



МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ

"НАУКИ О ЗЕМЛЕ"

INTERNATIONAL SCIENTIFIC, TECHNICAL
AND INDUSTRIAL ELECTRONIC JOURNAL
"GEO SCIENCE"

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

№ 01 - 2011

В НОМЕРЕ

Задачи установления единой
системы высот

Роль геодезического мониторинга
при прогнозе землетрясений

Совершенствование технологии
создания ортофотопланов

Калибровка неметрических
фотокамер и их применение
для задач фотограмметрии

Полевые исследования современных
пешеходных магнитометров

Проблемы орошения ягодных
и овощных культур

ГЛАВНАЯ ТЕМА НОМЕРА:

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ
РОССИЙСКИЙ ОТЧЕТ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
АССОЦИАЦИИ ГЕОДЕЗИИ
МЕЖДУНАРОДНОГО
ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО
И ГЕОФИЗИЧЕСКОГО СОЮЗА**

Международный научно-технический и производственный электронный журнал «Науки о Земле» (International scientific, technical and industrial electronic journal «Geo Science») является периодическим электронным изданием, цель которого публикация статей ученых и специалистов, занимающихся изучением широкого круга проблем, объединенных общим объектом исследования – Землей.

Выходит 4 раза в год

Свидетельство Роскомнадзора Эл№Фс77-44805 от 29.04.2011
ISSN: 2223-0831, Журнал включен в Российский индекс научного цитирования

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

БАРАНОВ ВЛАДИМИР НИКОЛАЕВИЧ
БАТРАКОВ ЮРИЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
ГАВРИЛОВА ЛАРИСА АНАТОЛЬЕВНА
ДОКУКИН ПЕТР АЛЕКСАНДРОВИЧ
ДОКУКИНА КСЕНИЯ АЛЕКСАНДРОВНА
КАФТАН ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ
КОСИНСКИЙ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ
ЛЕВИН ЕВГЕНИЙ
МАЛИННИКОВ ВАСИЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ
НАГОРНЫЙ ВИКТОР ДМИТРИЕВИЧ
ПЕВНЕВ АНАТОЛИЙ КУЗЬМИЧ
ПЛЮЩИКОВ ВАДИМ ГЕННАДЬЕВИЧ
РЯЗАНЦЕВ ГЕННАДИЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ
САВИНЫХ ВИКТОР ПЕТРОВИЧ
ТАТЕВЯН СУРИЯ КЕРИМОВНА
ХАРЧЕНКО СЕРГЕЙ ГРИГОРЬЕВИЧ
ЧЕПУРИН ЕВГЕНИЙ МИХАЙЛОВИЧ
ЮЗЕФОВИЧ АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

ДОКУКИН ПЕТР АЛЕКСАНДРОВИЧ
ПОДДУБСКИЙ АНТОН АЛЕКСАНДРОВИЧ
ПОДДУБСКАЯ ОЛЬГА НИКОЛАЕВНА
КОМКОВ ДМИТРИЙ СЕРГЕЕВИЧ

Главный редактор:

Докукин Петр Александрович dokukin@geo-science.ru

Шеф-редактор (первый заместитель главного редактора):

Поддубский Антон Александрович poddubsky@geo-science.ru

Заместитель главного редактора по международным связям:

Поддубская Ольга Николаевна poddubsky@geo-science.ru

Учредитель (издатель): ООО «ГеоДозор»,

Россия, Москва, 109129, а/я 39 / Russia, Moscow, index 109129, PoBOX 39

Генеральный директор: Семисчастнов Олег Ярославович

Электронный адрес

<http://geo-science.ru>

Электронная почта

jornal@geo-science.ru

СОДЕРЖАНИЕ / CONTENTS

Главная тема номера: Российский Национальный отчет Международной ассоциации геодезии Международного геодезического и геофизического союза (в рамках подготовки к XXV Генеральной ассамблее МГГС) / Main theme of journal: Russian National Report of the International Association of Geodesy of the International Union of Geodesy and Geophysics (in preparation for the XXV General Assembly of IUGG)

Боярский Е.А., Витушкин Л.Ф., Герасименко М.Д., Демьянов Г.В., Кауфман М.Б., Кафтан В.И., Мазурова Е.М., Малкин З.М., Молоденский С.М., Нейман Ю.М., Певнев А.К., Савиных В.П., Стеблов Г.М., Татевян С.К., Толчельникова С.А., Шестаков Н.В. Российский Национальный отчет Международной ассоциации геодезии Международного геодезического и геофизического союза / *Boyarsky E.A. , Vitushkin V.F. Gerasimenko, M.D., Demyanov G.V. , Kaufmann M B. , Kaftan V.I. , Mazurova E.M., Malkin Z.M. , Molodensky S.M., Neumann. Yu.M , Pevnev A.K, Savinykh V.P. , Steblor G.M. , Tatevian S.K. , Tolchelnikova S.A., Shestakov N.V.* Russian National Report of the International Association of Geodesy of the International Union of Geodesy and Geophysics 2007-2010 5

Геодезия / Geodesy

Демьянов Г.В., Майоров А.Н., Сермягин Р. Задачи установления единой системы высот / *Demianov G.V., Mayorov A.N., Sermiagin R.A.* The joint height system establishment tasks 37

Певнев А.К. О месте геодезического мониторинга в проблеме прогноза землетрясений / *Pevnev A.K.* On the place of the geodesic monitoring in the problem of earthquake prediction 40

Геофизика / Geophysics

Муравьев Л.А. Полевые исследования метрологических характеристик современных пешеходных магнитометров / *Muraviev L.A.* Field investigations of metrological characteristics of pos geomagnetometers 50

Мониторинг земель / Land monitoring

Нагорный В.Д. Определение и мониторинг продуктивного потенциала сельскохозяйственных земель / *Nagorny V.D.* Assessment and monitoring of the agricultural land productivity 68

**Фотограмметрия и дистанционное зондирование Земли /
Photogrammetry and remote sensing**

Варварина Е.А., Гаврилова Л.А. Совершенствование технологии создания ортофотопланов линейных объектов / *Varvarina E.A., Gavrilova L.A.* Improvement technology of creation orthophotoplans of linear objects 76

Лазарева Н.С. Калибровка неметрических малоформатных камер и их применение для решения некоторых задач фотограмметрии / *Lazareva N.S.* Calibration the non metric small format cameras for thereof use for the decision of some problems photogrammetry 80

Точное земледелие, почвоведение и мелиорация / Precision agriculture, soil, reclamation

Шуравилин А.В., Храбров М.Ю. Режим орошения земляники при дождевании и капельном поливе / *Shuravilin A.V., Khrabrov M.Yu.* Mode of the irrigation of wild strawberry at overhead irrigation and drop watering 92

Бхандари Башьял Бимала Капельное орошение овощных культур в Непале / *Bhandari Bashyal Bimala* Drip irrigation of vegetable crops in Nepal 98

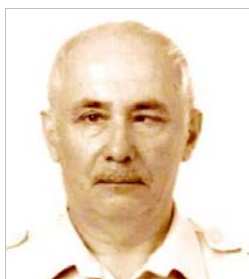
Люди Науки о Земле / Personality of Geosciences

Евгению Михайловичу Чепурину – 60 лет / Eugene Chepourin's 60th Anniversary 105

Владимиру Ивановичу Кафтани – 60 лет / Vladimir Kaftan's 60th Anniversary 107

Память / In memory

Мария Ивановна Юркина (1923-2010) / Maria Ivanovna Yurkina (1923-2010) 109

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ ГЕОДЕЗИИ
МЕЖДУНАРОДНОГО ГЕДЕЗИЧЕСКОГО И ГЕОФИЗИЧЕСКОГО СОЮЗА 2007-2010****NATIONAL REPORT FOR THE INTERNATIONAL ASSOCIATION OF GEODESY
OF THE INTERNATIONAL UNION OF GEODESY AND GEOPHYSICS 2007-2010****Боярский Э.А.**
Boyarsky E.A.Институт Физики Земли
им.О.Ю.Шмидта РАН / The
Schmidt Institute of Physics of
the Earth of Russian Academy of
Sciences. e-mail: emst@ifz.ru**Витушкин Л.Ф.**
Vitushkin L.F.ВНИИ метрологии им.
Д.И.Менделеева / All-
Russian D.I.Mendeleev
Research Institute for Me-
trology. e-mail:
eluar@mail.ru**Герасименко М.Д.**
Gerasimenko M.D.Институт прикладной матема-
тики ДВО РАН / Institute of
Applied Mathematics, Far East-
ern Branch, Russian Academy of
Sciences.
e-mail: mdger@iam.dvo.ru**Демьянов Г.В.**
Demianov G.V.ЦНИИ геодезии, аэро-
съёмки и картографии /
Central research Institute of
Geodesy, Aerial Survey
and Cartography. e-
mail: gleb@geod.ru**Кауфман М.Б.**
Kaufman M.B.ВНИИ физико-технических и
радиотехнических измерений /
National Research Institute of
Physicotechnical and Radio En-
gineering Measurements of Fed-
eral Agency of Technical Regu-
lation and Metrology.
e-mail: mark@imvp.ru**Кафтан В.И.**
Kaftan V.I.ЦНИИ геодезии, аэро-
съёмки и картографии /
Central research Institute of
Geodesy, Aerial Survey
and Cartography. e-mail:
kaftan@geod.ru**Мазурова Е.М.**
Mazurova E.M.Московский государственный
университет геодезии и карто-
графии / Moscow State Univer-
sity of Geodesy and
Cartography. e-mail:
e_mazurova@mail.ru**Малкин З.М.**
Malkin Z.M.Пулковская обсерватория
РАН / Pulkovo Observa-
tory of RAS.
e-mail: malkin@gao.spb.ru**Молоденский С.М.**
Molodenskii S.M.Институт Физики Земли РАН /
Shmidt Institute of the Physics
of the Earth RAS.
e-mail:
molodensky2008@rambler.ru**Нейман Ю.М.**
Neyman Yu.M.Московский государст-
венный университет гео-
дезии и картографии /
Moscow State University
of Geodesy and Cartogra-
phy.
e-mail: yuney@miigaik.ru



Певнев А.К.
Pevnev A.K.

Институт Физики Земли
РАН / Institute of Earth Physics,
Russian Academy of Sciences. e-mail:
an.pevnev@yandex.ru



Савиных В.П.
Savinykh V.P.

Московский государственный
университет геодезии и
картографии / Moscow State
University of Geodesy and
Cartography
e-mail: an.pevnev@yandex.ru



Стеблов Г.М.
Steblov G.M.

Институт Физики Земли
РАН / Institute of Earth Physics,
Russian Academy of Sciences.
e-mail: steblov@gps.gsras.ru



Татевян С.К.
Tatevian S.K.

Институт Астрономии РАН
/ Institute of Astronomy of
the Russian Academy of Sciences. e-mail:
stitev@inasan.ru



Толчельникова С.А.
Tolchel'nikova S.A.

Пулковская обсерватория
РАН / Pulkovo Observatory
of RAS.
e-mail: mchubey@gao.spb.ru



Шестаков Н.В.
Shestakov N.V.

Дальневосточный федеральный
университет,
Университет Кванун, г.
Сеул, Южная Корея / Far
Eastern Federal University,
Kwangwoon University,
Seoul, South Korea. e-mail:
nikon@phys.dvgu.ru

Аннотация. Национальный отчет, представляемый Международной ассоциацией геодезии Международного геодезического и геофизического союза, содержит результаты, достигнутые российскими геодезистами в 2007-2010 гг. В отчете кратко рассмотрены основные результаты исследований и разработок в области геодезии, геодинамики, гравиметрии, в изучении проблем построения и поддержания координатных систем отсчета, изучении фигуры и гравитационного поля Земли, параметров вращения Земли, решения прикладных задач и некоторых других направлений. Период развития геодезии в России с 2007 по 2010 гг. был достаточно сложен, главным образом, из-за непрерывного преобразования государственных геодезических структур и организаций, а также национального образования. Отчет представляет собой обзор основных публикаций и докладов на симпозиумах, конференциях и семинарах. Каждый из разделов отчета включает перечень публикаций за 2007-2010 гг., в том числе подготовленных в соавторстве с зарубежными коллегами. В тексте также отражены некоторые наиболее интересные международные и национальные мероприятия в области геодезии. По ряду объективных причин в отчет помещены не все результаты российских исследований и разработок в области геодезии.

Ключевые слова: Геодезия, геофизика, вращение Земли, системы отсчета, геодинамика.

Abstract. This report submitted to the International Association of Geodesy (IAG) of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) contains results obtained by Russian geodesists in 2007-2010. In the report prepared for the XXV General Assembly of IUGG (Australia, Melbourne, 28 June – 7 July 2011), the results of principal researches in geodesy, geodynamics, gravimetry, in the studies of geodetic reference frame creation and development, Earth's shape and gravity field, Earth's rotation, geodetic theory, its application and some other directions are briefly described. The period from 2007 to 2010 was still difficult for Russian geodesy mainly due to the permanent reformation of state geodetic administration as well as state education structure and organization. The report is organized as a sequence of abstracts of principal publications and presentations for symposia, conferences, workshops etc. Each of the report paragraphs includes a list of scientific papers published in 2007–2010 including those prepared in cooperation of Russian scientists and their colleagues from other countries. Some interesting international and national scientific events are reflected in the text too. For some objective reasons not all results obtained by Russian scientists on the problems of geodesy are included in the report.

Keywords: Geodesy, geophysics, earth's rotation, reference systems, Geodynamics.

Report Created edited by Dr.V.P.Savinikh and Dr.V.I.Kaftan

1. REFERENCE FRAMES

(Demianov G.V., Kaftan V.I., Mazurova E.M., Tatevian S.K.)

In the frames of the National Program on the improvement of the Fundamental Astro-Geodetic Network (FAGN) a new network of the nine GPS/GLONASS sites are established in Russia. Together with the IGS sites operating till now, there are more than 30 permanent GNSS sites in the country with combined receivers. Several of these sites are collocated with the seismological automatic stations of the IRIS network. The main objective of the Program is definition, realization and maintenance of the unified Reference Frame, focusing on both spatial and vertical components. Every site of this network is tied by precise leveling with the two nearest points of the State Leveling network (in total 400000 km of lines). The repeated absolute gravity measurements at the permanent GPS/GLONASS sites are carried out for estimation of precise vertical components of the coordinates. Several of these sites are already collocated with the existing SLR, VLBI and DORIS stations, and a few additional collocations are planned for further improvement in accuracy and

stability of the reference network. Integrating with GGOS project is also considered.

The GPS/GLONASS measurements from all these sites are collected and analyzed by the Analysis center of the Central Research Institute of Geodesy and Cartography, which has been established in cooperation with the BKG. Joint scientific analyses of all space geodetic observations will be carried out in collaboration with the analyses centers of the Russian academy of sciences and Space Agency [Demyanov G.V., Tatevian S.K., 2010].

At present Russian coordinate reference frame (RUREF) consists of the four main geodetic networks of different orders:

- Fundamental astro-geodetic network FAGN (45 stations)
- Precise geodetic network PGN (about 250 points)
- 1st order satellite geodetic network SGN-1 (created in economical developed regions)
- Classical State geodetic network SGN of 1-4 orders and densification (about 500 000 points).

Two highest orders of the RUREF are shown at the Fig.1.

