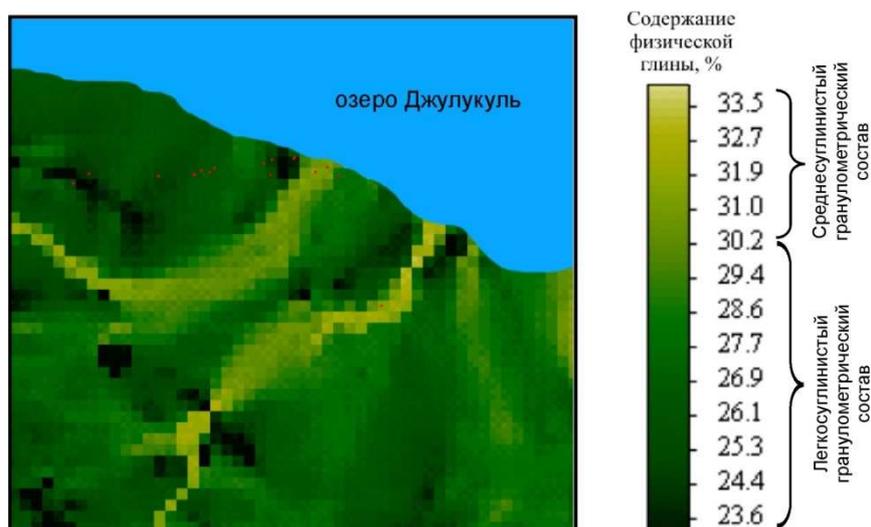


Рис. 3. Карта-схема содержания физической глины в верхнем горизонте

Анализ полученной карты показал, что изменчивость содержания физической глины связана не только с процессами вертикального перемещения вниз по профилю, но и с историей формирования моренных отложений, которые в период депрессии ледника подвергались значительному плоскостному размыву и смыву более легких фракций гранулометрического состава в аккумулятивные позиции рельефа.

Ошибка линейного прогноза MAD (mean absolute deviation) рассчитывалась как разность между значениями исследуемого параметра в контрольных точках и значениями модели, деленная на число наблюдений. Для рассчитанной прогнозной карты (рис. 3) MAD составляет 2–3 %, что является хорошим показателем качества модели.

Таким образом, установлено, что использование морфометрических величин рельефа, рассчитываемых по данным радиолокационной съемки, позволяет оценить пространственную изменчивость содержания физической глины в верхнем горизонте почв, что позволяет на более качественном уровне составлять тематические карты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Качинский Н. А. Физика почв. Ч. 1. М.: Высшая Школа, 1965. – 323 с.
2. Webster R. Quantitative and numerical methods in soil classification and survey. Oxford: Oxford University Press, 1977. – 269 p.
3. McBratney, A.B., Odeh, I.O.A., Bishop T.F.A., Dunbar, M.S. and Shatar T.M. An Overview of pedometric techniques for use in soil survey // Geoderma 97, 2000. – P. 293–327.
4. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // Geoderma, 2002, V.107, N.1–2. – P. 1–32.
5. Атлас. Алтайский край. Москва-Барнаул: Главное управление геодезии и картографии при совете Министров СССР, 1978. – 222 с.

УДК 631.4

H.V. Gopp

ИПА СО РАН, Новосибирск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПУТНИКОВЫХ, НАЗЕМНЫХ И АНАЛИТИЧЕСКИХ ДАННЫХ В КАРТОГРАФИИ ПОЧВ

В работе рассматривается технология составления цифровых почвенных карт с использованием параметров растительности и рельефа, рассчитываемых по спутниковым снимкам (Landsat ETM+, SPOT 4, SRTM). На примере ключевого участка, показана возможность эффективного использования материалов наземной и спутниковой съемки для дешифрирования ареалов почв по косвенным признакам.

N.V. Gopp

Institute of Soil Science and Agrochemistry (ISSA SB RAS), 18 Sovietskaya St.,
Novosibirsk, 630099, Russian Federation

USE OF THE SATELLITE, LAND AND ANALYTICAL DATA IN MAPPING OF SOILS

An application of the technology of digital soil mapping with use of parameters of vegetation and a relief, counted on satellite data (Landsat ETM +, SPOT 4, SRTM) is discussed in this paper. By the example of a test plot in Dzhulukulsky hollow possibility of an effective use materials of land and satellite data for interpretation areas of soils.

Актуальность. В последние десятилетия интенсивно ведутся исследования в научной области «Распознавание образов и анализ спутниковых изображений», которая входит в перечень критических технологий Российской Федерации. Особенно перспективным научным направлением в этой области является разработка алгоритмов для интерпретации спутниковой информации и составления тематических карт (почвенных, геоботанических, ландшафтных и др.). Дешифрирование снимков для диагностики почв различных ландшафтов имеет свою специфику и зависит от степени покрытия территории растительностью и антропогенной освоенности. От этого зависит и выбор, по каким признакам прямым или косвенным будет осуществляться дешифрирование. Так, для территорий полностью покрытых растительностью, ведущую роль при дешифрировании почвенного покрова играет ландшафтная индикация. Для открытых почв сельскохозяйственных угодий дешифрирование может осуществляться по прямым признакам (цвет, тон, текстура).

Согласно Викторову С.В. [1] ландшафтная индикация – это выявление индикаторов, возможно более полный сбор сведений о способах их

распознавания на местности и при дешифрировании, раскрытие характера связи между индикатором и индикатом и практическое использование индикаторов. Применение методов ландшафтной индикации обосновано тем, что на специфику фотоизображения (плотность, текстура, цвет) оказывают влияние комплекс факторов, к которым, прежде всего, относятся геологическое строение, рельеф, почвы, растительность и т. д. [2].

Составление почвенных карт является очень трудоемким процессом, и требует от составителя полисистемных знаний и способностей оперировать при дешифрировании спутниковых снимков большим набором косвенных и прямых признаков, которые зачастую необъяснимы и трудно формализуемы. Существующие сложности приводят к преобладанию субъективного подхода при составлении почвенных карт, а отсутствие формализации признаков к невозможности развития автоматизированных технологий. Детальное изучение возможностей различных алгоритмов для обработки спутниковой информации показало, что оптимальным выходом из сложившейся ситуации является применение сопряженной обработки результатов классификации спутниковых снимков алгоритмом дерево решений, который разрабатывается на основе экспертных знаний почвовед-исследователя. К отличительным особенностям данного подхода, можно отнести возможность редактирования алгоритма с привлечением новых дешифровочных признаков и последующей автоматической корректировкой карты.

Зарубежные и отечественные литературные материалы [2, 3, 4, 5, 6] свидетельствуют, о том, что достаточно подробно изучены особенности исследования открытых (не занятых растительностью) почв по спутниковым снимкам, но недостаточно освещены вопросы, связанные с диагностикой почв полностью покрытых растительностью, не определены критерии выбора диагностических признаков на спутниковых снимках. Для решения этой сложной проблемы необходимы знания, полученные на стыке наук – почвоведения, геоботаники, геоморфологии, картографии, дистанционного зондирования Земли, что создает ряд научно-методических проблем, касающихся не только особенностей обработки спутниковых снимков, но и выяснения причин взаимосвязи в цепочке «почва – растительность – рельеф». Поэтому в этой работе будут освещены результаты исследований почвенного покрова территории полностью покрытой растительностью.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования послужили различные типы и подтипы почв из отдела альфегумусовых и железисто-метаморфических (дерново-подбур иллювиально железистый, подбур глееватый, подбур грубогумусированный, дерново-подбур глееватый, ржавозем грубогумусированный), а также параметры растительности и рельефа Джулукульской котловины (Республика Алтай, Улаганский район).

Исучаемыми параметрами рельефа являлись: крутизна склонов, площадь максимального сбора, горизонтальная кривизна, максимальная кривизна, освещенность. Расчет тематических карт морфометрических параметров рельефа проводился по радиолокационным снимкам SRTM (Shuttle Radar

Topography Mission). Алгоритмы расчета локальных морфометрических величин рельефа описаны в работе Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. [7].

Изучаемыми параметрами растительности являлись: спектрально-яркостные характеристики растительности, выявляемые по многозональным снимкам, а также запасы надземной фитомассы, вычисляемые через индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Алгоритмы для классификации снимка Landast 7 ETM+ и расчета запасов надземной фитомассы по снимку SPOT 4 приведены в работах [8, 9, 10].

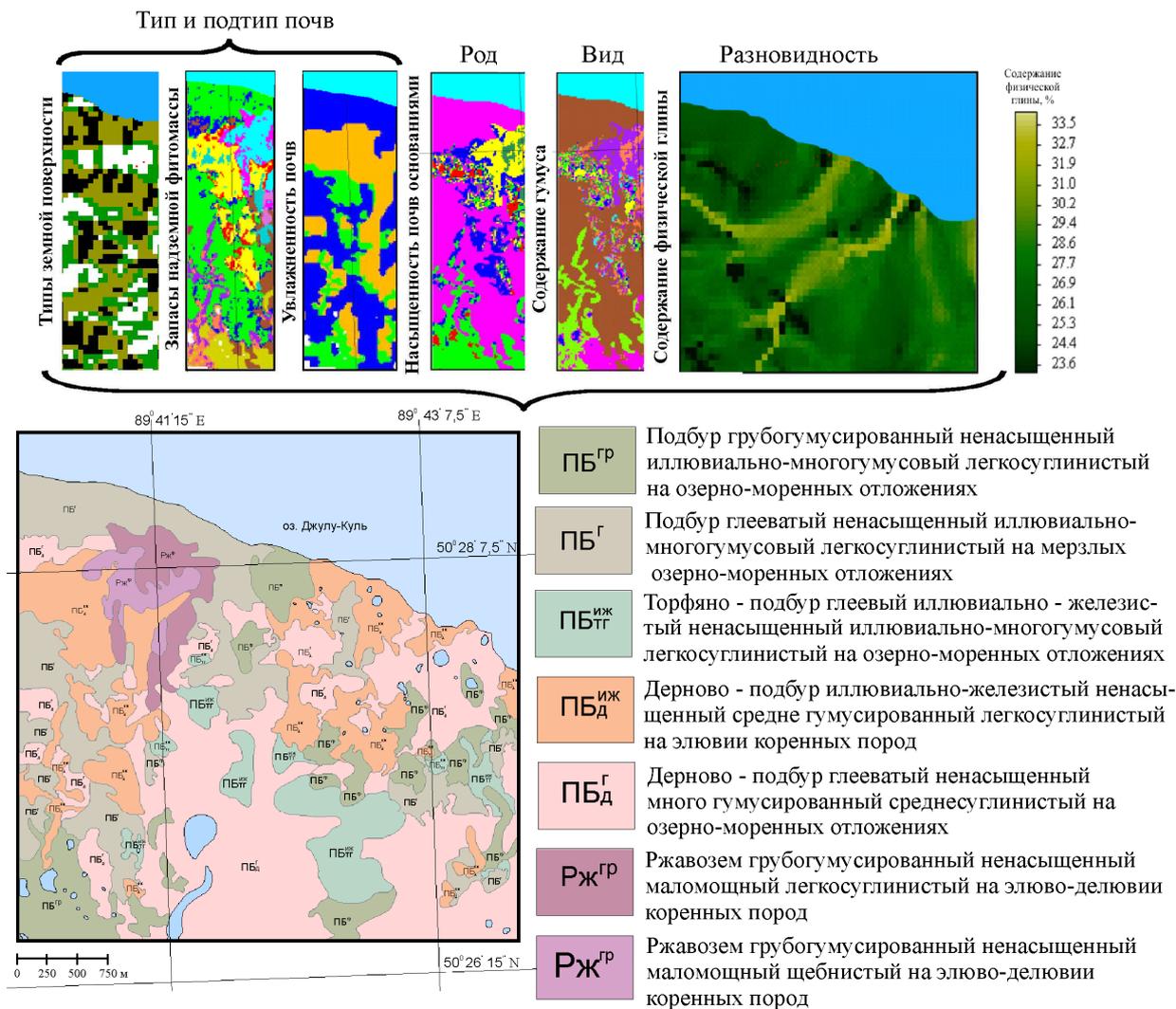


Рис. 1. Тематические слои, используемые в алгоритме при автоматизированном построении почвенных карт

Обсуждение результатов. Ключевым моментом предлагаемой технологии является создание серии тематических карт с использованием различных данных (наземных, аналитических, спутниковых). Среди рассчитанных тематических карт выявлены наиболее значимые косвенные индикаторы границ почвенных контуров на уровне типа и подтипа, к которым относятся: запасы надземной фитомассы, основные типы земной поверхности, увлажненность (рис. 1).

Анализ зависимостей между физико-химическими свойствами почв и параметрами растительности показал, что свойства почв, характеризующие

таксономические единицы рода (по степени насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями) и вида (по содержанию гумуса) коррелируют с запасами надземной фитомассы (коэффициенты корреляции $r_s = 0,62$ $p < 0,001$ и $r_s = 0,73$ $p < 0,0001$ соответственно). Разновидность почв, определяемая в изучаемых почвах по содержанию физической глины, коррелирует с параметрами рельефа (максимальная кривизна, высота, площадь максимального сбора). Таким образом, если изучаемые свойства почв коррелируют с запасами надземной фитомассы и параметрами рельефа, то их можно предсказать по этим параметрам путем расчета уравнений регрессий и линейного прогноза, а также с помощью разработанных алгоритмов. Результаты расчетов представлены в виде тематических слоев на рис. 1.

На следующем этапе полученная серия тематических карт используется в алгоритме «дерево решений» (рис. 2), который позволяет автоматизированно выделить ареалы почв на уровне типа, подтипа, рода, вида, разновидности, согласно заданным условиям.

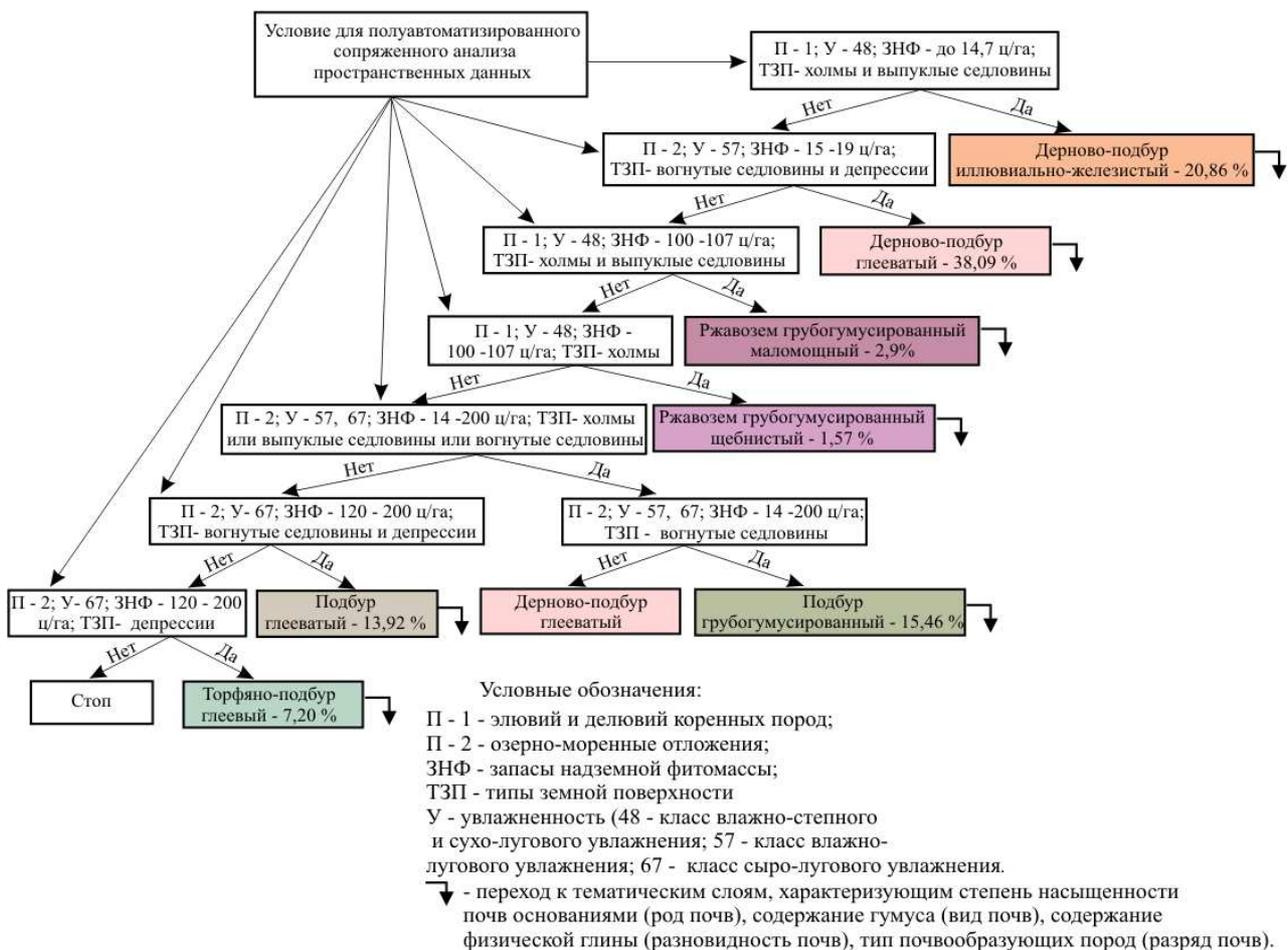


Рис. 2. Алгоритм «дерево решений» для автоматизированного составления цифровых почвенных карт

Входные данные для алгоритма получают в процессе проведения полевых, дистанционных, аналитических и статистических исследований

параметров почв, растительности и рельефа. К отличительным особенностям данного алгоритма, можно отнести возможность его редактирования с привлечением новых дешифровочных признаков и последующей автоматической корректировкой карты.

Заключение. По данным спутниковой информации выявлены и описаны индикаторы границ почвенных контуров на уровне типа и подтипа, к которым относятся: запасы надземной фитомассы, основные типы земной поверхности, увлажненность. Индикаторы ареалов почв на уровне рода, вида и разновидности установлены по результатам статистической обработки данных аналитических исследований почв и данных полученных в результате обработки многозональных и радиолокационных снимков. К ним относятся запасы надземной фитомассы и характеристики рельефа (максимальная кривизна, высота, площадь максимального сбора).

Разработан алгоритм «дерево решений» для выделения ареалов почв с сочетанием признаков из разных тематических слоев, параметры которых соответствуют заданным экспертом условиям. Разработанный алгоритм обеспечивает частичную замену ручного труда при составлении почвенных карт.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Викторов С.В. Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и её практическое применение. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 198 с.
2. Дейвис Ш.М., Ландгребе Д.А., Филлипс Т.Л. и др. / под ред. Ф. Свейна и Ш. Дейвис. Дистанционное зондирование: количественный подход. Пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
3. Bowers S.A., Hanks R.J. Reflection of Radiant Energy from Soil // Soil Science.– 1965. – Vol. 100. – P. 130 – 138.
4. Виногдадов Б.В. Космические методы изучения природной среды. – М.: Мысль, 1976. – 285 с.
5. Шершукова Г.А. Картографирование почвенного покрова лесопокрываемых территорий Нечерноземной зоны по космическим многозональным снимкам // В сб.: Тез. докл. 1 Всес. конф. «Биосфера и климат по данным космич. исслед». – Баку: ЭЛМ, 1982. – С. 196-198.
6. Сорокина Н.П. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. – М.: Россельхозакадемия, 2006.– 159 с.
7. Shary P.A., Sharaya L.S., Mitusov A.V. Fundamental quantitative methods of land surface analysis // Geoderma, 2002, V.107, N.1–2. – P. 1–32.
8. Пестунов И.А., Будкина Е.А., Синявский Ю.Н. Алгоритм кластеризации многоспектральных изображений на основе формирования сеточной структуры в пространстве признаков // Тр. междунар. конф. «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании». – Павлодар, 2006. – Т. 2. – С. 124-131.
9. Гопп Н.В., Куликова Е.А, Пестунов И.А., Синявский Ю.Н., Смирнов В.В. Распознавание формаций лесной растительности с близкими спектрально-

яркостными характеристиками по данным съемки со спутника Landsat 7 ETM+ / Вычислительные технологии спец. вып. 2, том 12. – 2007. – 194 – 201 с.

10. Гопп Н.В., Смирнов В.В. Использование вегетационного индекса (NDVI) для оценки запасов надземной фитомассы тундровых сообществ растений // Материалы международного научного конгресса «Гео-Сибирь – 2009». – Новосибирск, 2009., Т. 4, Ч. 2. – С. 187–191.

© Н.В. Гопп, 2010

УДК 551.511.32:532.517.4

*Л.И. Курбацкая*¹, *А.Ф. Курбацкий*²

¹ИВМиМГ СО РАН, Новосибирск

²ИТПМ СО РАН, Новосибирск

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПОТОКОВ ИМПУЛЬСА И ТЕПЛА В ПОГРАНИЧНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ

В настоящем исследовании для цели математического моделирования среднесрочного прогноза погоды и климата используется улучшенная анизотропная алгебраическая модель для турбулентных потоков импульса и тепла, которая учитывает воздействие внутренних гравитационных волн на вертикальный перенос импульса для сильно устойчивого состояния АПС, что позволяет повысить точность вычисления температуры.

*L.I. Kurbatskaya*¹, *A.F. Kurbatskii*²

¹Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS
(ICM&MG)

6 Akademika Lavrentjeva Prospekt, Novosibirsk, 630090, Russian Federation

²Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics (IT&AM)

4/1 Institutskaya Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

PARAMETERIZATION OF TURBULENT FLUXES OF A MOMENTUM AND HEAT IN THE ATMOSPHERE BOUNDARY LAYER

In this study for this purpose of the medium-range weather forecast and climate is used the improved anisotropic algebraic model for turbulent fluxes of a momentum and heat, which takes account the impact of gravitational waves to the vertical transfer of momentum for the very stable state of the nocturnal ABL. This modification improves the accuracy of the temperature calculations.

Интерес к исследованиям турбулентности в устойчиво стратифицированных течениях окружающей среды связан с их практической важностью для численного прогноза погоды, физико-математического моделирования климата, качества воздуха в городах. В условиях устойчивой стратификации турбулентность может генерироваться сдвигом и разрушаться под действием отрицательной плавучести и вязкости. Разнонаправленность действия эффектов плавучести и сдвига ведет к ослаблению интенсивности турбулентности в условиях устойчивой стратификации по сравнению с нейтральной стратификацией и конвективным перемешиванием. Динамика устойчиво стратифицированной турбулентности сложна, она характеризуется наличием перемежаемости, неустойчивости Кельвина-Гельмгольца, внутренних гравитационных волн, струй низкого уровня, меандрирующих движений и

других явлений. Поэтому понимание физики турбулентного перемешивания в условиях устойчивой стратификации все ещё остается недостаточным, несмотря на полученные в последнее время данные измерений и результаты теоретических исследований.