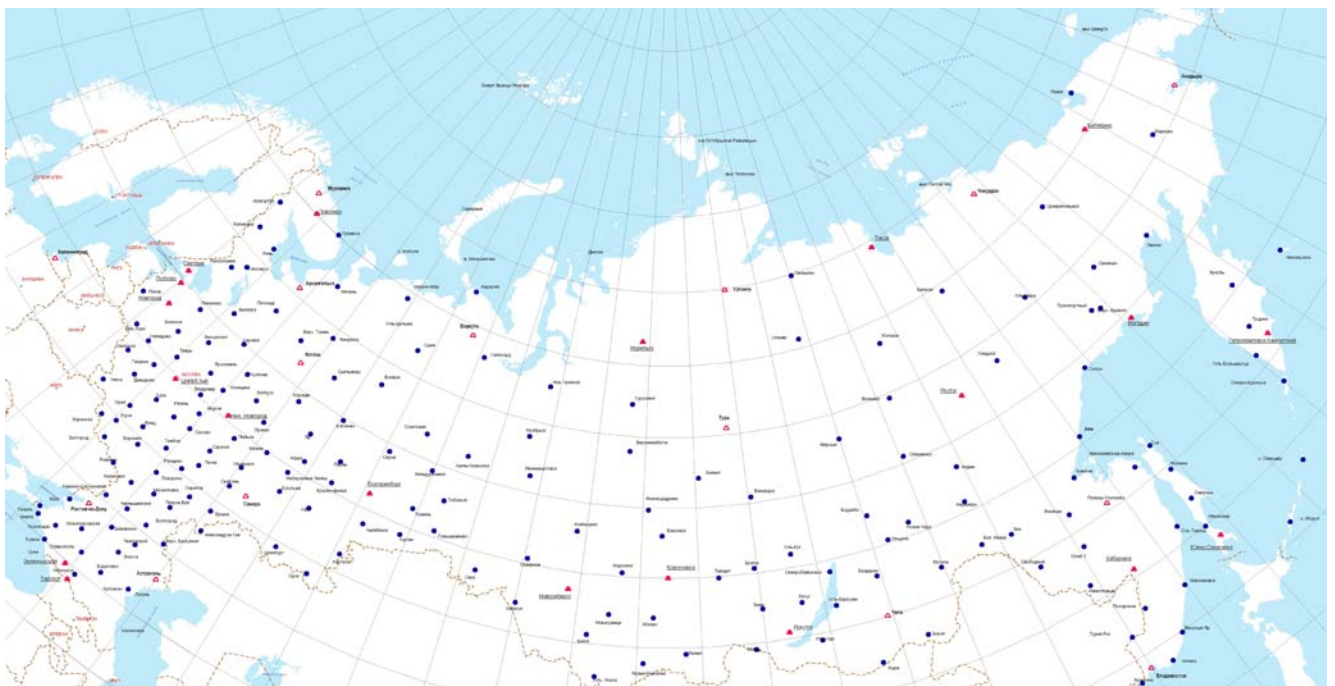


Fig.1. Fundamental astro-geodetic (red trapeziums) and precise geodetic (blue dots) networks of the Russian coordinate reference frame



Fig.2. Main Russian Vertical Reference Frame (first order leveling – solid, second order leveling – thin, planned - red)

FAGN consists of 37 permanent GNSS stations and 8 periodically observed stations. The 25 permanent stations belong to the Federal Service of Registration, Cadastre and Cartography (Rosreestr), Russian Academy of Sciences (RAS) and Federal Agency on Technical Regulation and Metrology (Rosstandart) maintain, 10 respectively, 9 and 4 permanent sites jointly with Rosreestr. The rest 7 permanent sites belong to RAS. Three of them are the VLBI observatories of the Institute of Applied Astronomy of RAS.

All another PGN, SGN-1 and SGN points are in responsibility of Rosreestr.

The main part of PGN sites equipped by special geodetic concrete piers using special GNSS antenna mounts. See example in Fig. 3.

Every FAGN and PGN site includes the main GNSS geodetic center, 2 benchmarks of precise spirit leveling, and 2 ground pillars of the classical SGN of the 1-2 orders tied each other by precise GNSS measurements.

Geodynamical test areas are established in the frame of the common national reference frame and respond to the specifications of PGN-1 or precise permanent local networks.

Central Research Institute of Geodesy, Aerial Survey and Cartography has organized Precise GLONASS Ephemeris Center. Cooperative

Virtual Data Analysis Center is working at the base of the Precise GLONASS Ephemeris Center in response of the agreement between Federal Agency of Registration, Cadastre and Cartography (former Roskartography) and Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) [<http://84.47.145.86>].

Observation and monitoring of global changes require a construction and continuous maintenance of multidisciplinary reference frames. Monitoring of global deformations and mass exchange processes is a main task of IAG's Global Geodetic Observing System. In view of this, global distributed gravimetric networks present the observation component of high/highest importance. The long and successful experience of global space reference frame development allows us to differentiate reference frame and reference system concepts. In this case three main and clear definitions are distinguishing:

- Coordinate systems are abstract mathematical models.
- (Coordinate) reference systems are semiabstract physical models.
- (Coordinate) reference frames are real technological model or network.



Fig.3 The point of the precise geodetic network



Legend

- ▲ Sites of Fundamental gravimetric network
- ▼ Sites of the main First order gravimetric network

Fig.4. Main gravimetric 1-st order network/reference frame of Russia.

Global gravity monitoring today becomes the task of global space reference frames. It necessitates harmonizing a particular terminology. Today the main global gravimetric network/frame is the International Absolute Gravity Basestation Network (IAGBN). It needs to be closely collocated with sites of the International Terrestrial Reference Frame (ITRF) and modernized to a permanent service by coinciding with superconducting gravimeter network. Therefore it will be useful to have more rigorous definitions of gravimetric system and/or gravimetric reference system and gravimetric reference frame.

Several papers are devoted to discussion of the necessity of harmonizing modern and classical definitions in geodetic usage [Kaftan V.I., 2008abc, Kaftan V.I., 2009a].

The condition of the Russian gravimetric reference frame is described in [Gusev N.A., Scheglov S.N., 2010].

The main features of a national reference frame are its complexity and metrological provision. International comparisons of absolute gravity meters are the more important supports of metrological quality of national reference frames.

The series of international comparisons of absolute gravity meters are described in [Makinen J., et al., 2008a & b]. The first comparison was performed in 2004 at the Metsähovi Geodetic Observatory (latitude 60 deg 13 min N, longitude 24 deg 24 min E) of the Finnish Geodetic Institute (FGI). Simultaneous measurements were made between July 6 and July 17 with three gravimeters on three piers (AB, AC, AD). Each gravimeter had two independent setups on each pier. These gravimeters were the FG5 no. 101 and FG5 no. 301 of BKG, and the GBL-P no. 001 of TsNIIGAiK. The FG5 no. 220 of IfE performed a more succinct program on piers AB and AC July 3 to 5. The FG5 no. 221 of the FGI only could perform the full program September 28 to October 8. The possibility of using the record of the superconducting gravimeter GWR T020 at Metsähovi to connect this far-apart (in time) absolute measurement to the others is investigated. The second comparison was performed in October 2005 at the Zvenigorod Observatory (latitude 55 deg 42 min N, longitude 36 deg 46 min E) of the Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, on two piers. They were occupied by the GBL-P no. 001

and the FG5-110 of the TsNIIGAiK, and by the FG5-221 of the FGI, with two setups on each pier. The third comparison was performed in June 2007 at two field sites: Pulkovo (latitude 59 deg 46 min N, longitude 30 deg 20 min E) and Lovozero (latitude 67 deg 53 min N, longitude 34 deg 37 min E). Both sites have a single pier. The FG5-110 of the TsNIIGAiK and the FG5-221 of the FGI participated, with two setups at each site. In Metsähovi and Zvenigorod a relative network between the piers were observed at multiple levels using Scintrex CG-5 and La-Coste&Romberg feedback gravimeters. Researchers evaluate the results, analyze the role of the relative measurements, and discuss the methodology of combining several comparisons for the determination of their reference gravity values and of the offsets of the gravimeters.

The fourth comparison was performed in Irkutsk in November 2010 at the site of the FGUP VostSib AGP (East Siberian Division of the Federal Service of Registration, Cadastre and Cartography). See Fig. 5.

Two new Russian gravity meters were compared using four postaments. The FG5 no. 221 of the FGI could not be transferred to the site due to unexpected custom problems. The next gravimeter comparison planned to be performed in 2011 in Moscow.

The comparison was carried out together with the International Meeting on Problems of Geodesy, Geodynamics and Gravimetry at the East Siberian Division of the Federal Service of Registration, Cadastre and Cartography (Fig.5).

Complex character of large scale reference frames requires the accomplishment of special local geodetic ties between points of different techniques. Research on the usage of GPS for VLBI and GPS reference point's collocation are presented in the paper [Kaftan V.I., 2009b]. Preliminary experiments on three Russian VLBI sites of Institute of Applied Astronomy of the RAS showed that the accuracy of a tie has a sub centimeter level. More accurate ties using GPS need to provide the best observation conditions. In a contrast to geodetic electro distance and optical ties, GPS ties have not transformed coordinate errors immanent for the classical approach.

The papers [Mazurova E.M. 2009, Mazurova E.M., Malinnikov V.A., 2010] discuss the history of the GLONASS, modern tendencies

and prospects in its development. The main differences between GLONASS and GPS are considered. The role of the systems in global reference frame construction is described.

The history of GLONASS development has been long and difficult. Technical, but mainly political problems of the country have not allowed the system to develop dynamically. Over

the last seven years there have been essential changes both in the development of the system and in the field of its application. GLONASS satellites are constantly modernized (GLONASS, GLONASS-M, GLONASS-K, GLONASS-KM). Their satellite life time increases and the number of carrier frequencies also increases, which results in the system higher accuracy.



Fig. 5 Comparison of absolute gravity meters at the site of East Siberian Division of the Federal Service of Registration, Cadastre and Cartography

Russia worked out a state geocentric coordinate system PE-90 (PZ-90) to ensure geodetic support for orbital flights and solve navigation problems. Along with the coordinate system PE-90 (PZ-90), Russia is actively using WGS-84. Therefore the paper analyzes the two coordinate systems and shows their relationships. Visibility zones of the GLONASS over Newcastle are given according to the information of the analytical centre of coordinate-time and navigation support of Russia.

The instability of the GLONASS does not allow yet the Russian system to compete on equal footing with the GPS. However, even now, the GLONASS can be used for many purposes not only in Russia, but also abroad.

The International conference “Space geodynamics and global process modeling” (APSG 2008) was held on 22-26 September 2008 in Novosibirsk. Report on the common usage GPS and GLONAS during the Russian Reference Frame development was presented by S.K. Tatevian, S.P.Kuzin [Tatevian S., Kuzin S., 2008].

GLONASS is a key element of the Russian Positioning, Time and Navigation service. The GLONASS state program foresees the full operation capability (24 satellites) was reached by the end of 2010. The second generation of satellites GLONASS-M have been launched with the L2 civil signal, extended lifetime and improved clock stability. GLONASS-K satellites are expected to have the L3 civil signal and Synthetic Aperture Radar function. An extension of the

ground control and monitoring network up to 9-12 stations are planning and cooperation with GNSS is 17 foreseen. The combined GPS/GLONASS system is a main technology for development of the fundamental geodetic network and for crust movement studies along the North Eurasian tectonic plate. In combination with GPS, GLONASS can benefit users already

now especially in the urban areas. Results of GLONASS data analysis performed at the Institute of Astronomy (Moscow) with the use of GIPSY-OASIS2 software for 16 globally distributed sites show that residuals of the GLONASS solution are almost similar to those from the GPS solution [Kuzin S., Revnivkykh S., Tatevyan S., 2007].



Fig. 6 The participants of the International Meeting on Problems of Geodesy, Geodynamics and Gravimetry

Taking into account recommendations of the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS) and International DORIS service (IDS), a reprocessing of the DORIS data for the period of 1993.0-2010.0 has been performed aiming to obtain a unified coordinated solution of the IDS analysis centers for the developing of the new version of the Terrestrial Reference Frame - ITRF2008. The weekly solutions of coordinates of all 71 DORIS ground sites and Earth Observations parameters (EOP) have been estimated with the use of new improved satellite surface models, submitted by CNES, and with measurement data of the satellites SPOT2, SPOT3, SPOT4, SPOT5, TOPEX, and ENVISAT. After the transformation of the

free-network solution into a well-defined reference frame ITRF2005 (exactly, long-term cumulative IGN solution: ign07d02) weekly coordinates of the sites were estimated with the internal precision at the level of 5-40 mm for majority of the stations.

Russian scientific community pays special attention for historical fragments of the national reference frame. There is a series of works devoted to the "Struve Geodetic Arc" research and public awareness [Kaptüg V., 2008, 2009, 2010; Mazurova E.M., Aleksashina E.V., 2010].

Procedures of space fixation of global coordinate system are proposed in papers [Gerasimenko M.D., Kolomiets A.G., 2008, Kolomiets A.G., 2010]. The authors recommend using the

free global network adjustment in a reference to more stable vertical or horizontal site velocities. The approach allows the authors to reject some quality geological models in the process of orientation site velocity vectors.

Russian gravimetric team from Central Research Institute of Geodesy, Aerial Survey and Cartography, and Moscow State University of Geodesy and Cartography, and Vietnam Institute of Geodesy and Cartography (VIGAC) carried

out the joint Russian-Vietnam field campaign on gravimetric reference frame modernization in Socialist Republic of Vietnam in 2010-2011. The gravity measurements have performed by new Russian absolute ballistic gravity meter for field operation constructed by the Institute of Automation and Electrometry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science (Fig. 5) and described in [Stus Yu.F., et al., 2010]. The field campaign scenes showed in photos below.



Fig.7 Absolute gravity measurement at a field gravimetric point.

2. GRAVITY FIELD

(Boyarsky E.A., Mazurova E.M., Vitushkin L.F)

Questions of calculation of anomaly of height on basis of wavelet-transformation are considered in article [Mazurova E.M., A.S. Bagrova, 2008]. Results of the spent experiment have shown, that compression of a kernel of Neumann's integral more than on 23% leads to accuracy loss at calculation of height anomaly of an order of two decimeters. Comparison of speed of calculations of a file in the size 32X32 a

method of wavelet-transformation and a method of the Fast Fourier Transform (FFT) has shown considerable advantage of method of the FFT when we wish to receive heights of the geoid with centimeter accuracy. It occurs because at calculation of Neumann's integral by a wavelet-transformation method it is impossible to compress essentially a kernel of Neumann's integral without loss of accuracy of calculation of anomaly of height. Thus, it is impossible to recommend a method of wavelet-transformation for

practical use at calculation of height anomaly in the central zone if only we do not wish to offer accuracy for economy of machine memory.

The paper [Mazurova E.M., Kuvekina N.A., Aleksashina E.V., 2008] presents the deduction of ellipsoid corrections in evaluating the disturbance potential from gravity disturbances. Spherical approximation makes the basis of almost all formulas of physical geodesy. From studies by D. Lelgemann, spherical approximation in application of Stokes' formula to determining the average height of the geoid all over the Earth leads to an error of the order of ± 0.2 m. The modern accuracy of determining the anomalous potential of the gravitational field requires the flattening of the reference-ellipsoid to be taken into account. At present, satellite navigation technologies (GLONASS, GPS, etc.) allow gravity disturbances $g\delta$ to be calculated confidently, they being the function of the geodetic coordinates B, L, H defined from satellite measurements.

The purpose of the work [Mazurova E.M., 2009] is development of an image Hartly for a kernel of the modified Vening-Meinez's integral. The concept of the deflection of the vertical is significant in physical geodesy. As the direction of the deflection of the vertical is defined by gravity, and evasion from them - gravity anomalies knowing these anomalies it is possible to find and deflection of the vertical. With development GNSS-technologies, it is possible to confidently define the gravity disturbance. Therefore authors can define the deflection of the vertical under a modified Vening-Meinez's formula. This integral is an integral of convolution and for its calculation in the central zone (radius to 10) it is effective to use two-dimensional fast Hartly transformation, using thus flat approximation. If the size of the central zone is to increase, it is necessary to change the integrated kernel. Fast Hartly transformation is especially effective, if the analytical image Hartly of an integrated kernel is known.

Spherical approximation makes the basis for a majority of formulas in physical geodesy. However, the present-day accuracy of determining the perturbing potential requires ellipsoidal approximation.

The papers [Mazurova E. M., Yurkina M. I., 2010a, Mazurova E. M., Yurkina M. I., 2010b] deals with constructing Green's function for an

ellipsoidal Earth by a spherical harmonic expansion and using it for determining the perturbing potential. From the result obtained, the part corresponding to spherical approximation has been extracted. The remaining expansion is represented by a series whose terms decrease inversely proportional to the power number of the harmonic of the spherical harmonic expansion of the gravity force.

The Green function is known to depend only on the geometry of the surface where boundary values are set. Thus, it can be calculated irrespective of the gravity data completeness.

Any changes of gravity data do not have an effect on Green's function and they can be easily taken into account if it has already been computed. Such a solution method, therefore, can be useful in determining the perturbing potential of an ellipsoidal Earth.

Now, the central place in geodesy has been taken by satellite methods of co-ordinate determination using the signals of the GPS and GLONASS satellite navigation systems. Geodetic heights, however, computed from satellite measurements and normal heights determined by geometric leveling, exist independently from each other. The relationship between geodetic heights in a co-ordinate space and normal heights is executed by height anomalies which should be known with high accuracy. The problem of accurate determination of the gravity field transformants is caused by the fact that the classical methods of solving problems of physical geodesy are based on deriving and resolving some integrated equation. Continuous errorless values of gravity anomalies across the whole surface of the Earth are needed for that. But it is practically impossible to make a continuous gravimetric leveling, and the classical approach is not capable to produce an accurate answer without gravimetric leveling being completed. In practice, the initial information is discrete, with a lot of measuring errors, and known not across the whole surface of the Earth. Notice that Neumann's integral from which it is possible to calculate height anomaly is a convolution integral. Therefore, it is possible to use linear transformations for its calculation, such as the Fast Fourier Transform and wavelet-transform. In computing height anomaly, M.S.Molodensky's combined method is applied;

with it, numerical integration is conducted only within a certain "limited area". The influence of the distant field zone is taken into account by expanding the gravity anomaly into series by spherical functions. The paper [Mazurova E.M., 2010] discusses the algorithm for calculating the height anomaly in the "limited area" in flat approximation. Neumann's integral calculations have been done on the basis of the fast discrete Wavelet-Transform. The results of the research into compressing the Neumann integral kernel that can be performed in calculating this integral by the Wavelet-Transform method are presented. An efficiency comparison of applying the Fast Fourier Transform and Fast Wavelet-Transform to computing the Earth's gravity field transformants has been made.

10th International Geoid School "The Determination and Use of the Geoid" was held on 28 June – 3 July 2010 at the State Research Center of the Russian Federation – Concern CSRI Elektropribor, JSC (Saint Petersburg, Russia). Young geodesists from Russian Federation, Germany, Canada, Turkey, USA as well as researchers of geophysics, geology and engineering took part in the school. Modern theories of geodetic gravimetry were enlightened and practical exercises of global model computation, least square collocation and adjustment were passed.

To make a more exact mathematical model of the global atmosphere circulation and to improve the weather forecast one needs to take into account the Vertical Deflection Components (VDCs). The required accuracy for these tasks is 1–2" now and twice better in future. The VDCs were calculated [Boyarsky E.A., et al., 2010] by integration of the free air gravity anomalies (taken from the Internet site of Scripps Institute of Oceanography) on the grid of 2' × 2', an integration radius $R = 4,000$ km. Also the approaches to calculate the far zone contribution are discussed. As the first test the results are compared with the VDCs obtained from the global spherical harmonics expansion of the order of 1,800. For the Mariana trench area, where the variation of $W-E$ component exceeds 50", the standard deviation from Wenzel's model is of 2". The other region for testing with a more dense grid 1' × 1' is the Kane fracture zone; standard deviations are about 0".6.

The MAGELLAN–2 package, developed at the Russian Academy of Sciences' Institute for Physics of the Earth (IPE) to use in a Windows environment, is an elaboration of the previous MAGELLAN version [Boyarsky E.A., Afanasieva L.V., 2010]. It is oriented toward modern gravimeters and the growing demand for accuracy and detail in measuring the gravity forces at sea and in the air.

The results of the measurements of gravity field at all the stations of gravity micronetwork at the BIPM are presented [Jiang Z., Becker M., Vitushkin L., 2008]. The BIPM is located on the slope of the hill in the park St Cloud in Sevres, France. This micronetwork consists of two sites with nine gravity stations in the buildings and two outdoor gravity stations. The difference of the values of free-fall acceleration at the gravity stations is about 9 milligal.

The technical protocol for the International Comparisons of Absolute Gravimeters developed according to rules for the Key Comparisons [Agostino G.D., Germak A., Vitushkin L.F., 2008]. The results of KCs provide the technical basis for the Mutual Recognition Arrangement of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. The MRA is signed by more than sixty National Metrology Institutes over the world. The development of such Technical Protocol for ICAGs means that one more step to the increase of the confidence in gravity measurements was done. The details of the Technical Protocol are discussed.

The organization of ICAG-2005, measurement strategy, calculation and presentation of the results were described in a technical protocol pre-developed to the comparison. Nineteen absolute gravimeters carried out 96 series of measurements of free-fall acceleration g at the sites of the BIPM gravity network. The vertical gravity gradients were measured by relative gravimeters. For the first time the budgets of uncertainties were presented. The result of ICAG-2005 is in a good agreement with that obtained in ICAG-2001 [Vitushkin L., Jiang Z., et al., 2010].

A new method of the measurement of the gravitational constant using two free-moving discs and laser displacement interferometry is proposed [Vitushkin L., Wolf P., Vitouchkine A., 2007]. Such method can be realized in the labora-

tory on the ground and on a spacecraft where the better accuracy in the measurements can be reached.

The basic ideas on the measuring standards in gravimetry are analyzed [L.F.Vitushkin, 2008]. It is shown that currently the primary reference measurement method of free fall acceleration is realized by the absolute ballistic gravimeter.

The successful results of the measurement of free fall acceleration using the absolute gravimeter FG5-108 with a compact frequency stabilized solid-state laser at 532 nm are presented in the paper [Vitushkin L., Orlov O., Nalivaeva V., 2008].

The results of the measurement of the microseismics at the gravity stations of VNIIM at its Lomonosov branch are presented in [Krivtsov E., et al., 2008]. It is shown that besides of very quiet microseismics situation at this site a good damping is reached thanks to massive basement of 4000 tons.

The State Research Center of Russian Federation "Concern CSRI ELEKTROPRIBOR, JSC" and IAG with the support of Russian Foun-

ation for Basic Research and Committee for Science and Higher Education of St Petersburg Government were organized two international IAG symposia "Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements" - TGSMM-2007 and TGSMM-2010. Symposia were held in "Concern CSRI ELEKTROPRIBOR, JSC", Saint-Petersburg.

Main topics of the symposia were devoted to techniques, methods and results of terrestrial gravity observation, including the latest achievements in absolute gravity measurements using cold atomic gravity meters.

The X-th International Geoid School 'The Determination and Use of Geoid' has been organized by IGeS, the State Research Center of Russian Federation "Concern CSRI ELEKTROPRIBOR, JSC" and IAG with the support of Russian Foundation for Basic Research and Committee for Science and Higher Education of St Petersburg Government in the period from 28 June to 2 July 2010 at the CSRI ELEKTROPRIBOR in St Petersburg, Russian Federation. The well known scientists took part in the school as the invited lecturers.



Fig.1 Participants of the 3rd Joint Meeting of CCM Working Group on Gravimetry and IAG Study Group on Comparisons of Absolute Gravimeters, library of VNIIM, St Petersburg, 24 August, 2010

The school was attended by 15 participants coming from 5 countries. The computers with O.S. were provided for all the students. Each computer worked with WinXP. The FORTRAN compilers and PHYTON interface have been installed to use FORTRAN programs that usually run under Unix systems. The students have been given Lecture Notes, IGeS CD with software and data for exercises, the GRAVSOFТ manual, and a user guide for FFT exercises.

All the students received the certificates of successful graduation.

All-Russian D.I.Mendeleyev Research Institute for Metrology (Russian acronym VNIIM) proposed to organize the next International Comparison of Absolute Gravity Meters ICAG in 2017 on the reconstructed site for absolute gravity measurements in Lomonosov branch of VNIIM (Lomonosov is a little town in the vicinity of St Petersburg).

Now a new absolute ballistic gravimeter for the Primary State Standard of Russia in gravimetry as well as the document described the traceability chain for the measuring instruments in gravimetry is under development at VNIIM.

3. GEODYNAMICS

(Kaftan V.I., Steblor G.M.,
Tatevian S.K., Pevnev A.K.)

Nowadays a large amount of measurement information is collected in geosciences due to a great progress in technologies of observation. Space geodesy and geodynamics have collected unprecedented quantity of precise observation time series. The examples of this information can be the data of permanent GNSS, and VLBI, and gravity measurements or another geosciences observation. There are many long and high temporal resolution time series collected in modern geosciences' data bases. The large amount of the information creates conditions to find out new important regularities of the observed natural processes. This circumstance attracts many geodetic and geophysical institutes to analyze collected time series. Most of European geodetic institutes and organizations do research on the time series treatment. Some dominated periodical regularities are find in the observation and published in different scientific journals and issues. But the nature of them is not clear for today. An

example the yearly periodicities in GPS observation can be interpreted as meteorological seasonal or tidal influences or GPS radio wave propagation. Each of them can be plausible explained but every source of the influence is not determined. There are some not understudied correlations between spectra of different observed processes. An example the spectra of solar activity and Caspian Sea water level have rather close correlation but the physical reasons are not known. These unclear correlations compel researchers to continue analysis of them for the reason of finding new natural regularities or uncorrected measurement errors. In the case of geodesy it is rather important to find the causes of revealed correlations. Such kind of research will bring new information for improving measurement accuracy and physical models.

The widely used procedures of analyzing a periodical behavior in time series have some disadvantages. The first is a not differentiated estimation of statistical confidence of revealed periodical components. The practice shows that a confidence of revealed periodical components varies significantly. An example yearly and daily oscillation harmonics usually have variations changing from hours to days. Standard techniques such as FFT or close to it not provide the detailed accuracy estimations for every of the confident components. For detailed analysis it is important to know RMS for every phase, amplitude and period estimations. This circumstance does not allow users of standard methods to simulate an accurate periodical model. The next weakness of typical techniques has not enough attention to phase determination. The phase analysis is performing very seldom and in terms of angular phase values. It does not bring clear information about phase shifts of near oscillation components. Temporal values of phase shifts are very important for the interrelation analysis for different observed processes.

For this task the original technique called as Sequential Analysis of Dominated Harmonics developed several years ago was used [Kaftan V.I., 2010]. This periodicity analysis technique based on the iteration least squares method was used for mathematical modeling of different natural processes. Time series of absolute gravity measurement, polar motion determination and

GPS-height measurement were used by the technique.

The method allows determining the trend component and the set of harmonics. The final model is a polyperiodical function that has the best fitting to the initial time series.

Two steps of computations were used: 1) estimation and removal of the trend (linear component), 2) finding one after another and removal of the high amplitude periodical components (harmonics), twice exceeded their standard errors. The proposed technique was used for forecasting of a behavior of important natural processes such as Caspian Sea level, solar cycle shape and pole coordinates. The predictions were statistically proved and demonstrated the effectiveness of the method.

Permanent GNSS measurements at sites of special geodetic networks provide high importance information for geodynamic purposes. They allow finding regularities of earth's surface movements and deformation.

The results of the permanent observation at the local GNSS network covering the San Andreas Fault were processed using the special technique of horizontal deformation computation and estimation of their uncertainty. The SOPAC archive data were used for computation of deformation characteristics from the beginning of 2004 to the end of 2007 with 10 day interval. Differences of the local network base line vectors were adjusted without any constrains. Invariant deformation characteristics and their standard errors were determined. The special ratio criterion was computed in order to determine the signal/noise information. The sample of more than hundred dispersion ratio values has shown the specific deformation intensity rise before the Parkfield earthquake occurrence. The rupture deformation and fault creep were determined rather surely as usual. The dispersion signal/noise criterion was rather low about a year before the earthquake but about four months later it begun steadily rise just to the main shock time. This specific deformation behaviour can be suggested as an evidence of a time geodetic precursor existence. In this case the situation of the earthquake forecast was quite convenient because the future rupture zone was expected about obviously and the large permanent GNSS network was specially constructed and monitored. The findings show

that a strong earthquake moderate time forecast in the zones of expectation is possible.

Graphical representation of the results of Earth's movement and deformation determination are constructed by the authors of the paper [Kaftan V.I., et all, 2010]. Special video representation is recommended for long time series preliminary analysis to make easy deformation regularity research.

A few years ago the Global geodetic Observation System (GGOS) was initiated by the International Association of Geodesy and the International Union of Geodesy and Geophysics. The main task of the GGOS is the control of global changes by modern high technologies including global satellite navigation systems (GNSS) and computer techniques. For this reason the most of the modern global Earth observation results are related to the Electronic Geophysics Year themes.

The more or less spatially homogenous GNSS network was selected from the whole International Terrestrial Reference Frame (ITRF). Daily coordinate solutions were received from the Internet archive SOPAC for the interval of 1999-2005.5. Daily values of geocentric radius vectors were computed for all of 99 selected ITRF points. These data were used for the computer modeling of geometrical Earth shape behavior. The research [Kaftan V.I., Tsiba E.N., 2008, Kaftan V.I., Tsiba E.N., 2009abc] shows the interesting regularities in the performed geometric characteristic time series. The mean radius vector for the whole Earth demonstrates the rise tendency with the rate of 0.6 mm/yr. Geometrical Earth's ellipsoid semi major and semi minor axes grow both and have periodical oscillations with the amplitudes of 0.1-1.3 mm. The ratio of semi minor and semi major rise values shows the Earth's deflation decrease. The interesting feature is that the south hemisphere grows about three times faster than the north.

The results can be preliminary explained by both artificial and natural causes. The study produces the empirical data valuable for revealing some GNSS systematic errors and possible Earth's shape changes.

With a view to study variations of the geocenter movements, the sets of geocenter coordinates, estimated by the multi years sets of GPS and DORIS data processing, were analyzed. In

order to estimate linear trend, amplitudes, periods and phases of geocenter variations a linear regression analysis has been applied with the use of least square method. The evaluated amplitudes of annual variations are of the order of 5-7 mm for X and Y components and 10-20 mm for Z component. Semi-annual amplitudes are also noticeable in all components. Secular trend in geocenter coordinates was found at the level of 2-3 mm.

The same time series of geocenter coordinates (X, Y, Z), have been examined with the use of so-called method of adaptive Dynamic Regression Modeling (DRM). Unlike the linear regression analyses, the DRM method envisages the further iterative, step by step, regression analyses of the non-random content of the detrended series, obtained after first harmonics removing, aiming to avoid errors, caused by noise residuals and inter correlation between estimated harmonics and to find out the additional regularities. As a result of DRM –method the original time series is approximated by the complex mathematical model, which contains trend, periodical components and parameters of the dynamic regression model. With this model a forecasting of weekly geocenter positions has been performed. The results are discussed in papers [Tatevian S.K., Kuzin S.P., 2009, Kuzin S.P., et al., 2010, Tatevian et al., 2010].

The paper [Kogan M. G., Steblov G. M., 2008] presents the vectors of rotation of 10 major lithospheric plates, estimated from continuous GPS observations at 192 globally distributed stations; 71 stations were selected as representing stable plate regions. All days for the period 1995.0–2007.0 were included in the analysis. In contrast to previous GPS plate models, proposed model is independent of international terrestrial reference frames (ITRF). The origin of formed plate consistent reference frame is the center of plate rotation (CP) rather than the center of mass of the entire Earth's system (CM) as in recent versions of ITRF. We estimate plate rotations and CP by minimizing the misfit between the horizontal velocities predicted by the plate model and the observed GPS velocities. If any version of ITRF is used as the reference frame, the drift of the ITRF origin relative to CP cannot be neglected in estimation of plate rotation vectors and plate residual station velocities. The model of the plate kinematics presented addresses the problem

debated since the beginning of the space geodesy: how big are disagreements between the current plate motions and the motions averaged over several million years? The vectors of relative plate rotations estimated in the research with the published vectors from GPS and geologic models are compared. The integrity of individual plates as exhibited by plate residual station velocities is also discussed. For seven largest plates, the RMS value of plate residual station velocities in stable plate interiors is 0.5–0.9 mm/a; this value is an upper bound on deviation of real plates from infinite stiffness.