В крупномасштабных атмосферных и океанических течениях сдвиг скорости вызывает неустойчивость и генерацию турбулентности при высоких числах Рейнольдса на типичных геофизических масштабах.

Принимая во внимание зависимость вертикального турбулентного переноса скаляра (температуры) от частоты Брента-Вяйсяля N , установленную в [1], можно сформулировать анизотропные алгебраические параметризации коэффициентов турбулентного переноса импульса и скаляра для устойчиво стратифицированных течений, корректно учитывающие анизотропию и воздействие плавучести на вертикальный турбулентный перенос. Такие параметризации представляют собой физически более основательную альтернативу постоянным вихревым коэффициентам вязкости и вихревым коэффициентам диффузии скаляров, используемым почти во всех моделях атмосферной и океанической циркуляции в качестве “базовых” коэффициентов перемешивания. При сильной стратификации когда, коэффициенты вихревой диффузии импульса и скаляра становятся слишком малыми, они попросту полагаются равными нулю.

Определяющая система RANS-уравнений (осредненных по времени или по ансамблю реализаций уравнений гидродинамики) для стратифицированных течений в приближении Буссинеска имеет стандартный вид. Уравнения для напряжений Рейнольдса, кинетической энергии турбулентности, потока тепла и среднеквадратичных флуктуаций температуры и модели отдельных статей баланса в них приведены в [2, 3].

Ниже приводится только модификация параметризации ‘релаксационных’ (или ‘медленных’) частей корреляции ‘давление-скаляр’

$$\Pi_i^{\theta(1)} \equiv \langle p \frac{\partial \theta}{\partial x_i} \rangle \cong -\frac{c_{1\theta}}{\tau_{p\theta}} h_i, \quad (1)$$

где $\tau_{p\theta}$ – временной масштаб скалярного поля, а $c_{1\theta}$ – численный коэффициент. Для течений без средних градиентов полей скорости и скаляра широко использовалось приближение, что

$$\tau_{p\theta} : \tau = E / \varepsilon. \quad (2)$$

Хотя аппроксимация (2) широко использовалась, однако она не обязательно применима и к устойчиво стратифицированным течениям. Прямой путь доказательства справедливости представлений (1, 2) состоял бы в сравнении с LES-данными моделирования корреляций с пульсациями давления в атмосферных течениях. Однако, таких данных, по-видимому, до сих пор нет. Поэтому приходится привлекать другие результаты исследований устойчиво стратифицированных течений. Как выше было отмечено, при исследовании устойчиво стратифицированной турбулентности показано [1], что масштаб времени $\tau_{p\theta}$ должен быть функцией частоты Брента-Вяйсяля N

$$\tau_{p\theta} = \tau_{p\theta}(N) \quad (3)$$

с конкретной функциональной зависимостью вида

$$\tau_{p\theta} = \frac{\tau}{1 + a \cdot \tau^2 N^2}. \quad (4)$$

В (4) $a = 0,04$ если $N^2 > 0$, и $a = 0$, если $N \leq 0$.

Физический аргумент в пользу демпфирующего фактора в знаменателе (4) может основываться на том, что в устойчиво стратифицированных течениях вихри совершают работу против сил плавучести и теряют кинетическую энергию, которая переходит в потенциальную энергию.

Алгебраические модели для турбулентных потоков импульса и тепла могут быть выведены [2, 3] из замкнутых уравнений переноса в приближении слабо равновесной турбулентности. Полученная система алгебраических уравнений для турбулентных потоков импульса и тепла имеет неявный вид, и её решение в аналитическом виде с помощью кода символьной алгебры даёт выражения для турбулентных потоков импульса и тепла [2, 3]

Результатом последовательного упрощения замкнутых уравнений переноса для турбулентных потоков импульса и скаляра (тепла) в приближении слабо равновесной турбулентности без использования каких-либо аргументов эвристического характера является выделение противогradientного члена γ_c .

Для планетарного пограничного слоя это создает основу для моделирования эволюции пограничного слоя, не разделяя его, как это принято в мезомасштабных моделях, на конвективный и устойчивый пограничные слои [4].

Вычислительный эксперимент основывается, как и в [5], на измерениях в устойчивом ночном пограничном слое над Арктическим морем и результатах моделирования устойчивого пограничного слоя методом выделения крупных вихрей (так называемым LES методом). Начальное состояние и применяемый форсинг основывается на наблюдениях, выполненных в 1994 году (база данных BASE). Полученные вертикальные профили скорости ветра и температуры сопоставляются как с данными наблюдений, так и с результатами LES моделирования [6,7] для верификации количественной достоверности.

Пограничный слой создается под действием баротропного геострофического ветра и предписанной скорости охлаждения поверхности. Верхняя граница вычислительной области располагается на высоте 400 м. Вычисления проведены на смещенной в вертикальном направлении сетке с шагом 6,25 м (64 вертикальных интервала) и шагом по времени равном 2,5 сек. Такой выбор позволял получать независимое от сетки решение. Начальный профиль ветра полагался равным величине геострофического ветра (8 м/сек в направлении оси x) по всей высоте слоя. На нижней границе условия задавались на первом расчетном слое, как и в [2, 3]. На верхней границе скорость ветра равна геострофическому значению. Начальные поля кинетической энергии турбулентности, скорости её диссипации и среднеквадратичных флуктуаций температуры задавались в виде “фоновых”

значений, подобно [2, 3]. Как и в [5–7], параметр шероховатости поверхности $z_0 = 0,1$ м. Начальный профиль потенциальной температуры имел постоянную температуру (265 К) в слое высотой 100 м от поверхности и наложенной слабой инверсии выше этой высоты (со скоростью возрастания 0,01 К/м) вплоть до верхней границы области интегрирования, где температура достигала значения 268 К (начальный профиль показан штриховой линией на рис. 2). Пограничный слой рассматривался, как сухоадиабатический.

Вертикальный профиль ветра после 10 часов интегрирования показан на рис. 1. Сравнение может быть проведено с результатами [6], полученными LES методом с высоким разрешением (вертикальный шаг 3,25 м). Эти данные показаны на рисунке зачернёнными квадратами, а другие LES данные отмечены отрезками горизонтальных линий с указанием стандартного отклонения от среднего значения. Сплошная линия показывает профиль скорости ветра, вычисленный по трёхпараметрической модели турбулентности. Отчетливо видно формирование струи на высоте, примерно, 175 м. Вычисленные профили потенциальной температуры на рис. 2 после 8 часов интегрирования со скоростью охлаждения поверхности 0,5 К/час (как и в LES эксперименте [7]) нанесены штрихпунктирной и сплошной линиями (с часовой разницей интегрирования между ними).

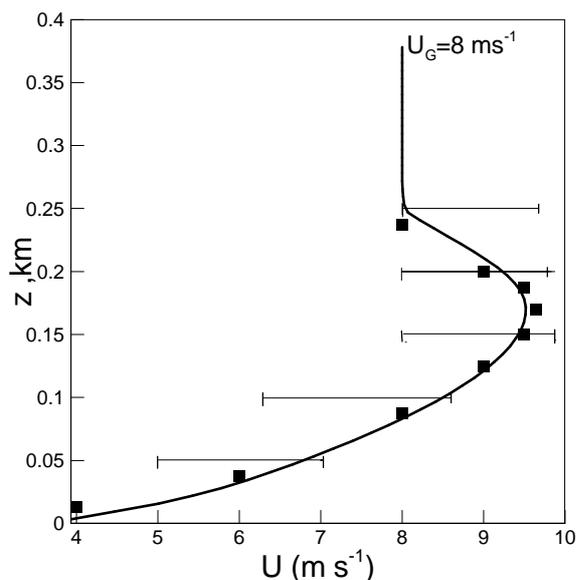


Рис. 1. Профили скорости ветра в устойчиво стратифицированном АПС. Сплошная линия – расчет, квадратные символы – LES данные [45], горизон-тальные линии – другие LES-данные

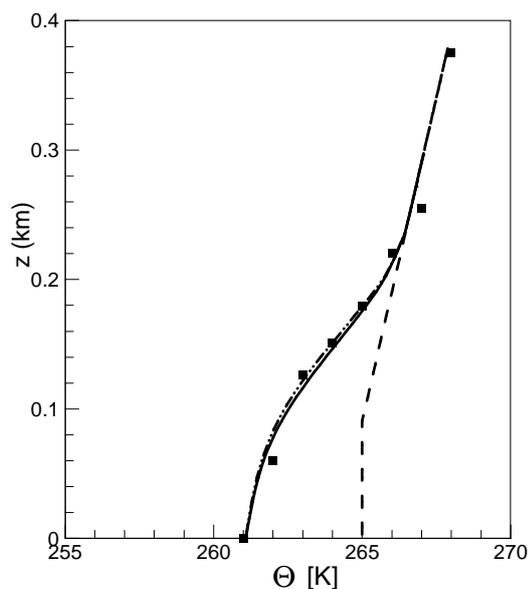


Рис. 2. Профиль потенциальной температуры в сравнении с данными измерений в пограничном слое надо льдом арктического моря. Штриховая линия – начальный профиль, сплошная линия-расчет, квадратные символы – данные

Зачерненными квадратами изображены данные самолетных измерений над Арктическим морем (приведены на Fig.1 в [7]). LES профиль в [7] практически совпадает с вычисленными профилями по трёхпараметрической модели и на рис. 2 не показан. Можно здесь отметить, что в эксперименте [7] рассматривался умеренно устойчивый пограничный слой (область интегрирования $600 \times 400 \times 500$ м), которая была недостаточной для разрешения длинноволновых гравитационных волн, наблюдавшихся над пограничным слоем в экспериментах (BASE). Взаимодействие 'волна-турбулентность' в [7] не моделировалось. Однако именно внутренние волны приводят к спадающему тренду турбулентного числа Прандтля, который может быть учтен в модели для турбулентных потоков путем включения частоты Брента-Вайсяля (внутренних гравитационных волн).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00004а), гранта интеграционного проекта № 23 по фундаментальным исследованиям СО РАН, Программы президиума РАН № 16, Программы ОМН РАН № 1.3.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Weinstock J. A theory turbulence transport. // Journal of Fluid Mechanics. – 1989. – V. 202. – P. 319–338.
2. А.Ф.Курбацкий, Л.И.Курбацкая. Трёхпараметрическая модель турбулентности для атмосферного пограничного слоя над урбанизированной поверхностью. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2006. – Т. 42, №4 – С. 476-494.
3. Kurbatskiy A.F., Kurbatskaya L.I. $E - \varepsilon - \langle \theta^2 \rangle$ turbulence model for an atmospheric boundary layer including the urban canopy. // Meteorology and Atmospheric Physics. – 2009. – V. 4. Issue 16. – P. 63-81. DOI: 10. 1007/s0703-009-0017-8.
4. Lee S-M., Glori W, Princevac M., Fernando H.J.S. Implementation of a stable PBL turbulence parameterization for the mesoscale model MM5: nocturnal flow in complex terrain. // Boundary-Layer Meteorology. – 2006. – V. 119. – P. 109–134.
5. Cuxart J. and coauthors. Single-column model Intercomparison for a stably stratified atmospheric boundary layer. // Boundary-Layer Meteorology. – 2006. – V. 118. – P. 273–303.
6. Beare R.J., and coauthors. An Intercomparison of large-eddy simulations of the stable boundary layer. // Boundary-Layer Meteorology. DOI: 10. 1007/s10546-004-2820-6.
7. Kosovic B., Curry J. A Large eddy simulation study of a quasi-steady, stably stratified atmospheric boundary layer. // Journal of the Atmospheric Sciences. – 2000. – V. 57. – P. 1052–1068.