The present tectonics of Northeast Asia has been extensively investigated during the last 12 yr by using GPS techniques. Nevertheless, crustal velocity field of the southeast of Russia near the northeastern boundaries of the hypothesized Amurian microplate has not been defined yet. The GPS data collected between 1997 February and 2009 April at sites of the regional geodynamic network were used to estimate the recent geodynamic activity of this area. The calculated GPS velocities indicate almost internal (between network sites) and external (with respect to the Eurasian tectonic plate) stability of the investigated region. Authors [Shestakov N.V., et al., 2010] have not found clear evidences of any notable present-day tectonic activity of the Central Sikhote-Alin Fault as a whole. This fault is the main tectonic unit that determines the geological structure of the investigated region. The obtained results speak in favor of the existence of a few separate blocks and a more sophisticated structure of the proposed Amurian microplate in comparison with an indivisible plate approach.

Based on different-scale deformations monitoring in the Eurasian, North American, Pacific, Amur and Okhotsk lithosphere plates' junction area the problem of study of recent geodynamics of the Far Eastern region is discussed using contemporary space geodetic methods [Bikov V.G., et al., 2009]. A feasibility of the urgent need of formation of a unified observation network for deformations monitoring and seismological observations with the Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, is shown. A brief review of the GPS observation results obtained within the framework of the Integration Project between FEB RAS and SB RAS in 2006–2008 is given. It is shown that application of space geo-

detic data opens new opportunities for elaboration of the integral concept of the recent geodynamic activity in the East of Asia.

In 2006–2007, two great earthquakes ruptured the center of the Kuril subduction zone: first, the interplate thrust event, then the intraplate extensional event on the outer rise. The affected region was a seismic gap since 1915. Published patterns of slip differ for various seismic and tsunami inversions. The surface offsets that we measured with GPS on the Kuril Islands are sensitive to the total slip, including slow components beyond the seismic and tsunami band. The authors [Steblov G. M., et al., 2008a] invert coseismic offsets and show that the asperities, or regions of high slip, are spatially linked for both earthquakes; this pattern suggests (although does not prove) that the first event triggered the second. For the 2006 earthquake, the asperity is very shallow, probably because of the absence of an accretionary prism. For the 2007 earthquake, our modeling suggests that the rupture occurred in the bent Pacific lithosphere to a depth of 50 km.

At convergent plate boundaries, the accumulated elastic strain is released mostly in great shallow thrust earthquakes. Understanding which fraction of the elastic strain due to plate motion is released in earthquakes is important in assessing the seismogenic potential at convergent boundaries where most of great earthquakes occur. Conventionally, an estimate of the released fraction of the total elastic strain relies on the Kostrov summation of GCMT moment tensors. However, the GCMT moments of great earthquakes can be erroneous by a factor of 2 because of parameterization as a simple point source with triangular moment-rate function and because of trade-off between estimates of the moment and dip angle. Therefore, assessment of the current seismic potential caused by plate motion can be wrong. For the great 2006–2007 Kuril earthquakes, coseismic moments from inversion of GPS offsets are larger than GCMT moments by at least a factor of 1.5. The authors [Steblov G. M., et al., 2008b] attribute this disagreement to the simplified source model used in GCMT inversion. From kinematic GPS solution, a contribution of slow coseismic slip (captured by GPS but not by seismometers) was insignificant. Earlier, a similar disagreement between geodetic and GCMT mo-

ments was demonstrated for the great 2004 Sumatra earthquake.

Research on real plates and dubious microplates existence presented in [Kogan M. G., Steblov G. M., 2008]. From the onset of plate tectonics, the existence of most of the plates was never put in doubt, although the boundaries of some plates, like Africa, were later revised. There are however, two microplates in northeast Asia, the Amurian and Okhotsk, whose existence and the sense of rotation was revised several times. The rms value of plate-residual GPS velocities is 0.5–0.9 mm/yr for sets of stations representing the motion of the following plates: Antarctic, Australian, Eurasian, North American, Nubian, Pacific, and South American. This value can be regarded as an upper bound on deviation of real plates from infinite stiffness. The rms value of plate-residual GPS velocities is 1.2–1.8 mm/yr for the Indian, Nazca, and Somalian plates. Higher rms values for India and Nazca are attributed to the noisier data. The higher rms value for Somalia appears to arise from the distributed deformation to the east of the East African Rift; whether this statement is true can only be decided from observations of denser network in the future. From the analysis of plate-residual GPS velocities, the Canadian Arctic and northeastern Siberia belong to the North American plate. The detailed GPS survey on Sakhalin Island shows that the Sea of Okhotsk region also belongs to the North American plate while the region to the west of it belongs to the Eurasian plate. These results provide a constraint on the geometry of the North American plate and put in doubt the existence of smaller plates in northeast Asia.

North American plate (NAM), was earlier hypothesized judging from seismicity [Mackey et al., 1997]. Recent analysis of GPS observations in western Alaska, on islands in the Bering Sea interior, and on the Aleutians confirmed the existence of BER rotating clockwise around the pole in east Asia [Cross and Freymueller, 2008]. However, the confirmation of BER was lacking on the western margin. Here the authors [Kogan M.G., et al., 2009] augment the data base with the GPS survey of Chukotka performed at four epochs in 2004–2009 and analyze implications of velocities in Chukotka for the motion of BER. To strengthen reference to NAM in this region remote from the interior of NAM, the authors

evaluated station velocities by the method adopted in the PBO processing: in each daily solution, we combined observations in Chukotka and at 25-30 well-determined global stations over a hemisphere centered on Chukotka. The data spanning five years showed two contrasting patterns of motion of stations in Chukotka. In general, whole Chukotka slowly moves relative to NAM at a speed not exceeding 3 mm/yr. While velocities over most of the region point to ESE, velocities over northeastern Chukotka point nearly to the south agreeing with the motion of St Lawrence Island and Seward Peninsula on Alaska, located to the east of Chukotka. The change in direction of motion over Chukotka indicates existence of a right-lateral fault that agrees with focal mechanisms of events over the seismic belt along the western margin of the Bering Sea. Movement of northeastern Chukotka confirms the sense and angular rate of rotation of BER as estimated by Cross and Freymueller from observations over the eastern part of BER. The slow motion of most of Chukotka to ESE indicates that this wedge-like extremity of NAM deforms being jammed between the Eurasian and Pacific plates, or, alternatively, it belongs to another rigid block located farther to the north.

The Kuril-Kamchatka subduction zone is the most mobile and seismically active region in Northeast Eurasia. The Kuril island arc is one of the few tectonically active regions, where until recently there had been no space geodetic network. The first GPS stations were installed on the Kamchatka Peninsula in 1997, and on the islands of the Kuril arc from Kamchatka to Hokkaido, in 2006. The collected geodetic data allowed to reveal the geometry of the interplate coupling along the whole Kuril_Kamchatka arc, and also to estimate the source parameters and their features for a number of major earthquakes in this area [G. M. Steblov, et al., 2010].

Russian and Finnish levelling networks were in 2002-2006 connected at 8 points along the Russian-Finnish boundary. We have now estimated contemporary vertical motion from joint processing of the repeated levellings in Northwest Russia and Finland. They span more than a century, and in large areas of the networks there are three campaigns. The authors [Mäkinen J., et al., 2008] compare the motion rates with velocities estimated from other measurement tech-

niques and from geophysical models, and discuss their relationship with results from quaternary geology.

The yearly displacement velocity estimation technique for GNSS stations having the less irregular observation repetition (2-3 epochs) is proposed in [Shestakov N.V., et al., 2009]. It allows authors to reduce seasonal coordinate variation influence by taking into account apriory information parameters.

In the articles [Pevnev A.K., 2008-2010] the crisis reasons in a problem of the forecast of earthquakes are considered and the way of an exit from it is specified.

Mistake is motivated in interpreting the results of experiment targeted to checking the main position "The elastic-rebound theory of earthquakes" H.F.Reids. It is stated that American geodesists is allowed the blunder, concluding in that that they estimation of accuracy of results of measurements on undeformed base have used to measurements, run for deformed base. Exactly this and has brought them to conclusion about fallaciousness "The elastic-rebound theory of earthquakes", as was a source reason of crisis in decision of problem of forecast of earthquakes.

Natural geodynamic processes in the Earth crust become apparent as different types of movement. These movements can be regular when different strata move along fault lines on a local scale or along boundaries of tectonic plates on a continental scale. They can also be abrupt and have the form of earthquakes and other major seismic events. Both forms of movement are irreversible, and thus they can be called deformations.

Analysis of Earth crust motion and deformations can be performed by means of seismic soundings, strain-meter and tilt-meter readings, and geodetic methods which are the most significant ones. Geodesy plays a key role in crustal deformation studies by determining the temporal variations of the Earth shape and size at various spatial and time scales. Among modern geodetic methods space geodesy applications are of most importance. Among the latter Global Positioning Systems NAVSTAR-GPS and GLONASS should be pointed out.

Current research corresponds to an overview of certain GPS applications for Earth crust motion and deformation analysis and geody-

namical and geophysical solutions [Krasnoperov R. (2010)].

The research on deformation in tectonically active and seismic zones is described in the papers [Prilepin M.T., 2007, Prilepin M.T., Baranova S.M., 2007].

The results of long-term observation of crustal deformations in the Northern Caucasus using long base laser strainmeter and GNSS network are presented in the paper [Milyukov, V., et al., 2009]. An analysis of crustal strain laser interferometer records revealed a shallow magmatic chamber of Elbrus Volcano. First GNSS observation has shown the main movement velocity of 28 mm/yr in plane and uplift of the Northern Caucasus Ridge.

Within the last years Sternberg Astronomical Institute (SAI MSU) has established three new stationary GPS/GLONASS stations in the Northern Caucasus. The first (site code TRSK) is located in the Terskol International Astronomical Observatory near the Elbrus volcano, in the Kabardino-Balkaria Republic. It began to operate in 2005. The second one is located in the Solar Station of the Pulkovo Astronomical Observatory, Karachay-Cherkessia Republic (site code KISL). This station has been in operation since 2006. The third one (site code VLAD) is located in Vladikavkaz (North Ossetia). This station is created together with the North Ossetia Scientific Center. The continuous GPS measurements began in 2008. These four stationary stations (including ZECK) form the base for the regional Northern Caucasus GPS network, which can be called the Northern Caucasus Deformation Array (NCDA).

At present the repeated measurements of absolute gravity on the existing stations and the creation of the new stations are carried out by the ballistic gravity meters FG5 №110 and GABL. In 2007, after 13 years, the repeated absolute gravity measurements have been done at the stations "Zelenchukskaya" and SAI MSU". In 2008 two new stations, "Azau" (the Glaciology station of the MSU) and «Terskol», are established. In 2009 the repeated absolute gravity measurements were carried out at the stations "Azau" and "Zelenchukskaya". Three new stations are created in the Northern Caucasus: "Nalchik", "Vadikavkaz" and "Ardon". Currently, the Northern Caucasus network for repeated measurements of

the absolute gravity consists of seven stations – "Zelenchukskaya", "GAISH MSU", "Azau", "Terskol", "Nalchik", "Vadikavkaz" and "Ardon". Recent absolute gravity measurements were performed by joined team of SAI MSU and TsNIIGAiK.

The results of studies of local geodynamic processes in the scientific and educational base "Gornoe" of the State University of Land Use Planning are presented in the paper [Dokukin P.A., et al., 2009]. Studies were performed by the original method based on the analysis of the results of satellite geodetic measurements.

4. EARTH'S ROTATION

(Kaufman M.B., Malkin Z.M.,
Molodenskii S.M., Tolchel'nikova S.A.)

The problem of dependence of polar motion on precession-nutation model is discussed in several papers of M.I.Yurkina. It is actual since improvements in numerical, theoretical models are obtained by means of comparing spherical coordinates of points (projections of centers of bodies) – their calculated values with the observed ones. The former remains to be dependent on the motion of the Earth's axis in space and on the coordinates of the Earth's orbit. The efforts to improve the situation by means of solution of 3-body problem failed.

In answer to Euler's question "Qu'est ce que l'axe de la Terre" the author [Tolchel'nikova S.A., 2010] shows that the observed values which denote the motion of the Earth's axis in spherical coordinates (i.e. relatively to projections of stars or quasars), are related to uncertain point inside the body of the Earth.

The aim of the paper [Tolchel'nikova S.A., 2010] is to better understanding between theorists and observers in their studies of the Earth's rotation.

Russian State Time, Frequency and Earth Rotation Service provides the official EOP data and time for use in scientific, technical and metrological works in Russia. The observations of GLONASS and GPS on 30 stations in Russia, and also the Russian and worldwide observations data of VLBI (35 stations) and SLR (20 stations) are used now. To these three series of EOP the data calculated in two other Russian analysis centers are added: IAA (VLBI, GPS and SLR series) and MCC (SLR). Joint processing of these 7 se-

ries is carried out every day (the operational EOP data for the last day and the predicted values for 50 days). The EOP values are weekly refined and systematic errors of every individual series are corrected. The combined results become accessible on the VNIIFTRI server (ftp.imvp.ru) approximately at 6h UT daily [Kaufman M., Pasynok S., 2009].

Modern precise measuring techniques allow to define with high time resolution the Earth rotation parameters and a several of other geophysical processes (e.g. change of the angular atmospheric momentum). Authors of the paper [Kaufman M., Pasynok S., 2010] have performed an analysis of time shift between these processes in different frequency ranges. This investigation is of interest both in the theoretical plan, and in practical (e.g. for ERP prediction).

A comparison of the nutation theories IAU2000 and ERA2005 has been carried out on the efficiency of their use in a nutation angles prediction program [Pasynok S.L., 2008]. As a result, the used prediction procedure yielded similar results for ERA2005 and IAU2000 to within the uncertainties of the measurements.

According to recommendations of the IERS Workshop on EOP Combination and Prediction (Poland, Warsaw, 2009), the improvement of the model for FCN variation is necessary, particularly to provide greater accuracy for real-time and near real-time data processing. For achievement of this purpose it is necessary to consider a problem in a broad sense as construction of model of residual divergences of the IAU2000 nutation theory and results of practical VLBI measurements. The method based on correlation estimations and a method of the least squares (LSM) has been applied for the analysis of these divergences [Pasynok S., Kaufman M., 2010]. The basic results of the carried out research are:

- 1) The basic components of residual divergences theoretical and measured nutation angles are allocated, their periods and amplitudes are determined;
- 2) In a range of the periods from 400 to 500 day Z.Malkin and N.Miller's results of 2007 regarding presence in this range of two basic harmonics have been confirmed. However, values of the periods appeared a little bit distinguished (values of the periods of 405 and

462 day, instead of 410 and 452 day accordingly are received).

- 3) The assumption of presence of a harmonic with the period changing in time near to 433 day does not prove to be true results of the carried out analysis. Physical interpretation of the received results is discussed.

Though pure mathematical approximations like regression models, neural networks, etc. show good results in Earth rotation forecasting, dynamical modeling remains the only base for the physically meaningful prediction. It assumes the knowledge of cause-effect relations and physical model of the rotating Earth. Excitation reconstruction from the observed EOP is critical stage, needed for comparison with known causes, such as tidal forcing, AAM, OAM changes, and uncovering unknown ones. The authors [Zotov L., Kaufman M., 2009] demonstrate different approaches, which can be used here to avoid ill-conditionality and amplification of noises and present phase studies of the model and reconstructed excitations. They can be used for excitation forecast and EOP prediction through Kalman filtering.

In the paper [Malkin Z., 2008a], the author propose to use the scatter of celestial pole offset (CPO) series obtained from VLBI observations as a measure of the accuracy of the celestial reference frame (CRF) realizations. Several scatter indices (SIs) including those proposed for the first time are investigated. The first SI is based on analysis of residuals of CPO series w.r.t. Free Core Nutation (FCN) model. The second group of SIs includes Allan deviation and its extensions, which allow one to treat unequal and multidimensional observations. Application of these criteria to several radio source catalogues showed their ability to perform a preliminary assessment of the quality of radio source catalogues, and 2D Allan deviation estimate seems to be a most sensitive measure. However, in common case, the sensitivity of tested criteria is yet not sufficient to distinguish between radio source catalogues of the highest quality. Proposed extensions of Allan deviation, weighted and multidimensional, can be effectively used also for statistical analysis of astro-geodetic and other time series.

Results on studies which have been performed to investigate the impact of the cut-off elevation angle and elevation-dependent weight-

ing on the EOP estimates and baseline length repeatability are presented in [Malkin Z., 2008b].

A new geometry index of Very Long Baseline Interferometry (VLBI) observing networks, the volume of network, is examined as an indicator of the errors in the Earth orientation parameters (EOP) obtained from VLBI observations [Malkin Z., 2009]. It has been shown that both EOP precision and accuracy can be well described by the power law $\sigma = aV^c$ in a wide range of the network size from domestic to global VLBI networks. In other words, as the network volume grows, the EOP errors become smaller following a power law. This should be taken into account for a proper comparison of EOP estimates obtained from different VLBI networks. Thus performing correct EOP comparison allows us to accurately investigate finer factors affecting the EOP errors. In particular, it was found that the dependence of the EOP precision and accuracy on the recording data rate can also be described by a power law. One important conclusion is that the EOP accuracy depends primarily on the network geometry and to lesser extent on other factors, such as recording mode and data rate and scheduling parameters, whereas these factors have stronger impact on the EOP precision.

During close angular approaches of solar system planets to astrometric radio sources, the apparent positions of these sources shift due to relativistic effects and, thus, these events may be used for testing the theory of general relativity; this fact was successfully demonstrated in the experiments on the measurements of radio source position shifts during the approaches of Jupiter carried out in 1988 and 2002. An analysis, performed within the frames of the present work, showed that when a source is observed near a planet's disk edge, i.e., practically in the case of occultation, the current experimental accuracy makes it possible to measure the relativistic effects for all planets. However, radio occultations are fairly rare events. At the same time, only Jupiter and Saturn provide noticeable relativistic effects approaching the radio sources at angular distances of about a few planet radii. The analysis [Malkin Z., et al., 2009] resulted in the creation of a catalog of forthcoming occultations and approaches of planets to astrometric radio sources for the time period of 2008–2050, which

can be used for planning experiments on testing gravity theories and other purposes. For all events included in the catalog, the main relativistic effects are calculated both for ground-based and space (Earth–Moon) interferometer baselines.

A new method is developed for prediction of UT1 [Tissen V., et al., 2010]. The method is based on construction of a general polyharmonic model of the Earth rotation parameters variations using all the data available for the last 80–100 years, and modified autoregression technique. A rigorous comparison of UT1 predictions computed at SNIIM with the prediction computed by IERS (USNO) in 2008–2009 has shown that proposed method provides better accuracy both for ultra-short and long term predictions. VLBI observations carried out by global networks provide the most accurate values of the precession–nutation angles determining the position of the celestial pole; as a rule, these results become available two to four weeks after the observations. Therefore, numerous applications, such as satellite navigation systems, operational determination of Universal Time, and space navigation, use predictions of the coordinates of the celestial pole. In connection with this, the accuracy of predictions of the precession–nutation angles based on observational data obtained over the last three years is analyzed for the first time, using three empiric nutation models—namely, those developed at the US Naval Observatory, the Paris Observatory, and the Pulkovo Observatory. This analysis shows that the last model has the best of accuracy in predicting the coordinates of the celestial pole. The rms error for a one-month prediction proposed by this model is below 100 microarcsecond [Malkin Z. M., 2010].

Astrometric observations of the radio source occultations by solar system bodies may be of large interest for testing gravity theories, dynamical astronomy, and planetary physics. In the paper [L'vov V., et al., 2010], authors present an updated list of the occultations of astrometric radio sources by planets expected in the nearest years. Such events, like the solar eclipses, generally speaking, can be only observed in a limited region. The map of the shadow path is provided for the events occurred in regions with several VLBI stations and hence the most interesting for radio astronomy experiments.

Investigations of the anomalies in the Earth rotation, in particular, the polar motion components, play an important role in our understanding of the processes that drive changes in the Earth's surface, interior, atmosphere, and ocean. The paper [Malkin Z., Miller N., 2010] is primarily aimed at investigation of the Chandler wobble (CW) at the whole available 163-year interval to search for the major CW amplitude and phase variations. First, the CW signal was extracted from the IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service) Pole coordinates time series using two digital filters: the singular spectrum analysis and Fourier transform. The CW amplitude and phase variations were examined by means of the wavelet transform and Hilbert transform. Results of the analysis have shown that, besides the well-known CW phase jump in the 1920s, two other large phase jumps have been found in the 1850s and 2000s. As in the 1920s, these phase jumps occurred contemporarily with a sharp decrease in the CW amplitude.

In the papers [Molodenskii, 2010, 2011] the ambiguity in the inverse problem of retrieval of the mechanical parameters of the Earth's shell and core from the set of data on the velocities and of longitudinal and transverse seismic body waves, the frequencies and quality factors of free oscillations, and the amplitudes and phases of forced nutation is considered. The numerical experiments show that the inverse problem of simultaneous retrieval of the density profile in the mantle–liquid core system and the mechanical quality factor of the mantle (if the total mass M and the total mean moment of inertia I of the Earth, and V_p and V_s are constant at all depths) has most unstable solutions. An example of depth distributions of density and quality factors which are alternative to the well-known PREM model is given. In these distributions, the values of M and I and the velocities V_p and V_s at all depths for the period of oscillations $T = 1$ s exactly coincide with their counterparts yielded by PREM model ($T = 1$ s); however, the maximum deviations of the density and quality factors profiles from those in the PREM model are about 3% and 40%, respectively; the mass and the moment of inertia of the liquid core are smaller than those for the PREM model by 0.75% and 0.63%, respectively. In this model, the root mean square (rms) deviations of all the measured values of free oscilla-

tions frequencies σ_i and Q_i from their values predicted by theory are half to third the corresponding values in the PREM model; the values of rms for natural frequencies of the fundamental tone and overtones of radial oscillations, the fundamental tones of toroidal oscillations, and the fundamental tones of spheroidal oscillations, which are measured with the highest relative accuracy, are smaller by a factor of 30, 6.6, and 2 than those in the PREM model, respectively.

Such a large ambiguity in the solution of the inverse problem indicates that the current models of the depth distribution of density have relatively low accuracy, and the models of the depth distribution of the Q - factors in the mantle are extremely unreliable.

It is shown that the ambiguity in the models of depth distribution of density considerably decreases after the new data on the amplitudes and phases of the forced nutation of the Earth are taken into account. Using the same data, one may also refine by several times the recent estimates of the creep function for the lower mantle within a wide interval of periods ranging from a second to a day.

In the papers [Zharkov V.N., Gudkova T.V., Molodenskii S.M., 2009], [Molodenskii S.M., Zharkov V.N., Gudkova T.V., 2009] the theory of forced nutation of the tri-axial planet is constructed. The results are applied to the Mars' forced nutation.

5. POSITIONING AND APPLICATIONS (Kaftan V.I.)

Results of the research on satellite laser range distance errors and techniques are presented in the papers [Prilepin M.T., et al., 2008, 2009].

Research on geodetic measurements and monitoring of large bridge construction using modern GNSS and electronic technologies carried out by the authors of publications [Brin' M.Ya., et al., 2007, 2009, Nikitchin A.A., 2009, Sergeev O.P., et al., 2008].

Laser scanning techniques are widely used in engineer application of geodesy. Some theoretical and practical researches are presented in the papers [Kanashin N.V., Kougiya V.A., 2007, 2009].

Series of works devoted to a designee of modern gravimetric equipment and techniques are presented in publications listed below.

The article [Churilov I.D., Dokukin P.A., 2010] describes an operational experience of the use of positioning system at pipeline inspection in the South China Sea with used ROV (Remotely Operated Vehicle). The description of the used positioning method, devices and software is presented.

Results of the study of an influence of discrete digital device electronic total stations on the accuracy of observation results of point sources of emission are described in the paper [Baranov V.N., Bargin A.A., 2009].

6. THEORY AND COMPUTATION

(Gerasimenko M.D., Neyman Yu.M., Tolchel'nikova S.A., Shestakov N.V.)

The relations between geodesy and gravimetry are discussed in the monograph [Gravimetry and Geodesy, 2010, 570 p. In Russian] which is dedicated to the 90th birthday of Vsevolod V. Brovar, an outstanding Russian scientist in the domain of geodetic gravimetry and geodesy, and to the centenary of Mikhail S. Molodensky, a Russian geodesist and geophysicist, the founder of the contemporary Earth figure theory, who made geodesy free from hypotheses of the Earth internal structure and has transformed geodesy into an exact science.

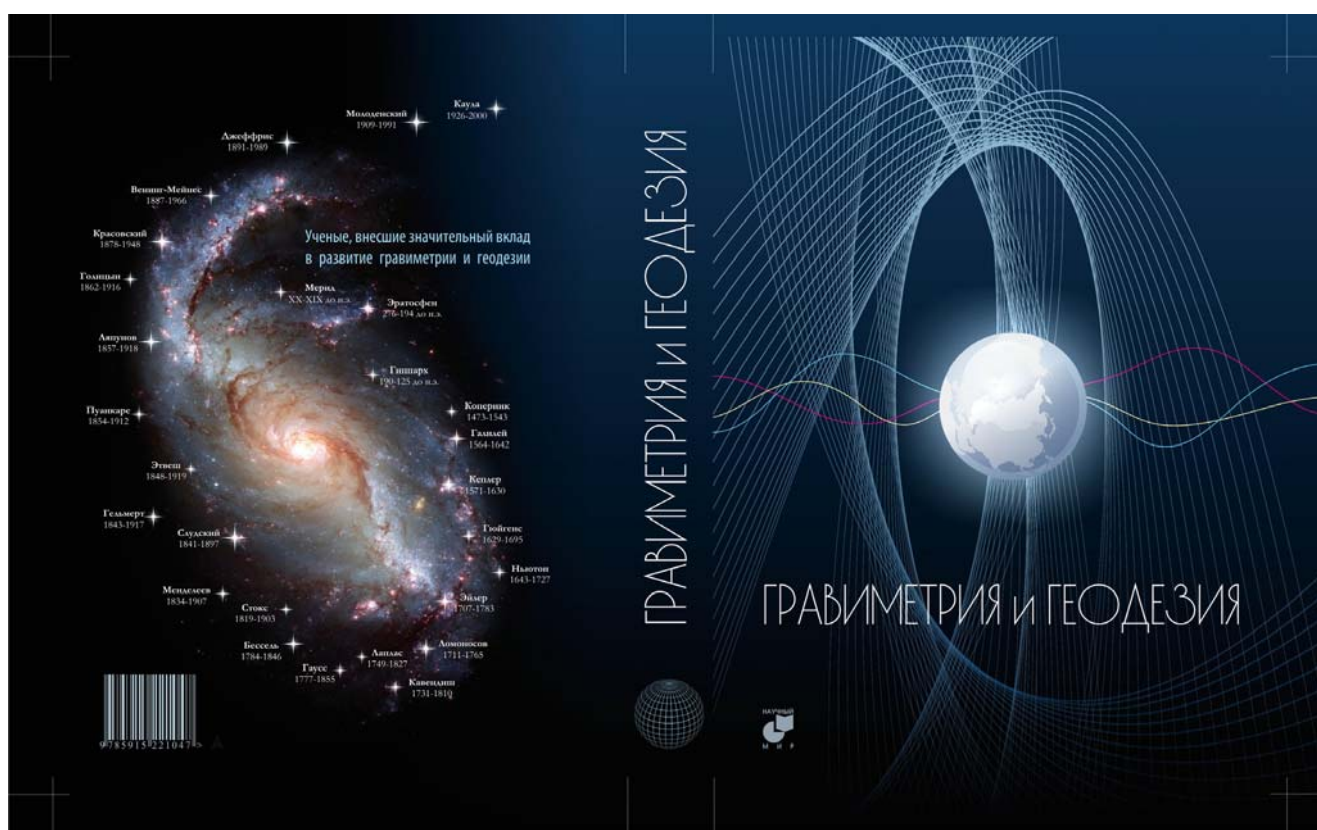


Fig. 10 Covering of the book “Gravimetry and Geodesy”

The purpose of the book is to show fruitful interacted influences of gravimetry and geodesy, evolutions of their goals and tasks; to sum up the main theoretical, experimental and production work done at the verge of the 2nd and 3rd millennia in the field of geodetic gravimetry (or physical geodesy), the transition from particular to system solutions of geodesy and gravimetry problems; to show the prospects for gravimetry development in the interests of geodesy.

The book is intended for the attention of geodesists, gravimetrists, astronomers, geophysicists, builders, navigators, ballisticians, designers, organizers of science and of all those who are interested in the development of geodesy and gravimetry [Gravimetry and Geodesy, 2010].

The determination of the motions of the Earth's pole and the places of observations in XX century is reviewed in the paper [Tolchel'nikova S.A., 2010]. Information is given about the his-

tory of the spherical coordinate systems used by different International services monitoring the Earth rotation.

The principal possibility is shown to connect the mean coordinates of reference objects (stars, quasars) to the constant coordinates- λ , φ - of the one equatorial observatory which permits to exclude the usage of numerical (theoretical) models for precession and nutation to the obtained long periodic and secular motions under discussion. At the first step projections of mean polar places to the celestial sphere are considered.

In [Tolchel'nikova S.A., 2008] the transition is considered from studies of the motions of projections of objects in spherical coordinate systems to those of bodies in triads. The views of E.Mach and A.Einstein admitting only relative motion are not heuristic. As an example, the SRT formulae for stellar aberration are shown to be not adequate for the great velocity of an observer. Instead of their "improvement" using GRT corrections for space curvature, it is necessary to take into account the curvature of celestial sphere (a surface) in the case when the velocity of observer is not less than $0.01c$ and/or when the error of observation is less than $0.5ms$ of arc. For the latter case the formulae of stellar aberration were derived in *Izvestija GAO (Pulkovo) № 213, 1998 and № 214, 2000.*

In [Tolchel'nikova S.A., 2009] two periods are considered in the development of astronomy and geodesy which have been a single science, and were divided into two close cooperating departments in XIX century. After technical rearmament in both branches of science and the latest "revolution in astrometry" the differentiation in the two fields of activity has increased. Under discussion is the newest terminology, frequent changes in theoretical models implemented by IERS and reverberated in IAU Resolutions, the influence of cardinal changes in methods of establishing reference systems ICRF and ICRS on the studies of long periodic and secular problems in Earth's rotation. The attention is paid to the actual idea of establishing International Earth's Coordinate System advanced by the scientists of TsNIIGAiK.

In order to improve cooperation between scientists employing different methods for studies of motion, the method is considered used by

Copernicus for simultaneous determination of secular and periodic components of the Earth's orbital motion and rotation of its axis from the values of coordinates fixed in observations during 1500 years. In modern practice secular and periodic components are determined separately.

For determination of heliocentric motions which gave start to the origin of dynamics, Copernicus had to summarize the observed changes of spherical coordinates (hence leading role was played by inductive logic) whereas the thought of modern scientists is moving in opposite direction since they use numerical theoretical models for interpretation of observed changes of coordinates. The development of inductive method is required for synthesis of information received from observations in astronomy, geodesy and so on, particularly for solution of the actual problem of separate determination of rotations of two celestial circles (equator and ecliptic) from analysis of observed coordinates' values [Tolchel'nikova S.A., 2010a]. The difficulties are shown in solution of this problem by means of mechanical methods and the simplified method employed in XVII century.