УДК 528.88

А.В. Евтюшкин, А.В. Филатов

ЮНИИ ИТ, Ханты-Мансийск

МОНИТОРИНГ ПРОСАДОК ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ МЕТОДОМ РАДАРНОЙ ИНТЕРФЕРОМЕТРИИ

В статье рассмотрена методика совместного анализа результатов интерферометрической обработки радарных данных и материалов высокоточной геодезической съемки на территории Самотлорского геодинамического полигона. В результате интерферометрической обработки 18 радарных кадров ALOS/PALSAR получена площадная оценка вертикальных смещений земной поверхности.

A. V. Yevtyushkin, A. V. Filatov

Ugra Research Institute of Information Technologies (URIIT)

151 Mira Str., Khanty-Mansiysk, 628011, Russian Federation

MONITORING OF GROUND SURFACE VERTICAL DISPLACEMENTS IN AREA OF OIL AND GAS FIELDS BY RADAR INTERFEROMETRY

Given work describes method of joint analysis of the results of radar data interferometric processing and materials of first-order geodetic survey on the Samotlor geodynamic polygon. Areal estimation of ground surface vertical displacements is obtained as a result of interferometric processing of 18 ALOS/PALSAR data frames.

Для обеспечения геодинамической безопасности от влияния разработки недр на природную геоэкологическую среду, промышленные и гражданские сооружения, попадающие в площадь горного отвода, проводятся работы по горно-экологическому мониторингу. Для решения таких задач на территории лицензионных участков создаются геодинамические полигоны, состоящие из множества глубинных реперов. На основе анализа и интерпретации результатов комплекса высокоточных геодезических измерений на пунктах геодинамического полигона строятся картосхемы формирующейся мульды оседания. Для наблюдения за динамикой мульды оседания, образующейся в результате извлечения углеводородов, измерения необходимо проводить ежегодно, а для некоторых областей месторождения несколько раз в год. К тому же такой подход позволяет получать величины смещений лишь в точках установки реперов, что зачастую недостаточно для построения площадного покрытия.

Спутниковая радиолокационная интерферометрия является единственным методом дистанционного зондирования, обеспечивающим высокую точность определения высот и смещений за счет использования фазовой компоненты сигнала.

В работе [1] рассмотрены результаты обработки радарных кадров на территорию Самотлорского геодинамического полигона за 2007-2008 гг., в результате которой построены цифровая модель местности и карта вертикальных смещений земной поверхности. Карта смещений отражает геодинамическое состояние Самотлорского нефтяного месторождения, разрабатываемого более 40 лет, и на качественном уровне согласуется с мульдой оседания, построенной по данным наземных измерений на СГДП [1, 3].

На 2008-09 гг. ставилась задача построения карты смещений Самотлорского месторождения и прилегающих территорий, с целью оценки влияния соседних месторождений на формирование мульды оседания, а также повышения точности вертикальной составляющей. В работах [1, 2] рассмотрены основы метода радарной интерферометрии, а также влияние высокой временной декорреляции, вследствие которой для обработки выбраны радарные данные сенсора L-диапазона ALOS/PALSAR.

На рисунке 1 приведено покрытие Самотлорского месторождения и прилегающих территорий сценами PALSAR. Космоснимки предоставлены в рамках научного гранта от Японского аэрокосмического агентства (JAXA) по теме «Обнаружение подвижек земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи методом радиолокационной интерферометрии» (07/JAXA/ASP No. 0704001).

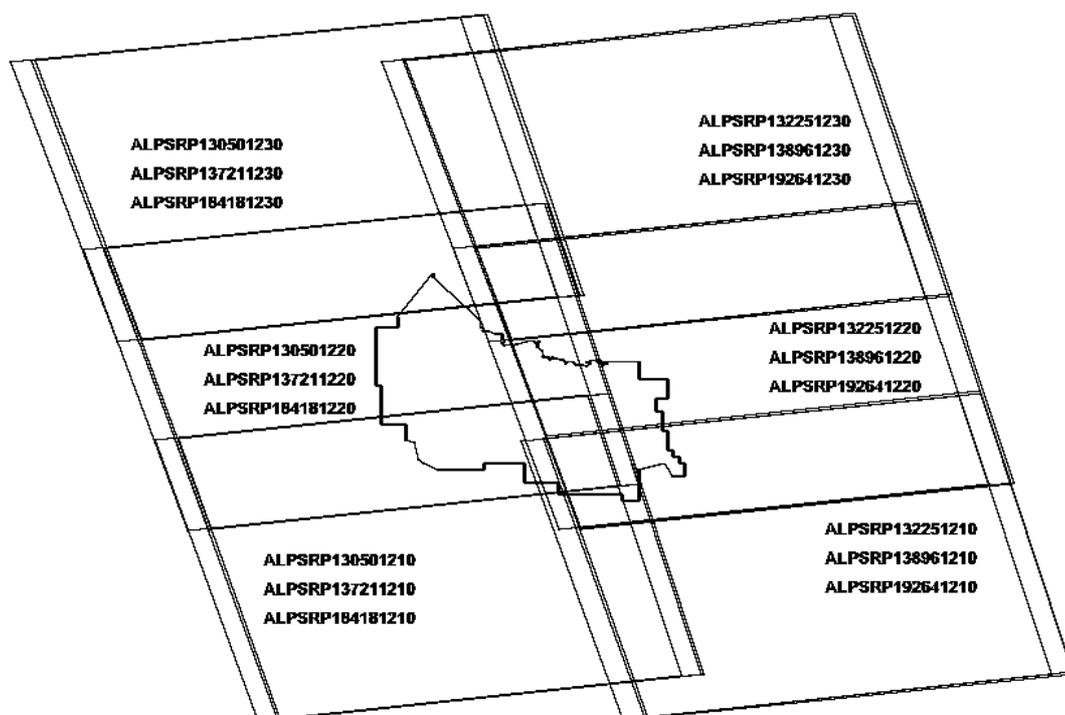


Рис. 1. Покрытие сценами ALOS/PALSAR

В таблице приведены составленные интерферометрические пары снимков и их применение в процессе обработки. Назначение исходных кадров определено в соответствии с параметрами съемки. В результате построены опорная цифровая модель местности и карта вертикальных смещений. Для получения абсолютных значений вертикальных смещений земной поверхности в качестве наземных опорных точек использованы пункты СГДП (0001–0085). Для корректировки карты смещений, также как и при обработке данных за 2007-08 гг. [4], использованы изменения высот пунктов СГДП за 2008-09 гг. Для территории, покрываемой радиолокационными снимками, на которую отсутствуют высокоточные наземные измерения, указаны опорные точки, для которых точек установлены нулевые смещения.

Интерферометрические пары PALSAR за 2008-09 гг.

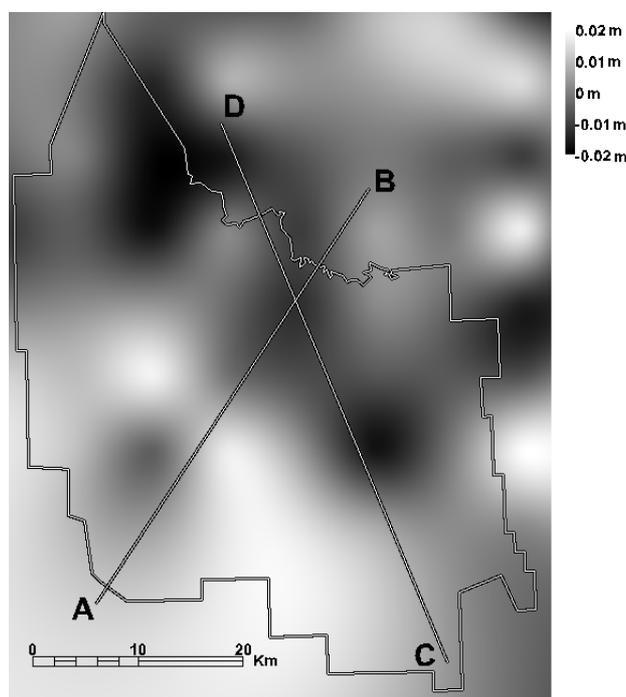
Master – снимок		Slave – снимок		Длина базовой линии, м
Идентификатор	Дата	Идентификатор	Дата	
Построение опорной цифровой модели рельефа				
ALPSRP130501210	06.07.08	ALPSRP137211210	21.08.08	3457
ALPSRP130501220	06.07.08	ALPSRP137211220	21.08.08	3468
ALPSRP130501230	06.07.08	ALPSRP137211230	21.08.08	3478
ALPSRP132251210	18.07.08	ALPSRP138961210	02.09.08	3233
ALPSRP132251220	18.07.08	ALPSRP138961220	02.09.08	3245
ALPSRP132251230	18.07.08	ALPSRP138961230	02.09.08	3258
Расчет вертикальных смещений земной поверхности				
ALPSRP130501210	06.07.08	ALPSRP184181210	09.07.09	476
ALPSRP130501220	06.07.08	ALPSRP184181220	09.07.09	476
ALPSRP130501230	06.07.08	ALPSRP184181230	09.07.09	476
ALPSRP132251210	18.07.08	ALPSRP192641210	05.09.09	231
ALPSRP132251220	18.07.08	ALPSRP192641220	05.09.09	230
ALPSRP132251230	18.07.08	ALPSRP192641230	05.09.09	227

На рис. 2а приведена сглаженная карта смещений, полученная в результате дополнительной интерполяции расчетных значений соответствующих территории Самотлорского лицензионного участка, границы которого обозначены на рисунке. Данная карто-схема позволяет выделить эпицентры и нулевую границу мульды оседания. На рисунках 2б и 2в приведены пространственные профили, которые отражают значения смещений, полученные методом интерферометрической обработки (тонкая линия), и результат интерполяции значений вдоль профиля (пунктирная линия).

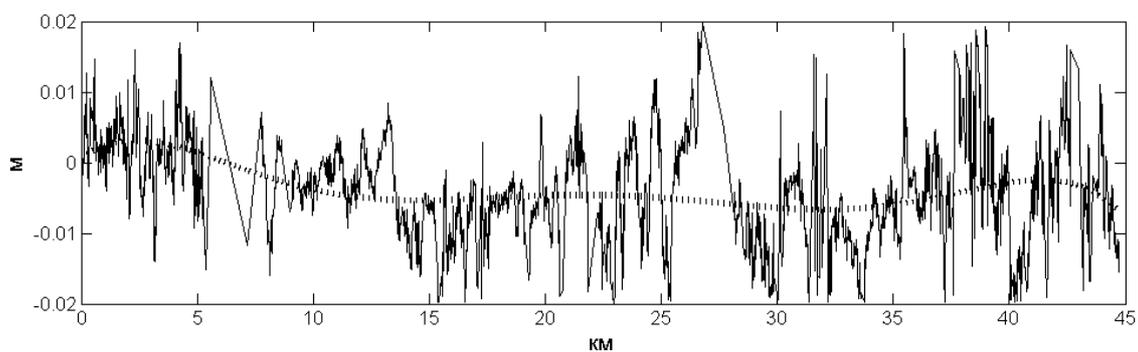
Проанализировав результаты интерферометрической обработки, можно сделать следующие выводы:

1. Точность определения смещений земной поверхности методом радиолокационной интерферометрии зависит от когерентности исходных амплитудно-фазовых измерений. Когерентность главным образом определяется способностью элементарных отражателей на поверхности сохранять свою ориентацию на поверхности в течение длительного времени. Вследствие этого погрешность определения смещений неравномерно распределена по полю кадра и зависит от ландшафта земной поверхности. Средняя погрешность

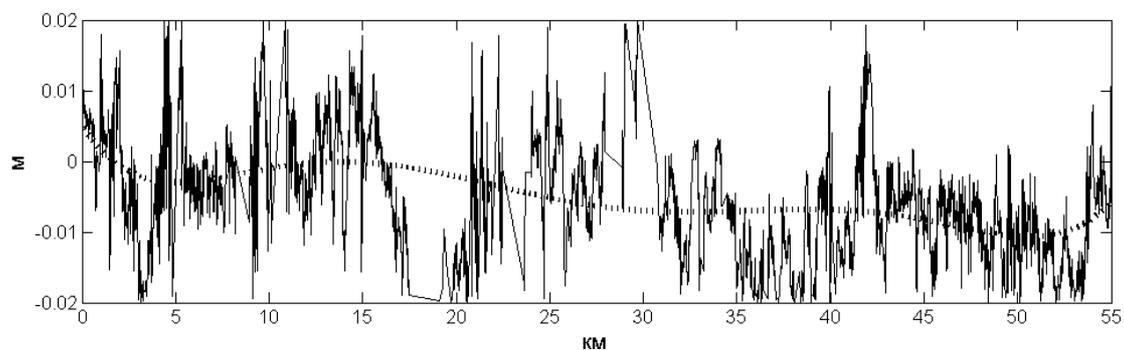
расчетных смещений, составляет 1см. Вследствие отсутствия высокоточных наземных измерений за пределами СГДП точность определения смещений ухудшается к краю карты смещений до 4 см.