After Newton, Euler developed the dynamics of rigid bodies in general and in application to several planets. Attention is paid to Euler's studies of rotation of the Earth's axes in space (relative to the celestial coordinate system) and to his prediction of polar motion [Yurkina M.I., Tolchel'nikova S.A., 2009]. The influence of polar motion to the fluctuations of observed latitudes was found in more than hundred years after Euler's prediction. In XX century different International services have been organized for monitoring latitudes φ and longitudes λ of the observatories. Deviations from Euler's value for the period of free polar motion are under discussion up to now. Euler's ideas are shown to be helpful to modern geodesists and astronomers for consolidation of their efforts.

Short information [Tolchel'nikova S.A., Yurkina M.I., 2007] is given about the great influence of Euler's heritage and the International scientific conference "Leonard Euler and modern science" which took place in May 2007 in St.-Petersburg, where the authors presented the paper "Determination of the pole of the Earth's rotation", published in the volume "Leonard Euler

and modern science”, СПб., РАН, 2007, с.305-311.

Variation method of physical geodesy and collocation represented by Yu. Neyman and V. Bywshev described in the paper [Neyman Yu.M. & Bywshev V.A., 2010]. Functional approach to physical geodesy problems is described. Tractability of any geodetic measurement subject as a functional on geopotential is a guide for it. The geopotential is treated as element of a Hilbert space with reproducing kernel. Practical choosing of the kernel is founded on the well known isomorphism between reproducing kernel Hilbert spaces and covariance theory of random functions. The publication is an essential supplemented version of lecture notes published by MIIGAiK in 1985 - 1986.

It is often fruitful to use inhomogeneous information variable by accuracy and measurement unit for a perfect estimation of latent parameters. Ignoring of a physical value in this usage can produce not correct conclusions. The brief review of the iteration procedure of latent parameter estimation using inhomogeneous measurement results in the frame of the classic least square method presented in [Neyman Yu.M., 2008].

The outcome of the different geoid computation methods, based on gravity, using methods such as FFT, collocation or Stokes integration, all give the *gravimetric geoid* - which in principle refers to a global reference system, i.e. global center of mass, average zero-potential surface etc. Such a geoid may be substantially offset from the apparent geoid heights determined from GPS and leveling. The reason for the difference is mainly the assumption of zero-level: levelling zero refers to local or regional mean sea-level, which is different from the global zero vertical datum due to the sea-surface topography. Since isolated territories are interested in using GPS to determine heights in a local vertical datum, to be consistent with existing levelling, there is a need to taylor the gravimetric geoid to the local level. The paper [Neyman Yu., Pham Hoang Lan, 2010] gives a survey how it can be done.

The equations of connections and corrections for the SST measured values are derived and proposed to Earth's gravity parameters improving in the paper [Neyman Y.M., et al, 2008].

The main information needed for handling with files in European Space Agency standard are

described. Examples of output GOCE mission data are given in the article [Neyman Y.M., Hoziachikov A.A., 2010].

A simple derive of the energy conservation of the Earth - satellite system is shown without using of the analytical mechanic terms. Gravity potential and disturbing gravitation modeling by the satellite state vectors are written [Neyman Y.M., Sugaipova L.S., 2011].

The theory of Fourier series sampling theorem is applied to calculation of covariance between point and mean values of various transforms of geopotential. The corresponding numerical results for the second derivatives of the disturbing potential are obtained to use for primary treatment of satellite gradiometry data [Sugaipova L.S., 2010].

The main results of theoretical and experimental research on optimal observation design and rigorous mathematical treatment of geodetic measurement for geodynamical purpose carried out in the Institute of Applied Mathematics of the Far East Division of the Russian Academy of Sciences during the last 20 years [Gerasimenko M.D., Kolomiets A.G., 2008].

The problem of the gross error diagnostics based upon the analysis of least-squares residuals has been carried out in [Gerasimenko M.D., 2008]. The general formula for calculation of the square root of the diagonal elements of covariance matrix of the residuals is given. This formula allows calculating the critical value of residuals, including measured directions even under terms when the position-finding angles are excluded from the system of normal equations.

Recommendations to take into account a physical correlation in mathematical treatment of geodetic measurements proposed in the article [Gerasimenko M.D., Shestakov N.V., 2008].

An explicit relationship between accuracy of estimated parameter of deformation model, weights of optimized GPS observations and degree of their correlation was obtained and investigated for the first time [Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., 2009a]. It is shown that taking into account correlation of GPS measurements may lead to increase of formal precision of estimated parameters. Thus, we don't recommend to involve correlation of GPS measurements into optimization process without knowledge of real values of correlation coefficients.

The elasticity theory basic aspects necessary for deformation description and analysis, simple deformation models, deformation GNSS network and measurement characteristics, geodetic network optimal design problems are presented in [Shestakov N.V., Gerasimenko M.D., 2009b, Shestakov N.V., et al., 2008]. Deformation GNSS network optimal design and most informative observation selection algorithms are proposed. Correlated geodetic measurement optimization problems are considered and analyzed. The major theoretical conclusions and practical developments are illustrated by numerical examples.

As it is shown by V.Krilov (2008a) the main disadvantage of the Encke method for numerical integration of celestial body movements, related to increasing computation operations in the account of two orbit integration, can be eliminated with the use of regularized equations. The example of integration of movement equations of two asteroids shows that the method Encke usage for regularized equations provides coordinate accuracy at the level of $6 \cdot 10^{-7}$ of astronomical unit at the 400 day interval with about 230 steps of the integration.

Using three Laplace integrals and integral of energy, regularized equations of undisturbed and disturbed movement of an astronomical object are received in the research [Krilov V.I., 2008b]. It is shown that undisturbed astronomical object coordinates can be presented as a function of initial conditions and a new independent variable. The example of integration of movement equations of the 1566 Icarus asteroid, having large orbital eccentricity, shows that the regularization provides coordinate accuracy at the level of $5 \cdot 10^{-7}$ of astronomical unit at the 400 day interval with about 430 steps of the integration.

The book "Spherical functions in a geodesy" written by Zbynek Nadenik the researcher from the Czech Republic were interpreted to Russian and edited as a student book [Nadenik Z., 2010].

References

1. Бровар Б.В., Демьянов Г.В. Геодезические системы координат и параметры гравитационного поля Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 267-275
2. Герасименко М.Д., Коломиец А.Г. К вопросу о фиксации системы координат свободных геодезических сетей // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 2, 2008, с. 29-33.
3. Гусев Н.А., Щеглов С.Н. Опорные гравиметрические сети / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 327-340
4. Demyanov G.V., Tatevian S.K. (2010) Integration of the Russian Geodetic Network into the GGOS / G4 Integration of Geodetic Techniques: A Coordinated GGOS Approach, EGU 2010, Wien
5. Kaptüg V. (2008) Index of Field and Other Important Manuscripts Relating to the Scandinavian Segment of the World Heritage Monument "Struve Geodetic Arc" // FIG WW, Stockholm, Pre-Conference Workshop, History of Surveying, HS5: http://www.fig.net/pub/fig2008/papers/hs05/hs05_03_kaptug_2763.pdf
6. Kaptüg V. (2009) Geometry of the "Struve Arc" Compared with Up-to-date Geodetic Data. FIG WW, Eilat, Pre-Conference Workshop, History of Surveying, HS1: http://www.fig.net/pub/fig2009/papers/hs01/hs01_kaptug_3357.pdf
7. Kaptüg V.B. (2010) "The Struve Geodetic Arc" as World Heritage. http://meta-carto-semiot-ics.org/uploads/mcs_vol3_2010/MCS_Vol3_petersburg_abstracts.pdf
8. Kaftan V.I. (2008a) Frames and Systems in Gravimetry and Geodesy: Chaos and Order in Terminology. International Symposium, Terrestrial Gravimetry: Static and Mobil Measurements, 20-23 August 2007, Saint Petersburg, Russia, Proceedings, State Research Center of Russia Elektropribor, 2008, p.183-185
9. Кафтан В.И. Системы координат и системы отсчета в геодезии, геоинформатике и навигации // Геопрофи.- 2008.- №3.- 60-63, №4.-62-65
10. Кафтан В.И. Государственные системы координат и возможности их использования // Кадастр недвижимости.- 2008.- №3.- (12).-с.26-28
11. Кафтан В.И. Исходные геодезические даты вчера и сегодня// Кадастр недвижимости .- 2009.- №3.- (16).-с.73-77
12. Кафтан В.И. Опыт геодезической привязки антенн РСДБ к пунктам фундаментальной астрономо-геодезической сети / Фундаментальное и прикладное координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО-2009). Третья всероссийская конференция. СПб.: ИПА РАН, 2009.- с. 158-159
13. Коломиец А.Г. Фиксация кинематической системы координат // Информатика и системы управления, № 1, 2010, с. 10-18.
14. Кузнецов Ю.Г. Государственная нивелирная сеть (главная высотная основа) / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 287-299
15. Makinen J., Bilker-Koivula M., Routsalainen H., Kaftan V.I., Gusev N.A., Korolev N.N., Yushkin V.D., Falk R., Hoppe W., Gitlein O. (2008) Comparison of Absolute Gravimeters in Metsahovi in 2004 and in Zvenigorod in 2005. International Symposium, Terrestrial Gravimetry: Static and Mobil Measurements, 20-23 August 2007, Saint Petersburg, Russia, Proceedings,

- State Research Center of Russia Elektropribor, 2008, p.123
16. Mäkinen J., Bilker-Koivula M., Ruotsalainen H., Kaf-tan V., Gusev N., Korolev N., Yushkin V., Falk R., Hoppe W., Gitlein O. Comparisons of six absolute gravimeters at four sites 2004–2007 IAG International Symposium “Gravity, Geoid and Earth Observation 2008” GGEO2008, Chania, Crete, 23–27 June 2008
 17. Майоров А.Н. Спутниковое нивелирование / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 309-312
 18. Mazurova E.M., V.A. Malinnikov “GLONASS”, 2010, the International GNSS Service (IGS), Newcastle upon Tyne, England, 28 June -2 July <http://www.ceg.ncl.ac.uk/igs2010/abstract.htm>
 19. Mazurova E.M. (2009) “A Review of GLONASS” (poster), International Conference, Spatial Sciences, Curtin University, Perth, Australia, June 2009.
 20. Mazurova E.M., Aleksashina E.V. (2010) “Struve’s Arc”, 2010, In collected scientific reports of the international conference “175 years of the higher geodetic education”, Moscow, pp.76-77.
 21. Молоденский С.М. Приливы, нутация и внутреннее строение Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 64-73
 22. Непоклонов В.Б. Космические методы определения системы геодезических параметров Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 275-287
 23. Пук М.В., Юркина М.И. Системы координат и системы отсчета в геодезии и теории фигуры Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010.— с. 56-64
 24. Stus Yu.F., Kalish E.N., Smirnov M.G., Bunin I.A., Nosov D.A. (2010) The Absolute Ballistic Gravimeter for Field Operations // Report on the IAG SYMPOSIUM on TERRESTRIAL GRAVIMETRY: STATIC and MOBILE MEASUREMENTS (TG-SMM2010) 22 - 25 June 2010 Russia, Saint Petersburg
 25. Revniviykh S., Tatevyan S. (2007) On the use of combined GLONASS/GPS constellations for geodynamic studies // Advances of Space Research , 2007 (Elsevier)
 26. Tatevyan S., Kuzin S. (2008) On the combined use of GPA/GLONASS techniques for the development of the Russian Geodetic Reference Network, // Материалы международного симпозиума «Космическая геодинамика и моделирование глобальных геодинамических процессов, 22-26 сентября 2008. СО РАН, Новосибирск, РФ, с. 58-83.
 27. Agostino G.D’, Germak A., Vitushkin L.F. (2008), International Comparison of Absolute Gravimeters: Technical Protocol and Estimate of the Reference Value and its Uncertainty, Proceedings of International Symposium “Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements. TGSMM-2007”, 20-23 August 2007, St Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Elektropribor, 2008, p 116.
 28. Баграмянц В.О. Морские астазированные гравиметры / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 225-236
 29. Boyarsky E.A., Afanasieva L.V. (2010) MAGELLAN–2 Universal Software Package for the Processing and Analysis of Aero and Marine Gravity Measurements. Gyroscopy and Navigation, 2010, Vol. 1, No. 2, pp. 146–154.
 30. Boyarsky E.A., Afanasieva L.V., Koneshov V.N. (2010) Method to Compute the Vertical Deflection Components. Gravity, Geoid and Earth Observation. IAG Commission 2: Gravity Field, Chania, Crete, Greece, 23–27 June 2008. Series: International Association of Geodesy Symposia , Vol. 135. Mertikas, Stelios (Ed.). 2010, XII, 538 p. N 55, pp. 421–426.
 31. Бровар Б.В., Гусев Н.А., Юркина М.И. О развитии гравиметрических работ в интересах геодезии / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 472-479
 32. Гусев Н.А. Абсолютные измерения методом свободного падения / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 241-256
 33. Гусев Н.А. Абсолютные измерения маятниковым методом / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 178-180
 34. Гусев Н.А. Относительные измерения маятниковым методом на неподвижном и подвижном основании / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 180-197
 35. Гусев Н.А., Спиридонов А.И. Метрологическое обеспечение гравиметрических работ / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 263-267
 36. Дубовской В.Б. Спутниковая градиентометрия / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 361-363
 37. Дубовской В.Б., Леонтьев В.И., Сбитнев А.В. Модернизация гравиметра ГАГ-3 / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 493-495
 38. Измайлов В.П., Карагиоз О.В. Определение гравитационной постоянной G / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 82 -87
 39. Jiang Z., Becker M., Vitushkin L. (2008) The Local Gravity Field at BIPM, Proceedings of International Symposium “Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements. TGSMM-2007”, 20-23 August 2007, St Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Elektropribor, 2008, pp 152-157
 40. Кафтан В.И. Циклы природных процессов и изменений силы тяжести по данным инструментальных наблюдений / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 459
 41. Колосницын Н.И. Принцип эквивалентности и земные приливы / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 87-95
 42. Конопихин А.А. Гравиметрическая изученность Луны, Марса и Венеры / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 369-377
 43. Конопихин А.А. Временные вариации силы тяжести / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 403-410
 44. Конаев А.В. Приливные вариации силы тяжести: приборы, методы обработки данных, интерпретация / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 236-241

45. Krivtsov E., Yankovsky A., Vitushkin L., Francis O. (2008) *Investigations of Characteristics of Gravimetric Sites Intended for High-Accuracy Measurements, Proceedings of International Symposium "Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements. TGSM-2007"*, 20-23 August 2007, St Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Electropribor, 2008, pp 158-166.
46. Mazurova E.M. (2008) *Corrections for ellipsoidal, Colloquium to honour Helmut Moritz on November 14, 2008 at Berlin (Germany)*. http://www.iag-aig.org/attach/0f5593fe0565a3e04996daad41b0c2af/1_AG_Newsletter_August_2008.pdf
47. Mazurova E.M., A.S. Bagrova (2008) *To a question about calculation of the height anomaly on the basis of the Wavelet-transformation and the Fast Fourier Transform to flat approximation, Izvestiya Vuzov. Geodeziya i Aerofotos'yomka (News of Higher schools. Geodesy and air photography), №4, 2008, pp. 6-9.*
48. Mazurova E.M., Kuvkina N.A., Aleksashina E.V. (2008) *On Ellipsoid Corrections// Izvestiya Vuzov. Geodeziya i Aerofotos'yomka (News of Higher schools. Geodesy and air photography), №5, 2008, pp. 3-5*
49. Mazurova E.M. (2009) *On calculating ellipsoidal corrections to gravity disturbances (poster), Geodesy for Planet Earth, IAG 2009 Scientific Assembly, Buenos Aires, Argentine, August 31 to September 4, 2009. http://www.iag2009.com.ar/sessions/SESSION_2_t.pdf, p.47 (PS2-Th16).*
50. Mazurova E.M., M.I. Yurkina (2010) *Use of Green's function for determining the disturbing potential of an ellipsoidal Earth (poster), 2010, EGU, General Assembly, Vienna, Austria, 2-7 May. <https://administrator.copernicus.org/authentication.php>*
51. Mazurova E.M. (2010) *About calculation of an analytical image Hartly for a kernel of the modified Vening-Meinez's integral, In collected scientific reports of the international conference Geo-Sibir-2009, Novosibirsk, pp. 215-220.*
52. Mazurova E.M., Yurkina M.I. (2010) *Use of Green's function for determining the perturbing potential of an ellipsoidal Earth . Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-15721, 2010 EGU General Assembly 2010 © Author(s) 2010*
53. Mazurova E.M., M.I. Yurkina (2010) *Definition of Green's function for the ellipsoidal Earth, 2010, In collected scientific reports of the international conference "175 years of the higher geodetic education", Moscow, p.79.*
54. Mazurova E.M. (2010) *Computation of Height Anomaly through the Fast Wavelet Transform (report), 2010, 28th IUGG Conference on Mathematical Geophysics – CMG-2010, Pisa, Italy, 7-11 June. <http://cmg2010.pi.ingv.it/Abstract/index.html>*
55. Мельников В.В. *Гравитационная постоянная / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 79-82*
56. Непоклонов В.В. *Средства и методы автоматизации подготовки исходной гравиметрической информации / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 382-384*
57. Непоклонов В.В. *Методы моделирования аномального гравитационного поля Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 379-382*
58. Непоклонов В.В. *Методики определения составляющих уклонений отвесных линий и высот квази-геоида по гравиметрическим данным / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 384-392*
59. Соловьев Ю.С. *Модели гравитационного поля Земли для расчета траекторий полета ракет / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 392-402*
60. Сорока А.И. *О разработках бортовых измерителей вторых производных гравитационного потенциала / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 256-263*
61. Таранов В.А. *Гравиметрическая изученность Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 363-369*
62. Тулин В.А. *Начальный (предвоенный) период разработки гравиметров / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 197-198*
63. Тулин В.А. *Кольцевой гравиметр / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 198-201*
64. Тулин В.А. *Неастазированные гравиметры / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 201-206*
65. Тулин В.А. *Астазированные гравиметры / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 206-210*
66. Тулин В.А. *Криогенные гравиметры / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 210-212*
67. Тулин В.А. *Морские неастазированные гравиметры / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 212-225*
68. Vitushkin L.F. (2008) *Measurement standards in gravimetry, Proceedings of International Symposium "Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements. TGSM-2007"*, 20-23 August 2007, St Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Electropribor, 2008, pp 98-105.
69. Vitushkin L., Jiang Z., et al, (2010) *Results of the Seventh International Comparison of Absolute Gravimeters ICAG-2005 at the Bureau International des Poids et Mesures, Sevres, Gravity, Geoid and Earth Observation, IAG Symposia, vol. 135, Springer, 2010, pp 47-53.*
70. Vitushkin L., Orlov O., Nalivaev V. (2008) *Test Measurements of Free-Fall Acceleration Using the FG5-108 Gravimeter With a Compact Diode-Pumped Solid-State Nd:YVO4/KTP/12 Laser at a Wavelength of 532 nm, Proceedings of International Symposium "Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements. TGSM-2007"*, 20-23 August 2007, St Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Electropribor, 2008, pp 143-146.
71. Vitushkin L., Wolf P., Vitouchkine A. (2007) *Measurement of the gravitational constant using the attraction between two free-falling discs: a proposal", International Symposium "Terrestrial Gravimetry. Static and Mobile Measurements. TGSM-2007"*, 20-23 August 2007, St Petersburg, Russia, State Research Center of Russia Electropribor, 2008, pp 143-146.

- tional Journal of Modern Physics D*, vol. 16, n. 12, 2007, pp 1-9.
72. Юркина М.И. Теория Молоденского и ее дальнейшее развитие / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 95-120
 73. Авсюк Ю.Н., Светлосанова З.П. Определение приливной силы, соответствующее реальному орбитальному движению исследуемого тела / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 445-459
 74. Быков В.Г., Бормотов В.А., Коковкин А.А., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Герасименко М.Д., Шестаков Н.В., Коломиец А.Г. и др. Начало формирования единой сети геодинимических наблюдений ДВО РАН // Вестник ДВО РАН, №4, 2009, с. 83-93.
 75. Чуйкова Н.А., Жаров В.Е., Пасынок С.Л., Максимова Т.Г., Казарян С.А. Кинематика и динамика оболочек Земли / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 410-445
 76. Докукин П.А., Алексеева Е.В., Змызгов А.А. Исследование геодинимических процессов по спутниковым измерениям в локальной геодезической сети // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. — 2009. - №12. 63-71 с.
 77. Dokukin P.A., Kaftan V.I. (2008) Deformation geodetic precursor of the Parkfield 2004 earthquake / WEGENER 2008 - 14th General Assembly of Wegener. Programme and Book of Abstracts September 15-18, 2008, Darmstadt, Germany.- p.89
 78. Докукин П.А., Кафтан В.И., Красноперов Р.В. Влияние формы треугольников СРНС сети на определение деформаций земной поверхности // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. — 2010. - №5 — с.6-11
 79. Галаганов О.Н. GPS-технологии для деформационного мониторинга геодинимических процессов / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 316-327
 80. Кафтан В.И. Циклы природных процессов и изменений силы тяжести по данным инструментальных наблюдений/ Гравиметрия и геодезия.- М.: Научный мир, 2010.- с.459-470
 81. Кафтан В.И., Красноперов Р.И., Юровский П.П. Графическое представление результатов определения движений и деформаций земной поверхности средствами глобальных навигационных спутниковых систем// Геодезия и картография.- 2010.- №11.- с.2-7
 82. Кафтан В.И., Цыба Е.Н. Оценка изменений среднего радиус-вектора пунктов глобальной геодезической сети // Геодезия и картография.- 2008.- №10.- с.14-21
 83. Кафтан В.И., Цыба Е.Н. Оценка изменений полусей земного геометрического эллипсоида по результатам спутниковых наблюдений в глобальной геодезической сети// Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка.- 2009.-№1.-с. 33-40
 84. Kaftan V., Tsiba E. (2009) Global reference frame coordinate variation as indicators of global changes and geodetic observation quality / International Conference "Electronic Geophysical Year: State of the Art and Results", Materials of the Conference/ 3-6 June 2009. Pereslavl-Zalessky, Russia.- p.29
 85. Кафтан В.И., Цыба Е.Н. Изменения координат пунктов международной геодезической сети, как индикатор глобальных процессов и качества координатной основы / Сборник статей по итогам международной научно-технической конференции, посвященной 230-летию основания МИИГАуК.- Выпуск 2. В 2-х частях.- Ч.II.- М.:Изд-во МИИГАуК, 2009.- с.80-82
 86. Kaufman M., Pasynok S. (2009) Russian state Time and Earth rotation Service: observations, EOP series, prediction. IERS Workshop on EOP Combination and Prediction. 19 – 21 October 2009. Warsaw (Poland). P 22.
 87. Kaufman M., Pasynok S. (2010) Investigation of time shifts between ERP and some geophysical processes. Joint GGOS/IAU Science Workshop "Observing and Understanding Earth Rotation", Shanghai, China, October 25-28, 2010, P.40.
 88. Kogan M.G., Frolov D.I., Steblou G.M., Gabsatarov Y.V., Vladimirova I.S., Freymueller J.T. (2009) Imprint of the Bering Plate in Chukotka, East Siberia, from Regional GPS Observations // Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl., 2009, V.90. N.52, Abstract G23D-04.
 89. Kogan M. G., Steblou G. M. (2008) Real plates and dubious microplates // Eos Trans. AGU, Fall Meet. Suppl., 2008. V.89. N.53. Abstract G21A-0653.
 90. Kogan M. G., Steblou G. M. (2008) Current global plate kinematics from GPS (1995–2007) with the plate-consistent reference frame // J. Geophys. Res., 2008. V.113, B04416. DOI:10.1029/2007JB005353.
 91. Krasnoperov R. (2009). Earth crust motion and deformation analysis based on space geodesy methods, Russ. J. Earth. Sci., 11, ES1002, doi:10.2205/2009ES000394.
 92. Kuzin S.P., Tatevian S.K., Valeev S.G., Fashutdinova V.A. (2010) Studies of the geocenter movements by 16-year DORIS data. Advances of Space Research 2010
 93. Кузнецов Ю.Г. Изучение современных вертикальных движений земной поверхности / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 299-302
 94. L'vov V., Malkin Z., Tsekmeister S. (2010) Forthcoming Occultations of Astrometric Radio Sources by Planets. In: D. Behrend, K. D. Baver (Eds.), IVS 2010 General Meeting Proc., NASA/CP-2010-215864, 2010, 320-324.
 95. Mäkinen J., Kaftan V.I., Demiyarov G.V., Kuznetsov Yu.G., Zabnev V.I., Lehmuskoski P., Saarinen V., Poutanen M., Takalo M. (2008) Crustal uplift in eastern Fennoscandia: Results from repeated Russian and Finnish levellings / EGU General Assembly, Vienna, April 13–18, 2008
 96. Malkin Z. M. (2010) Analysis of the Accuracy of Prediction of the Celestial Pole Motion. Astronomy Reports, 2010, v. 54, No. 11, 1053-1061. DOI: 10.1134/S1063772910110119
 97. Malkin Z. M. (2007) Empiric Models of the Earth's Free Core Nutation. Solar System Research, 2007, v. 41, No. 6, 492-497. DOI: 10.1134/S0038094607060044

98. Malkin Z. (2010) CPO Prediction: Accuracy Assessment and Impact on UT1 Intensive Results. In: D. Behrend, K. D. Baver (Eds.), *IVS 2010 General Meeting Proc.*, Milkov D. A., Karimova L., Malkin Z. M. (2009) Non-linear vector ANN predictor for Earth rotation parameters forecast. In: *Proc. Journées 2008: Astrometry, Geodynamics and Astronomical Reference Systems, Dresden, Germany, 22-24 Sep 2008, Ed. M. Soffel, N. Capitaine, 2009, 139-140. NASA/CP-2010-215864, 2010, 261-265.*
99. Malkin Z. (2008b) Influence of Elevation-Dependent Weighting on Parameter Estimates: A Case of CONT05. In: *Measuring the Future, Proc. Fifth IVS General Meeting, A. Finkelstein, D. Behrend (Eds.), 2008, 178-182.*
100. Malkin Z. (2009) On comparison of the Earth orientation parameters obtained from different VLBI networks and observing programs. *J. of Geodesy*, 2009, v. 83, No. 6, 547-556. DOI: 10.1007/s00190-008-0265-2
101. Malkin Z. (2008) On Construction of ICRF-2. In: *Measuring the Future, Proc. Fifth IVS General Meeting, A. Finkelstein, D. Behrend (Eds.), 2008, 256-260.*
102. Malkin Z. (2008a) On the accuracy assessment of celestial reference frame realizations. *J. of Geodesy*, 2008, v. 82, No. 6, 325-329. DOI: 10.1007/s00190-007-0181-x
103. Malkin Z. M., L'vov V. N., Tsekmejster S. D. (2009) Forthcoming Close Angular Approaches of Planets to Radio Sources and Possibilities to Use Them as GR Tests. *Solar System Research*, 2009, v. 43, No. 4, 313-318. DOI: 10.1134/S0038094609040054
104. Malkin Z., Miller N. (2010) Chandler wobble: two more large phase jumps revealed. *Earth Planets Space*, 2010, v. 62, No. 12, 943-947. doi:10.5047/eps.2010.11.002
105. Malkin Z., Popova E. (2009) An analysis of source motions derived from position time series. In: *Proc. Journées 2008: Astrometry, Geodynamics and Astronomical Reference Systems, Dresden, Germany, 22-24 Sep 2008, Ed. M. Soffel, N. Capitaine, 2009, 239-240.*
106. Malkin Z., Titov O. (2008) Optical Characteristics of Astrometric Radio Sources. In: *Measuring the Future, Proc. Fifth IVS General Meeting, A. Finkelstein, D. Behrend (Eds.), 2008, 183-187.*
107. Медведев П.П., Непоклонов В.Б., Лебедев С.А., Зуева А.Н., Плешаков Д.И., Родкин М.В. Спутниковая альтиметрия / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 340-359
108. Milyukov, V., et al. (2009) Monitoring crustal deformations in the Northern Caucasus using a high precision long base laser strainmeter and the GPS/GLONASS network. *J. Geodyn.* (2009), doi:10.1016/j.jog.2009.10.003
109. Молоденский С.М. Коррективы в схему строения Земли по новым данным о приливах, нутации и собственных колебаниях // *Физика Земли*. - 2010. - №7. - с. 3-28
110. Молоденский С.М. Модели распределений плотности и параметров добротности мантии по новым данным о нутации и собственных колебаниях. 1. Неоднозначность решения обратной задачи // *Физика Земли*. - 2011. - №4. - с. 3-15
111. Molodenskii S.M., Zharkov V.N., Gudkova T.V. (2009) On models of Mars' interior and amplitudes of forced nutations. 1. The effects of liquid core and mantle elasticity. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 172, p.335-344.
112. Pasynok S.L. (2008) Comparison of the Prediction Force of the Nutation Theories IAU2000 and ERA2005. The 5-th General Meeting of the International VLBI Service for Geodesy and Astrometry "MEASURING THE FUTURE". St. Petersburg, 2008, Russia, p.51
113. Pasynok S., Kaufman M. (2010) The model of the disagreements between IAU2000 nutation theory and observations. Joint GGOS/IAU Science Workshop "Observing and Understanding Earth Rotation", Shanghai, China, October 25-28, 2010, p.28
114. Певнев А.К. О необходимости рационального сочетания методов прямых и обратных задач в решении проблемы прогноза землетрясений. *Геофизика XXI столетия: 2007 год. М.: 2008. С.139-146.*
115. Певнев А.К. Что мешает решить проблему прогноза землетрясений // *Геоинжиниринг*. 2008. №1 (5). С.68-79.
116. Певнев А.К. О пути к реальному прогнозу землетрясений // *Уч. зап. РГГМУ*, 2009. №11, с.132-153.
117. Певнев А.К. О причинах кризиса в проблеме прогноза землетрясений и путях выхода из него / Актуальные проблемы региональной геологии и геодинамики. XI Горшковские чтения. Материалы конференции. МГУ, 24 апреля 2009. URSS. Москва. 2009, с. 8-16.
118. Певнев А.К. Об ошибке американских геодезистов, положившей начало кризису в проблеме прогноза землетрясений // *Изв. Государственного университета по землеустройству*. 2010, №12
119. Певнев А.К. О исходной причине кризиса в прогнозе землетрясений // *Уч. зап. Российского государственного гидрометеорологического университета*. 2010. №11
120. М.Т. Прилепин. Изучение соотношений локальных и региональных деформаций в тектонически активных областях земной коры // Тезисы доклада на Научной сессии Международной ассоциации геодезии. Генеральная ассамблея Союза геодезии и геофизики. Перуджа, Италия 2007 г.
121. М.Т. Прилепин, С.М. Баранова. Деформационные процессы в период подготовки Измитского землетрясения 1999 г. // *Геофизические исследования*. 2007, вып. 7. ИФЗ РАН
122. Шестаков Н.В., Герасимов Г.Н., Герасименко М.Д. Учет сезонных вариаций координат пунктов GPS/ГЛОНАСС-наблюдений при исследовании современных движений земной коры // *Геодезия и картография*, № 9, 2009, с. 46-51.
123. Shestakov N.V., M. D. Gerasimenko, H. Takahashi, M. Kasahara, V. A. Bormotov, V. G. Bykov, A. G. Kolomiets, G. N. Gerasimov, N. F. Vasilenko, A. S. Prytkov, V. Yu. Timofeev, D. G. Ardyukov and T. Kato. Present tectonics of the southeast of Russia as seen from GPS observations // *Geophysical Journal International*, 2010, doi: 10.1111/j.1365-246X.2010.04871.x