а



б



в

Рис. 2. Вертикальные смещения земной поверхности Самотлорского месторождения за 2008-09 гг. по данным интерферометрической обработки:
а) площадная оценка, б) профиль АВ, в) профиль CD

2. Карта смещений отображает подвижки некоторой огибающей поверхности, отражающей радиолокационный сигнал. Вследствие этого получаемые смещения подвержены маскирующему влиянию растительного покрова. Для областей с низкой растительностью, которая является прозрачной для зондирующего сигнала L-диапазона (ALOS\PALSAR), расчетные смещения в большей степени соответствуют подвижкам блоков земной коры. Отрицательные смещения, в основном соответствуют зоне торфяных болот с низкой растительностью. Использование результатов радиолокационной съемки в одни и те же месяцы разных лет позволяет минимизировать влияние сезонных изменений уровня торфяных болот.

3. В ходе дальнейшего применения радиолокационной космической съемки рекомендуется использовать метод интерферометрической обработки постоянных когерентных отражателей (Persistent Scatterer Interferometry – PSI). Данная технология позволит достичь миллиметровой точности определения вертикальных смещений техногенных объектов, а ее совместное применение с методом площадной интерферометрии повысит качество получаемых карт смещений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Евтюшкин, А.В. Применение метода радарной интерферометрии для построения цифровых моделей рельефа и оценки смещений земной поверхности [Текст] / А.В. Евтюшкин, А.В. Филатов // Научно-технические ведомости СПбГПУ. - 2008. - №6. - С. 28-33.

2. Евтюшкин, А.В. Технология построения цифровых моделей рельефа и оценки смещений методом радарной интерферометрии [Текст] / А.В. Евтюшкин, А.В. Филатов // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Информационные технологии. - 2009. - Т. 7. - Вып. 1. - С. 66-72.

3. Евтюшкин, А.В. Оценка деформаций земной поверхности в районах интенсивной нефтедобычи в Западной Сибири методом SAR-интерферометрии по данным ENVISAT\ASAR и ALOS\PALSAR [Текст] / А.В. Евтюшкин, А.В. Филатов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. Выпуск 6. Том II. - М.: ООО «Азбука-2000», 2009. - С. 46-53.

4. Евтюшкин, А.В. Геодинамический мониторинг Самотлорского месторождения с использованием метода радарной интерферометрии [Текст] / А.В. Евтюшкин, А.В. Филатов, Ю.В. Васильев, О.С. Мартынов, А.В. Радченко // Тезисы и аннотации докладов региональной научно-технической конференции «Данные дистанционного зондирования Земли для решения практических задач развития территорий». / Екатеринбург: ФГУП «Уралгеоинформ», 2009. - С. 52-54.

УДК 551.796

С.Т. Им

ИЛ СО РАН, Красноярск

ПОГРЕШНОСТИ РАСЧЕТА УГЛОВ И АЗИМУТАЛЬНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ СКЛОНОВ ПО ДАННЫМ SRTM

В данном исследовании получены формулы для оценки погрешностей углов и азимутальных направлений склонов, вычисленных из цифровой модели высот. На примере цифровой модели SRTM получены оценки погрешностей, которые использовались в анализе распределения лесных территорий в горах Тувы по элементам рельефа.

S.T. Im

V.N. Sukachev's Institute of Forest SB RAS

Academgorodok, 20-64, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

SLOPE AND ASPECT ERRORS DERIVED FROM SRTM

In this research equations to estimate errors of slopes and aspects derived from DEM were determined. Errors for SRTM were determined and used in the analysis of forest stands distribution in Tuva mountainous region.

Пространственное распределение лесных территорий существенно зависит от рельефа местности. Поэтому при анализе динамики лесов следует учитывать изменения, связанные с элементами рельефа. В настоящее время азимутальные углы и склоны легко вычисляемы из существующих цифровых моделей местности при помощи инструментов ГИС. Однако, для их адекватного использования необходимо, также знать точность их расчета.

Цель исследования заключалась в оценке погрешностей расчета углов склонов и их азимутальных направлений.

Оценка погрешности вычисления азимутальных углов. Слой азимутальных углов представляет собой полутоновое изображение, в котором значения пикселя соответствуют преобладающим направлениям склонов, и измеряется в градусах. Принято, что 0 градусов соответствует северному направлению, 90 – восточному, 180 – южному, 270 – западному. Преобладающее направление пикселя вычисляется как преобладающее направление поверхности, соответствующей 8 соседним пикселям. Для расчета используется следующая формула:

$$\theta = \frac{180}{\pi} \cdot \arctg(\Delta x / \Delta y), \quad (1)$$

где θ – азимутальное направление склона в градусах; Δx , Δy – вариации высот между соседними пикселями по x и y направлениям, соответственно.

В соответствии с формулой (1) и теорией вычисления погрешностей выведена формула для вычисления ошибки [Тейлор, 1985]:

$$\delta(\theta) = \frac{180 * \delta H}{\pi} * \sqrt{\frac{2}{3 * ((\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)}}, \quad (2)$$

где $\delta(\theta)$ – погрешность вычисления азимутального угла направления склона; δH – относительная ошибка определенных высот по данным модели рельефа (для SRTM в Евразии равна 8.7 м [Rodriguez et al, 2006]).

Оценка погрешности вычисления углов склонов. Подобно слою азимутальных углов, изображение склонов, также строиться на основе расчета разностей высот между соседними пикселями к анализируемому пикселю. Для вычисления используется формула (3).

$$\beta = \frac{180}{\pi} \cdot \arctg\left(\frac{\sqrt{(\Delta x / X_s)^2 + (\Delta y / Y_s)^2}}{2}\right), \quad (3)$$

где β – преобладающий угол склона в градусах; X_s , Y_s – пространственное разрешение по x и y направлениям, соответственно (для SRTM $x = y = L = 90$ м [GIS-Lab]).

Для оценки погрешности получена следующая формула:

$$\delta(\beta) = \frac{180 \cdot 4 \cdot \sqrt{2} \cdot \delta H}{\pi \cdot L \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{1}{(4 + (\Delta x)^2 + (\Delta y)^2)}, \quad (4)$$

где $\delta(\beta)$ – погрешность вычисления углов склонов.

Экспериментальное

использование формул. Формулы оценки погрешностей вычисления углов и азимутальных направление склонов использованы в анализе распределения древостоев по элементам рельефа на ключевом участке, расположенном в горной лесотундре хр. Сенгилен р. Тувы.

Установлено, что с ростом вариации высот между соседними пикселями ошибка вычисления азимутального угла уменьшается. В модели SRTM при вариации высот между соседними пикселями в 20 м приводит к погрешности менее 14 градусов. Ошибка вычисления угла склона падает с его увеличением; для SRTM ошибка не превышает 4.5 градусов и составляет менее 3.5

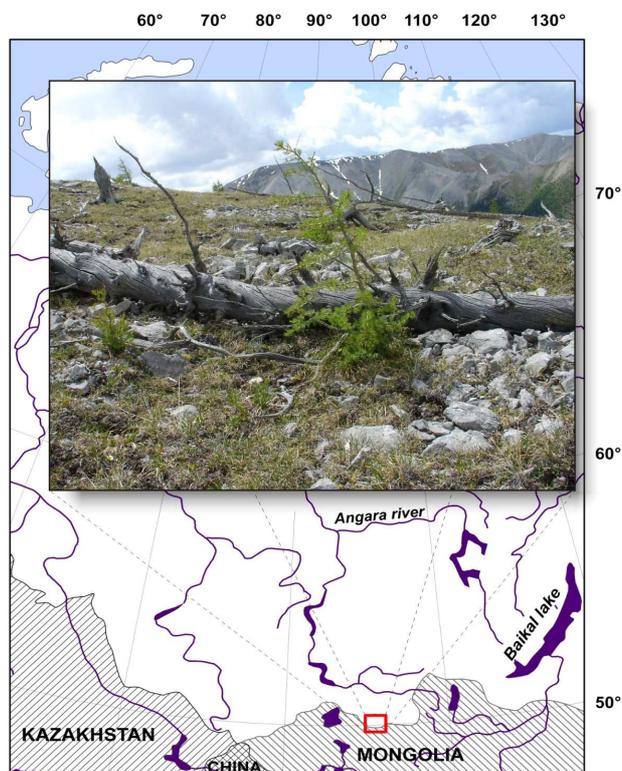


Рис. 1. Тестовый участок в Туве (красный квадрат)

градусов при угле склона более 30 градусов.

На примере хр. Сенгилен вычислены среднеквадратичные погрешности оценок элементов рельефа для территорий кедрово-лиственничных насаждений по данным SRTM.

В 95 % погрешность вычислений азимутальных углов не превышает 18 градусов, в 90 % она менее 13 градусов (рис. 2).

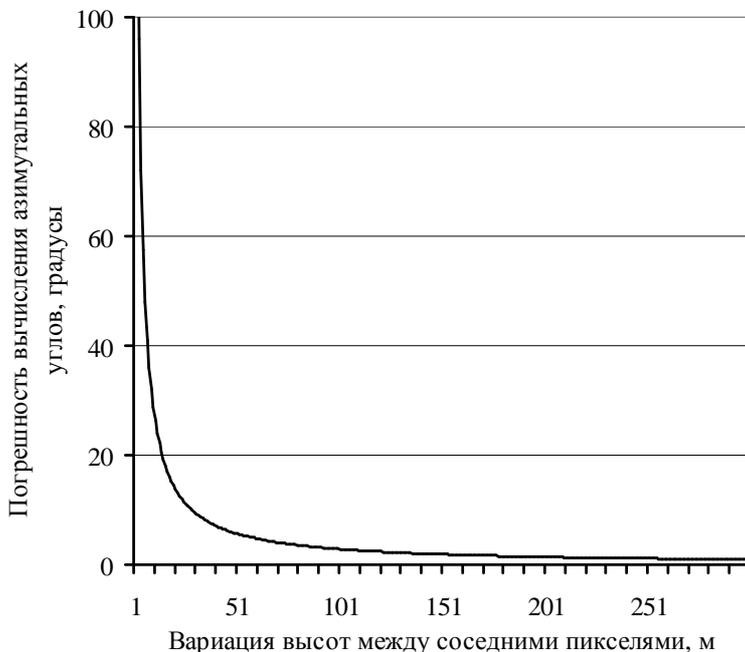


Рис. 2. Зависимость погрешности расчета азимутальных углов в зависимости от вариации высот между соседними пикселями

Ошибка для углов склонов на 95 % территории лесов менее 4.5. Это близко к верхней границе оценки ошибка т.к. для большей части территории характерны углы менее 21 градуса (рис. 3).

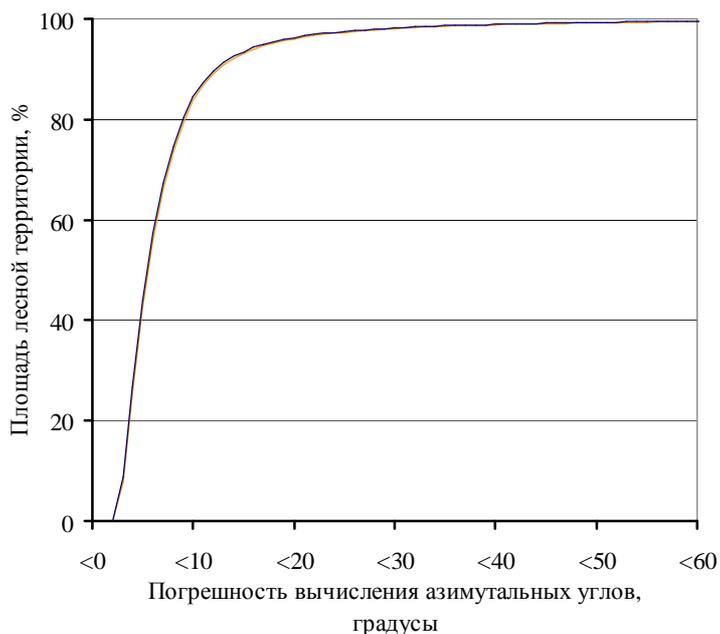


Рис. 3. Распределение погрешности вычисления азимутальных углов по площади лесных территорий

По топографическим картам 1965 и 1983 гг., и космической съемке Landsat 2002 г. выделены древостои. Из анализа распределения лесных территорий по азимутальным направлениям склонов для различных высотных срезов следует их неоднородность. Достоверно установлено, что с повышением высоты над уровнем моря преимущественное расположение древостоев изменяется с северного направления на восточное (рис. 4). Данный факт связан с преобладающими направлениями ветров. Также, наблюдается продвижение древесной растительности по высоте вверх, что, вероятно, связано с потеплением в последние три десятилетия.

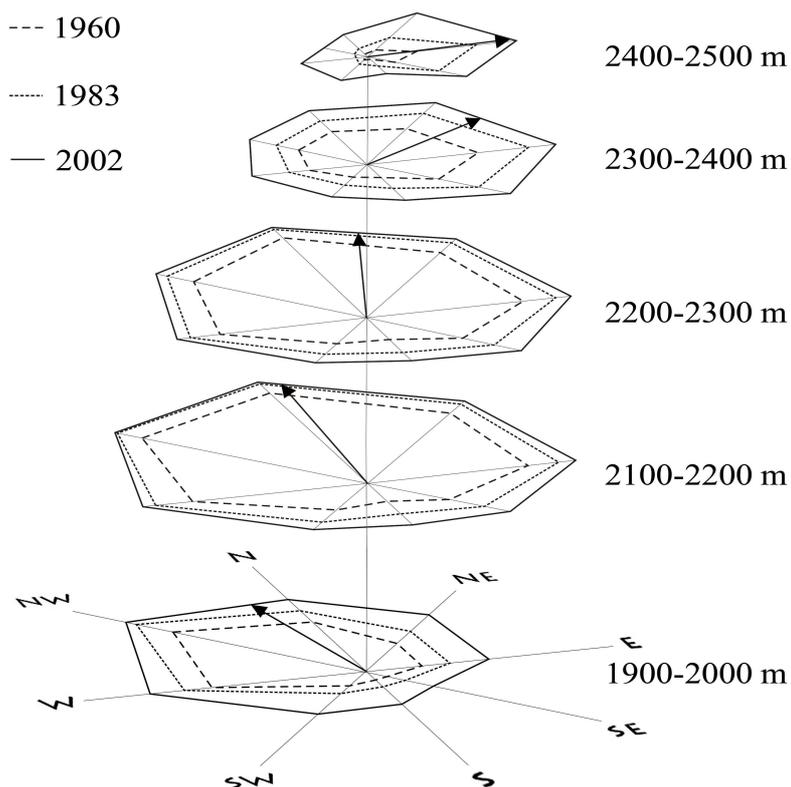


Рис. 4. Распределение древостоев по азимутальным направлениям склонов для различных высотных срезов на ключевом участке Сенгилен в Туве

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тейлор, Дж. Введение в теорию ошибок [Текст] / Дж. Тейлор // М.: Мир. – 1985. – 270 с.
2. Rodriguez, E., Morris, C.S., Belz, J.E. A Global Assessment of the SRTM Performance [Текст] / E. Rodriguez, C.S. Morris, J.E. Belz // PhEngRS. – 2006. – V.72, № 3. pp. 249 – 260.
3. GIS-Lab. О данных SRTM и их импорте с помощью Arcinfo Workstation [Electronic resource] / Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>.

УДК 551.796

С.Т. Им

ИЛ СО РАН, Красноярск

ВЛИЯНИЕ РАЗРАБОТКИ ВАНКОРСКОГО НЕФТЕГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И ГИС

В данном исследовании проведен анализ пространственно-временной динамики разработки Ванкорского нефтегазового месторождения. Сделана оценка влияния разработки месторождения на окружающую среду по данным космической съемки Landsat.

S.T. Im

V.N. Sukachev's Institute of Forest SB RAS

Academgorodok, 20-64, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

ENVIRONMENTAL EFFECTS OF VANKOR OIL-GAS FIELD DEVELOPMENT EVALUATION BASED ON REMOTE SENSING DATA AND GIS

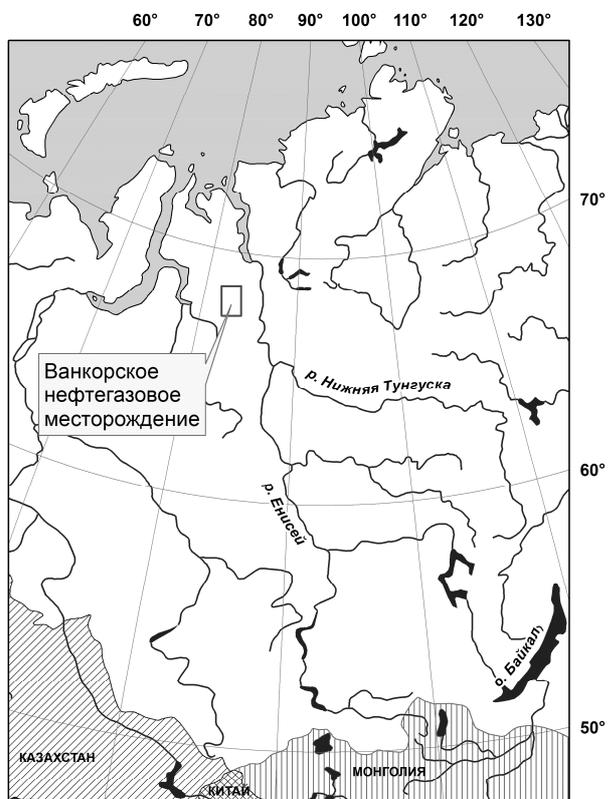


Рис. 1. Расположение объекта исследования – Ванкорского нефтегазового месторождения

In this research spatial-temporal dynamics of Vankor oil-gas field development was investigated. And its environmental effects were estimated based on Landsat data.

Цель исследования заключалась в анализе влияния разработки нефтегазового Ванкорского месторождения на окружающую среду.

Объект исследования. Ванкорское месторождение расположено в северо-западной части Красноярского края вблизи границы с Западной Сибирью (Ямало-Ненецкий автономный округ, рис. 1.). Район характеризуется сложными природно-климатическими условиями лесотундры и подзоны северной тайги, суровым климатом, наличием многолетней мерзлоты.

Большая часть территории занята тундрами, болотами и заболоченными территориями. Древостои представлены лиственничными рединами и редколесьями с участием ели, приуроченными к берегам озер и рек.

Материалы и методика. В анализе использован временной ряд космоснимков: 1973 – съемка Landsat1/MSS (2 снимка), 1987 – съемка Landsat5/TM (2 снимка), 2002 – съемка Landsat7/ETM+ (2 снимка), 2007 – съемка Landsat5/TM (3 снимка), 2008 – съемка Landsat7/ETM+ (6 снимков).

На основе картографических материалов, данных полевых исследований и экспертных знаний сформированы обучающие выборки основных классов наземной поверхности. Для обнаружения изменений использованы алгоритмы Change Detection, основанные на разностях величин яркостей в различных каналах и их комбинаций. Таким образом, был сформирован временной ряд классификационных картосхем Ванкорского месторождения (1973, 1987, 2002, 2007, 2008 гг., рис. 2). Выделены двенадцать классов – лиственничные древостои; смешанные древостои; кустарники; кустарничковые тундры; лишайниковые тундры; травяные сообщества; заболоченные территории; минерализованные поверхности; инфраструктура и техногенные участки; водные поверхности; гари; дороги, просеки и профиля.

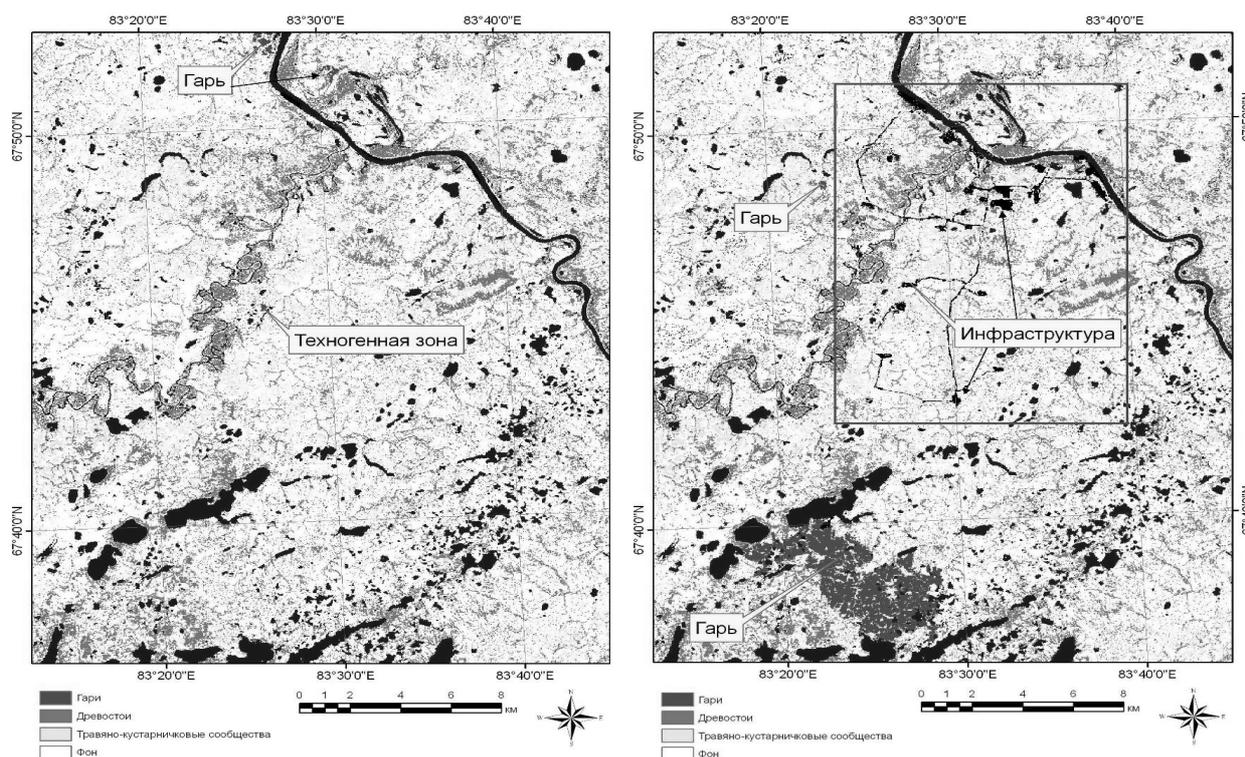


Рис. 2 Примеры сформированных картосхем Ванкорского месторождения по данным космической съемки Landsat. Слева – 1987 г., справа – 2008 г.

По временному ряду картосхем сформированы диаграммы динамики основных классов, по которым сделаны оценки изменения, связанные с разработкой месторождения.

Результаты и обсуждение. Дешифрирование временных рядов космоснимков на Ванкорское месторождение позволило генерировать серию

карт, охватывающую период 1973–2008 гг. Это позволило проследить временную динамику основных классов подстилающих поверхностей в зоне Ванкорского месторождения и на прилегающих фоновых территориях, определить масштабы техногенных воздействий.

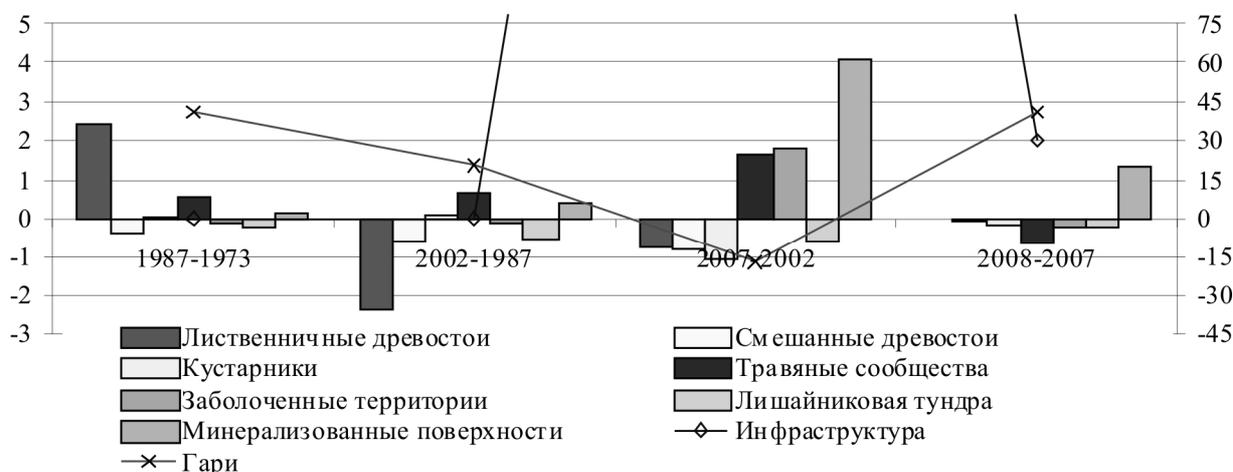


Рис. 3. Динамика прироста площадей классов по периодам в процентах в год (для гистограмм ось ординат расположена слева, для линий – справа)

К 2008 г. площадь, соответствующая техногенным воздействиям, составляла ~975 га. Объекты инфраструктуры занимали территорию ~340 га. В пределах основной зоны Ванкорского месторождения протяженность дорог составляет ~ 210 км, протяженность профилей ~ 25 км.

К техногенным воздействиям относится и часть пожаров на территории Ванкорского месторождения. Значимость пирогенного фактора требует определения влияния объектов НГО на пирологический режим лесных и тундровых экосистем. В 80–90-е годы установлено возникновение гарей в южной части анализируемой территории, включая значительные территории лишайниковой тундры. В период с 1987 по 2002 гг. площадь гарей составила ~26 тыс. га. В начале 21-го века пожары возникали вблизи Ванкорского месторождения. Например, в 2002 возникло 3 гари, в 2008 г. – 7 гарей с площадью > 50 га. Отметим, что по данным съемки 1973 г. обнаружена одна гарь.

До разработки месторождение лиственничные древостой имели тенденцию к освоению новых территорий, а после – стали сокращаться (на ~2%), особенно это заметно в период интенсивного развития инфраструктуры (1987-2007 гг., рис. 3.). Развитие инфраструктуры и зарастание гарей привело к увеличению заболоченных участков (на ~2%), что, возможно, связано с изменением теплового режима. Разработка карьеров и зачистка местности для формирования инфраструктуры привело к увеличению площади минерализованных поверхностей (на ~4%).

Таким образом, на примере Ванкорского месторождения показано существенное влияние антропогенного фактора на окружающую среду, где наибольший вред связан появлением гарей и развитием инфраструктуры, рубкой древостоев и уничтожением лишайниковой тундры, восстановление

которых сильно затруднено в суровых условиях севера. В данном случае текущее потепление климата может сыграть свою роль в качестве одного из восстановительных факторов.

© С.Т. Им, 2010

УДК 551.511.61

В.В. Коковкин, В.Ф. Рапута, А.Ю. Девятова, В.А. Чирков, О.Е. Казьмин
ИНХ СО РАН, ИВМиМГ СО РАН, ИННГ СО РАН, УГМС, Новосибирск

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА Г. НОВОСИБИРСКА

Приведены результаты экспериментальных исследований загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова вблизи стационарных постов Гидрометеослужбы г. Новосибирска. Установлены качественные и количественные закономерности между содержанием ряда измеренных компонентов примеси в атмосфере и снеге, включающих сажу, бенз(а)пирен, взвешенные вещества, окислы азота, серы. Обсуждается возможность создания взаимно дополнительных систем мониторинга и получения на её основе более детальной оценки состояния длительного загрязнения атмосферы города.

V.V. Kokovkin, V.F. Raputa, A.Yu. Devyatova, V.A. Chirkov, O.E. Khazmin
NIIC SB RAS, ICM&MG SB RAS, IPG&G SB RAS, MHMS, Novosibirsk

ANALYSIS OF ATMOSPHERE AND SNOW COVER LONG-TERM CONTAMINATION CONDITION FOR THE CITY OF NOVOSIBIRSK

The results of atmosphere and snow cover contamination experimental observations at Novosibirsk Hydrometeoservice net stationary posts are presented. Qualitative and quantitative regularities between measured content of impurity component series in atmosphere and snow including soot, benzo(a)pyrene, suspended substances, nitrogen and sulfur oxides are obtained. A possibility of creation of mutually complement monitoring system and estimation on its basis more detailed long term city atmosphere contamination is discussed.

Введение.

Источниками загрязнения атмосферного воздуха г. Новосибирска являются дымовые трубы промышленных предприятий, ТЭЦ, котельных, а также автомобильный транспорт. К доминирующим загрязняющим примесям следует отнести пыль, сажу, тяжёлые металлы, окислы углерода, серы, азота, формальдегид, полиароматические углеводороды (ПАУ). Для оценки уровня загрязнения атмосферы города создана сеть стационарных постов наблюдений [1]. В настоящее время в Новосибирске функционирует 10 постов, исходя из расчёта один пост на один район города.

Снежный покров является удобным индикатором аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха. Изучение пространственного распределения загрязнения в снеге позволяет ответить на многие вопросы: выявить источники выбросов аэрозольных примесей, дифференцировать зоны интенсивности воздействия и

дальность распространения, оценить суммарный выброс и характеристики дисперсного состава примеси [2]. Особый интерес снежный покров представляет при изучении процессов длительного загрязнения (месяц, сезон).

Целью данной работы является выявление качественных и количественных взаимосвязей между концентрациями определённых примесей на основании сопряженных исследований загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова на постах г. Новосибирска.

1. Мониторинг загрязнения атмосферы и снежного покрова города.

Контроль качества атмосферного воздуха проводится по четырем основным параметрам (взвешенные вещества, диоксиды серы и азота, оксид углерода) и специфическим (оксид азота, хлористый водород, аммиак, фтористый водород, формальдегид, бенз(а)пирен и др.). Посты подразделяются на "региональные фоновые" (ПНЗ 47), "городские фоновые" в жилых районах (ПНЗ 24, 26), "промышленные" вблизи предприятий (ПНЗ 18, 19, 25) и "авто" вблизи автомагистралей или в районах с интенсивным движением транспорта (ПНЗ 1, 21, 49, 54). Это деление является в значительной степени условным, так как взаимное размещение жилых районов города, промышленных площадок предприятий, автомагистралей не позволяет сделать четкого разделения.

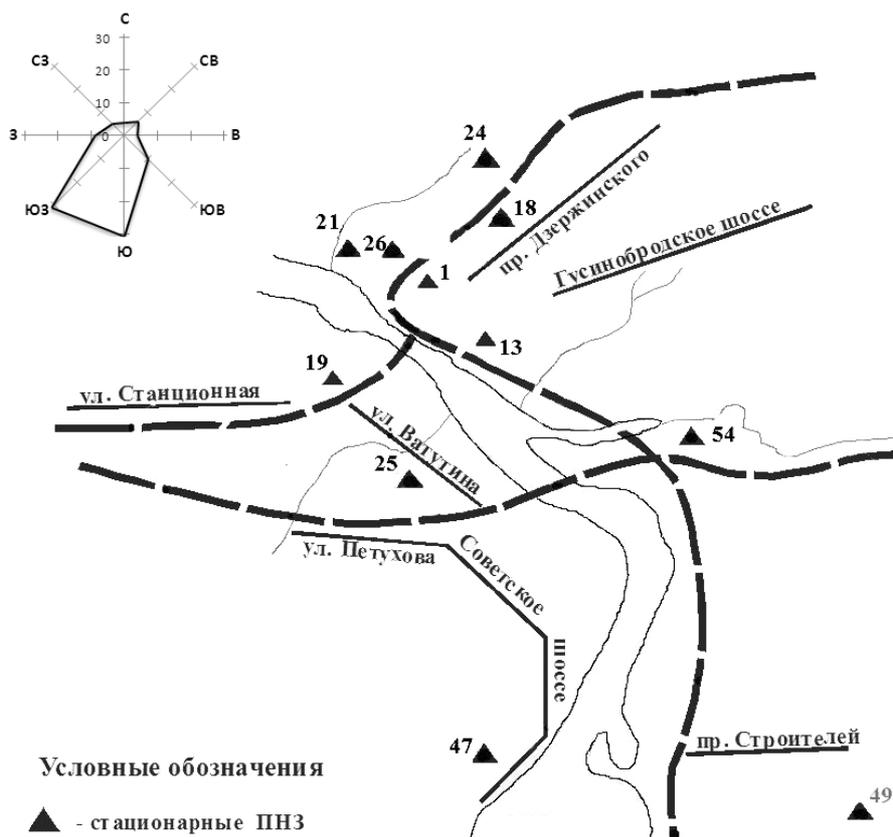


Рис. 1. Схема размещения стационарных ПНЗ на территории г. Новосибирска

Для Новосибирска характерно повышенное содержание в воздухе взвешенных веществ. Значительное влияние на повышенную запыленность воздуха города оказывают недостаточная благоустроенность территории, качество дорог, малое количество зелёных насаждений, а также

метеорологические условия (скорость ветра, количество и интенсивность атмосферных осадков).

Основные источники выброса сажи в атмосферу города – это ТЭЦ и котельные, работающие на твердом и жидком топливе; печные трубы частного сектора; автомобильный и железнодорожный транспорт. Повышенное содержание бенз(а)пирена в атмосфере отмечается в холодный период года, что связано с увеличением нагрузки на отопительную систему (возрастает количество сжигаемого топлива). Повышенное содержание бенз(а)пирена отмечается на автомагистральных постах, расположенных в Центральном и Заельцовском районах города.

Для атмосферы города характерно повышенное содержание оксидов азота, особенно диоксида азота. Источниками загрязнения атмосферы оксидами азота являются предприятия топливно-энергетического комплекса, котельные, дымовые трубы печей частного сектора, промышленные предприятия, автотранспорт, железнодорожный транспорт. Диоксид серы поступает в атмосферный воздух, как с выбросами от стационарных источников, так и с отработанными газами автотранспорта. Больше всего этой примеси содержится в выбросах автотранспорта, работающего на дизельном топливе.

Отбор проб снега производился в конце зимних сезонов 2008 и 2009 г.г. вблизи стационарных ПНЗ г. Новосибирска. Анализ снежных проб проводили в лаборатории после их топления по разным схемам в зависимости от природы определяемых компонентов. Неорганические компоненты определяли после топления проб как в осадках, так и фильтратах. Органические компоненты, в основном ПАУ, определяли после их экстракционного концентрирования в хлористый метилен из всего объема нефильтрованной пробы. После упаривания сухой остаток растворяли в ацетоне. Полученный раствор анализировали методом газовой хроматографии с масс-спектрометрическим детектором.

2. Параметры для сравнения загрязнения атмосферного воздуха и снега

Для прямого сравнения результатов измерений в воздухе и снеге были выбраны соответственно следующие параметры: взвешенные вещества (пыль) и осадок; бенз(а)пирен в обеих средах; сажа воздуха сопоставлялась с бенз(а)пиреном и суммой ПАУ в снеге. К сожалению, бенз(а)пирен в г. Новосибирске измеряется только на трёх ПНЗ. Поэтому для расширения объёма выборок сравнения в данной работе была использована сажа, содержание которой в атмосфере измеряется на всех ПНЗ и которая является известным индикатором присутствия бенз(а)пирена (ПАУ) в воздухе [3].

Другими неочевидными параметрами для сравнения в рассматриваемых средах нами были выбраны: оксиды азота (NO_2 , NO), с одной стороны, и нитраты, нитриты, с другой, а также оксид серы(IV) и сульфаты. Из литературных данных известно, что оксиды азота и серы являются газовыми предшественниками вышеперечисленных анионов в аэрозольных выпадениях в снег. Расчёт среднезимних концентраций примесей, измеряемых в атмосфере, проводился за период времени с середины ноября по середину марта, что

примерно соответствует периоду залегания устойчивого снежного покрова в городе.

3. Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований приводятся в виде диаграмм, на которых по вертикальной оси представлена величина сопоставляемых параметров, на горизонтальной оси указаны порядковые номера ПНЗ. В случаях, когда между сравниваемыми величинами помимо качественного имеется и достаточно близкое количественное согласие, приводятся также диаграммы отношений (K) соответствующих параметров в снеге и воздухе.

Осадок в снеготалой пробе / взвешенные вещества в атмосфере. На рис. 2а представлена диаграмма отношений концентраций этих параметров по восьми ПНЗ за зимний сезон 2008-2009 г.г. Из диаграммы видно, что разброс отношений (K) довольно значительный и находится в интервале 0,3 до 1,5 единиц. Максимальное значение K достигается для ПНЗ 21, минимальное – для ПНЗ 47.

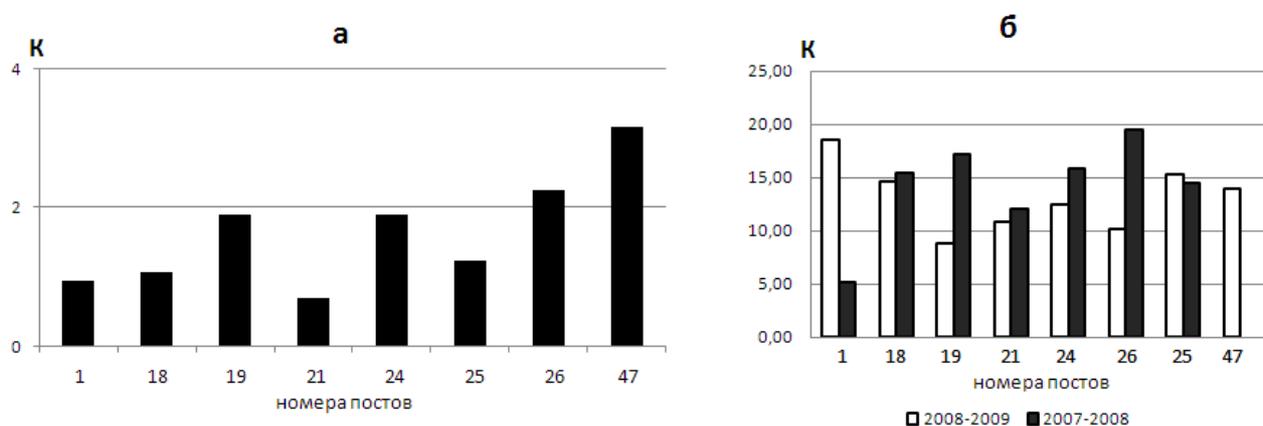


Рис. 2. Отношение концентраций (K) взвешенных веществ в воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$) к удельному осадку в снеге ($\text{мг}/\text{л}$) за зимний период 2008-2009 г.г. (а), а также диоксида азота в воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$) к концентрации нитрат-ионов в снеге ($\text{мг}/\text{л}$) за зимние сезоны 2007–2009 гг. (б) для ПНЗ г. Новосибирска

Вместе с тем на рис. 2а можно выделить две группы постов, близких по значениям величины K . В первую группу следует включить ПНЗ 1, 19, 21, 25, а во вторую – ПНЗ 18, 24, 46, 47. Такое разделение между группами можно объяснить разнородностью территорий расположения ПНЗ.

Нитрат-анионы / оксид азота(II, IV). Сопоставление изменения концентраций оксидов азота в атмосферном воздухе, а также нитрат-анионов в снежном покрове на ПНЗ дало вполне удовлетворительное согласие (рис. 2б) для обоих зимних сезонов. Совместный анализ данных показал, что в зимнем сезоне 2008-2009 г.г. произошло резкое, более чем в 2 раза, уменьшение содержания как оксидов азота(IV) в воздухе, так и нитрат-ионов в снеге по сравнению с сезоном 2007-2008 г.г. Такое согласованное уменьшение измеряемых параметров в обеих средах на всех ПНЗ не является случайным. Оно связано как с изменением структуры, так и снижением мощности выбросов

источников оксидов азота. Возможной причиной этого могут быть кризисные процессы в экономике, начавшиеся в 2008 г.

Сумма ПАУ / сажа; бенз(а)пирен / сажа. На рис. 3 представлены значения концентраций сажи в воздухе, а также суммы ПАУ и бенз(а)пирена в снеге за зимние сезоны 2007–2008 г.г. и 2008–2009 г.г. Из приведённых диаграмм видно, что значения рассматриваемых параметров от поста к посту меняются вполне согласованно. В целом, большим значениям суммы ПАУ и бенз(а)пирена в снеге соответствуют большие значения сажи в воздухе. Следует также отметить, что в среднем по постам содержание суммы ПАУ и бенз(а)пирена в снеге для обоих зимних сезонов было примерно одинаковым. Это означает, что структура и мощность источников ПАУ в г. Новосибирске практически не отличалась в рассматриваемые периоды времени.

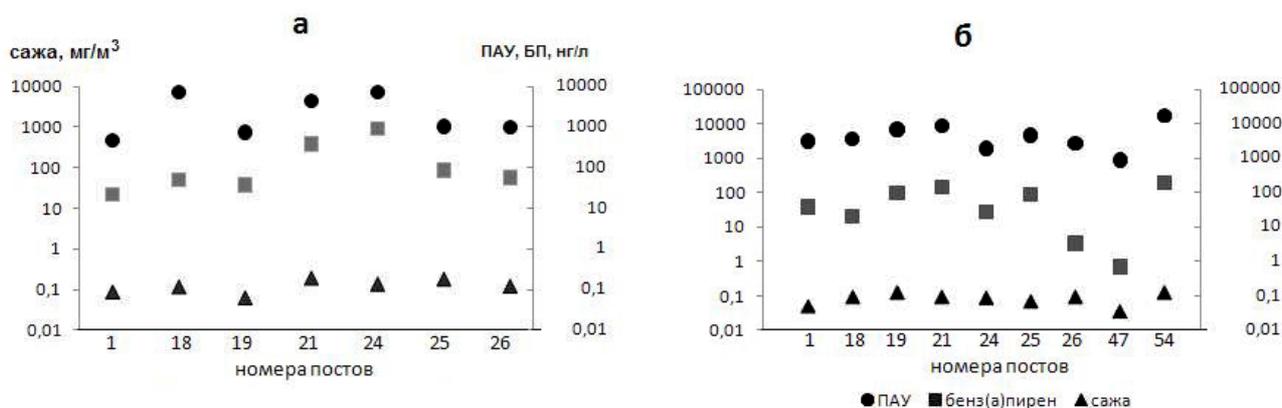


Рис. 3. Содержание сажи в атмосферном воздухе ($\text{мг}/\text{м}^3$), а также бенз(а)пирена и суммы ПАУ в снежном покрове ($\text{нг}/\text{л}$) на постах г. Новосибирска для зимних сезонов: а) 2007–2008 г.г.; б) 2008–2009 г.г.

Результаты экспериментальных исследований и численного анализа данных наблюдений загрязнения атмосферного воздуха и снежного покрова на стационарных постах Гидрометеослужбы г. Новосибирска позволили установить качественные и количественные закономерности между концентрациями ряда компонентов примеси, таких как сажа и бенз(а)пирен (ПАУ); оксиды азота и нитрат/нитрит-анионы; диоксид серы и сульфаты; взвешенные вещества и осадок. Наиболее высокий уровень согласия получен между уровнями концентраций нитратов и нитритов в снеге и соответствующими окислами азота в атмосфере. Результаты этих исследований могут быть использованы для взаимного контроля данных наблюдений в снеге и приземном слое воздуха, существенно дополнить в зимнее время стационарную сеть наблюдений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 16.4, ИП СО РАН № 84.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Безуглая, Э.Ю. Мониторинг состояния загрязнения атмосферы в городах. / Э.Ю. Безуглая / Л.: Гидрометеоиздат, 1986. – 200 с.

2. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова. / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман / Л.: Гидрометеоиздат, 1985. – 182 с.

3. Ровинский, Ф.Я. Фоновый мониторинг полициклических ароматических углеводородов. / Ф.Я. Ровинский, Т.А. Теплицкая, Т.А. Алексеева / Л.: Гидрометеоиздат, 1988. – 224 с.

© В.В. Коковкин, В.Ф. Рапута, А.Ю. Девятова, В.А. Чирков, О.Е. Казьмин,
2010