124. Sokolova Ju., Malkin Z. (2008) Comparison and Combination of CRF Catalogues. In: *Measuring the Future, Proc. Fifth IVS General Meeting, A. Finkelstein, D. Behrend (Eds.)*, 2008, 275-278.
125. Sokolova Ju., Malkin Z. (2007) On comparison and combination of catalogues of radio source positions. *Astron. Astrophys.*, 2007, v. 474, No. 2, 665-670. DOI: 10.1051/0004-6361:20077450
126. Steblov G. M., Kogan M. G., Levin B. V., Vasilenko N. F., Prytkov A. S., Frolov D. I. (2008) Spatially linked asperities of the 2006–2007 great Kuril earthquakes revealed by GPS // *Geophys. Res. Lett.*, 2008. V.35, L22306. DOI:10.1029/2008GL035572.
127. Steblov G. M., Kogan M. G., Levin B. V., Vasilenko N. F., Prytkov A. S., Frolov D. I. Elastic strain released in earthquakes at convergent plate boundaries. // *Eos Trans. (2008) AGU, Fall Meet. Suppl.*, 2008. V.89. N.53. Abstract G21A-0654
128. Стеблов Г.М., Василенко Н.Ф., Прытков А.С., Фролов Д.И., Грекова Т.А. Динамика Курило-Камчатской зоны субдукции по данным GPS // *Физика Земли*, 2010. №5. С.77-82.
129. Steblov G. M., N. F. Vasilenko, A. S. Prytkov, D. I. Frolov, T. A. Grekova (2010). Dynamics of the Kuril-Kamchatka Subduction Zone from GPS Data // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*, 2010, Vol. 46, No. 5, pp. 440–445. (Original Russian Text: G.M. Steblov, N.F. Vasilenko, A.S. Prytkov, D.I. Frolov, T.A. Grekova, 2010, published in *Fizika Zemli*, 2010, No. 5, pp. 77–82.)
130. Tatevian S.K., Kuzin S.P. (2009) Studies of the Earth's center of mass periodical movements // *Russian Journal of Earth Sciences*, Vol. 11, ES2003, doi: 10.2205/2009ES000361, 2009.
131. Tatevian S., Kuzin S, Valeev S. (2010) Geocenter estimation from 16-years data of the DORIS system. *Advances in Space Research (COSPAR)*, 46, (2010) p.1292-1298.
132. Tissen V., Tolstikov A., Malkin Z. (2010) UT1 prediction based on long-time series analysis. *Artificial Satellites*, 2010, v. 45, No. 2, 111-118. DOI: 10.2478/v10018-010-0012-9
133. Titov O., Malkin Z. (2009) Effect of asymmetry of the radio source distribution on the apparent proper motion kinematic analysis. *Astron. Astrophys.*, 2009, v. 506, No. 3, 1477-1485. DOI: 10.1051/0004-6361/200912369
134. С.А.Толчельникова. Об изучении прецессионно-нутационного вращения Земли в теории и по наблюдениям // *Геодезия и картография*, 2010, №5, с.3-11
135. Zotov L., Kaufman M. (2009) Dynamical modeling as fundamental of Earth rotation prediction. *IERS Workshop on EOP Combination and Prediction*. 19 – 21 October 2009. Warsaw (Poland). P 28.
136. Юркина М.И. О связи земной и небесной системы координат / *Гравиметрия и геодезия*. — М.: Научный мир, 2010. — с. 54-56
137. Zharkov V.N., Gudkova T.V., Molodenskii S.M. (2009) On models of Mars' interior and amplitudes of forced nutations. 1. The effects of deformation of Mars from its equilibrium state on the flattening of the core-mantle flattening. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 172, p.324-333
138. Баранов В.Н., Брагин А.А. К вопросу о влиянии дискретности ПЗС структур на точность результатов при наблюдениях точечных источников излучения // *Землеустройство и кадастр недвижимости в реализации государственной земельной политики и охраны окружающей среды. Сборник научных статей международной научно-практической конференции, посвященной 230-летию Государственного университета по землеустройству*. — М.: ГУЗ, 2009. — с.384-388
139. Баранов В.Н., Цуриков А.А. Исследование статистических характеристик аномального гравитационного поля в районе строительства УНК (г. Протвино) // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. — М., 2009
140. Батраков Ю.Г. Влияние погрешностей исходных дирекционных углов на точность полигонометрических ходов // *Известия вузов. Геодезия и картография* – 2010 - №6 – с. 8
141. Брынь М.Я., Толстов Е.Г., Никитчин А.А. и др. О выборе электронного тахеометра для геодезического сопровождения строительства высотных сооружений // *Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – Європейський досвід: Зб. наук. пр. – Чернігів, 2009. – вип.5. – С. 60-63.*
142. Батраков Ю.Г., Каширкин Ю.Ю. Межевание земель с применением GPS-ГЛЛОНАСС приемника // *Геодезия и картография*. М.: №6, 2009. – 4 стр.
143. Брынь М.Я., Никитчин А.А., Сергеев О.П. и др. О мониторинге геодезической сети в ходе строительства вантовых мостов // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. – Львів, 2009. – вып.1(17). – С.98–102.*
144. Брынь М.Я., Никитчин А.А., Толстов Е.Г. и др. Геодезический мониторинг деформаций вантовых мостов на основе спутниковых технологий. // *Изв. Петербургского гос. ун-та путей сообщения*. – 2009. – №2(19). – С. 120-128
145. Брынь М.Я., Веселкин П.А., Никитчин А.А. и др. Уравнивание спутниковых и наземных измерений параметрическим способом в плоских координатах для построения мостовых разбивочных сетей // *Изв. Петербургского гос. ун-та путей сообщения*. – 2007. – №1(10). – С. 135-140.
146. Бровар Б.В. Определение вектора ускорения силы притяжения, ориентации и координат движущегося объекта каскадным методом / *Гравиметрия и геодезия*. — М.: Научный мир, 2010. — с. 489-493
147. Четверикова А.А. Опыт работы со скважинным инклинометром и перспективы его применения в строительстве // *Известия ВУЗов: Геодезия и аэрофотосъемка*. М., 2009. - №1
148. Чурилов И.Д., Докукин П.А. Опыт работы с системой позиционирования при обследовании подводного трубопровода в Южно-Китайском море // *Землеустройство, кадастр и мониторинг земель*. – 2010. - №3. – с. 86-89

149. Дроздов Н.Д. Об астрогравиметрическом автономном позиционировании // Известия ВУЗов: Геодезия и аэрофотосъемка. М., 2009. - №2
150. Дубовской В.Б., Жильников В.Г., Леонтьев В.И., Сбитнев А.В. Микронивелир НИ-3 / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 495-497
151. Дубовской В.Б., Леонтьев В.И., Латышев Д.Д., Сбитнев А.В., Четверикова А.А. Сквасинный инклинометр НИ-2 / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 497-500
152. Канашин Н.В., Коугия В.А. Исследование точности объединения облаков точек, полученных по данным наземного лазерного сканирования // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: Зб. наук. пр. — Львів 2007. — вып.1 (13). С. 87–92.
153. Канашин Н.В. Исследование способов математической обработки сканерных измерений // Известия Петербургского университета путей сообщения, вып. 2 (19), 2009. — С. 168–177
154. Кузнецов А.И. Моделирование оползневых процессов по данным геодезических наблюдений на территории Коломенского парка города Москвы // Проблемы землеустройства и кадастра недвижимости в реализации государственной земельной политики и охраны окружающей среды. Материалы научно-практической конференции (ГУЗ, 27 мая 2009 г.). — ГУЗ. — М., 2009. — с.160-167
155. Луповка В.А., Брагин А.А. Определение точного астрономического азимута по способу Ф.Н. Красовского // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка — 2010 - №2 — С. 42-50
156. Mazurova E.M., Ogienko S.A. (2010) The processing of geodetic data of the program ArcGis. In collected scientific reports of the international conference "175 years of the higher geodetic education", Moscow, pp.78-79.
157. Непоклонов В.Б. Требования прикладных задач к геодезическим и гравиметрическим данным / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 377-379
158. Неумывакин Ю.К., Никифоров М.В., Ретюнских А.С. Технологические аспекты лазерного сканирования // Землеустройство и кадастр недвижимости в реализации государственной земельной политики и охраны окружающей среды. Сборник научных статей международной научно-практической конференции, посвященной 230-летию Государственного университета по землеустройству. — М.: ГУЗ, 2009. — с.389-393.
159. Никитчин А.А. О совершенствовании методики анализа и интерпретации спутниковых геодезических измерений в системах мониторинга вантовых мостов // Геодезия и картография. — 2009. — №4. — С. 34–36.
160. Прилепин М.Т., Андреев В.Ю., Григорьевский В.И., Садовников В.П. Погрешности измерения расстояний лазерными спутниковыми дальномерами, обусловленные рефракционными свойствами атмосферы при наличии фазовой неоднородности в пучке лазера. // Радиотехника и Электроника, 2009, т. 54, п.1.
161. М.Т.Прилепин, В.И.Григорьевский, В.П.Садовников. Применение субпикосекундных лазеров для измерения больших расстояний в атмосфере между геодезическими пунктами. // Приборы и Системы. Управление, Контроль, Диагностика. 2008, №12.
162. Сергеев О.П., Малковский О.Н., Никитчин А.А. и др. Геодезические работы при строительстве Большого Обуховского моста в Санкт-Петербурге // Транспортное строительство. — 2008. — №7. — С. 48–52.
163. Симонян В.В., Кузнецов А.И. Определение кренов стен Борисоглебского монастыря - памятника древнерусской архитектуры // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. — М., 2010 - №19. — с.97-100
164. Васин М.Г., Попков Д.И. О задачах бортовой гравитационной градиентометрии / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 479-489
165. Бровар Б.В. Астрономо-гравиметрическое нивелирование / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 305-309
166. Бровар Б.В. Гравидериватный метод определения геодезических данных / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 359-361
167. Бровар Б.В., Юркина М.И. Приложение. Вклад ученых в теорию и практику и эволюция содержания главных задач геодезии и гравиметрии / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 502
168. Бровар В.В., Юркина М.И. Методологические аспекты изучения поля земной силы тяжести / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 21-34
169. Бровар Б.В., Юркина М.И. Связь геодезии и гравиметрии с другими науками / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 34-40
170. Бровар Б.В., Changes of content of tasks of geodesy and gravimetry. Юркина М.И. Изменения содержания задач геодезии и гравиметрии / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 40-45
171. Герасименко М.Д. К вопросу о выявлении грубых ошибок измерений // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, № 6, 2010, с. 3-6.
172. Герасименко М.Д., Коломиец А.Г. Исследование математических проблем при построении и обработке космических геодезических сетей для целей геодинамики // Дальневосточный математический журнал, т. 8, № 1, 2008, с. 31-45.
173. Герасименко М.Д., Шестаков Н.В. К вопросу о мнимых и действительных "неприятностях" обработки зависимых измерений // Геодезия и картография, №1, 2008, с. 13-14.
174. Гравиметрия и геодезия. М.: Научный мир, 2010.- 572 с.
175. Демьянов Г.В., Майоров А.Н. Об установлении единой общеземной системы нормальных высот / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 312-316
176. Крылов В.И. Применение метода Энке при интегрировании регуляризованных уравнений движения небесных тел // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка, 2008, №5. С. 46-47

177. Крылов В.И. Использование первых интегралов для регуляризации уравнений движения небесных тел // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, 2008, №4. С. 38-40
178. Nadenik Z. (2010) *Spherical functions in a geodesy*, edited by Mazurova E.M. 2010, M: MIIAiK, 156 pp.
179. Нейман Ю.М. К вопросу о математической обработке разнородных измерений // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, №2, 2008, с.7 - 22.
180. Нейман Ю.М., Бышнев В.А. Вариационный метод физической геодезии и коллокация / *Гравиметрия и геодезия*. - М.: Научный мир, 2010. - с.120-174
181. Нейман Ю.М., Фам Хоанг Лан. Локальный квазигеоид изолированной территории // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, №5, 2010, с.31-36.
182. Нейман Ю.М., Крылов В.И., Яшкин С.Н. Уравнения поправок в системе "спутник - спутник" миссии "GOCE" // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, №5, 2008, с.52-54.
183. Нейман Ю.М., Хозяичиков А.А. О современных форматах хранения и передачи данных в космической геодезии (на примере проекта GOCE) // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, № 6, 2010.
184. Нейман Ю.М., Сугаипова Л.С. Замечания об определении гравитационного поля Земли кинематическими методами // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, № 1, 2011 (in press).
185. Шестаков Н.В., Герасименко М.Д. К вопросу об оптимальном проектировании деформационных геодезических GPS сетей // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, № 5, 2009, с. 11-16.
186. Шестаков Н.В., Герасименко М.Д. *Оптимальное проектирование деформационных GNSS сетей / - Владивосток: Дальнаука. 2009. 134 с. Монография.*
187. Шестаков Н.В., Герасименко М.Д., Касахара М. Проектирование наиболее информативных измерений в геодинимических GPS/ГЛОНАСС сетях // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, № 1, 2008, с. 18-27.
188. Сугаипова Л.С. О ковариации между точечными и усредненными значениями вторых производных геопотенциала // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*, №5, 2010, с.36-44.
189. Толчельникова С.А. Особенности изучения движений в координатных системах, построенных по наблюдениям бесконечно далеких светил // *Геодезия и картография*, 2008, №6, с.10-17
190. Толчельникова С.А. О взаимодействии астрометрии и геодезии в области изучения вращения Земли (взгляд астронома) // *Геодезия и картография*, 2009, №8, с.21-29
191. Толчельникова С.А. Земная сферическая система координат, определение движений среднего полюса и земных пунктов / *Гравиметрия и геодезия*. — М.: Научный мир, 2010. — с. 45-54
192. Толчельникова С.А. Вращение земной оси относительно Солнца и относительно звезд // *Геодезия и картография*, 2010, №9, с.17-26
193. Юркина М.И. Теоретические основы обработки нивелирования в гравитационном поле Земли / *Гравиметрия и геодезия*. — М.: Научный мир, 2010. — с. 302-305
194. Толчельникова С.А., Юркина М.Ю. К 300-летию со дня рождения Л.Эйлера // *Геодезия и картография*, 2007 №12, с.52-55.
195. Юркина М.И. Изменения земного гравитационного поля и определение вертикальных движений земной коры / *Гравиметрия и геодезия*. — М.: Научный мир, 2010. — с. 459
- Юркина М.И., Толчельникова С.А., Леонард Эйлер и изучение вращения Земли / В сборнике: Леонард Эйлер к 300летию со дня рождения. 2009 г. СПб, «Нестор-История», с.201-211.

ЗАДАЧИ УСТАНОВЛЕНИЯ ЕДИНОЙ СИСТЕМЫ ВЫСОТ

THE JOINT HEIGHT SYSTEM ESTABLISHMENT TASKS



Демьянов Г.В. / Demianov G.V.

доктор технических наук, заведующий геодезическим отделом Центрального научно-исследовательского института геодезии, аэросъемки и картографии / Doctor of Technical Sciences, Head of the Geodetic Department, Central research Institute of Geodesy, Aerial Survey and Cartography

e-mail: gleb@geod.ru



Майоров А.Н. / Mayorov A.N.

кандидат технических наук, Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии / Candidate of Technical Sciences, Head of the Geodetic Department, Central research Institute of Geodesy, Aerial Survey and Cartography

e-mail: gleb@geod.ru



Сермягин Р.А. / Sermiagin R.A.

Заведующий лабораторией геодезической гравиметрии, Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэросъемки и картографии / Candidate of Technical Sciences, Head of the Geodetic Department, Central research Institute of Geodesy, Aerial Survey and Cartography

e-mail: gleb@geod.ru

Аннотация. В работе рассмотрены актуальные вопросы изучения гравитационного поля Земли с целью создания единой глобальной системы высот. Приведены некоторые результаты исследований, полученных с использованием современных моделей геопотенциала. Предложены направления сотрудничества национальных и международных организаций на пути совместного изучения расхождений существующих систем высот.

Ключевые слова: Геодезия, геопотенциал, системы высот, гравитационное поле Земли.

Abstract. The actual questions of study Earth's gravitational field to create a single global system of heights. Some results of research derived from current models of the geopotential. Proposed areas of cooperation between national and international organizations towards a joint study of the discrepancies existing heights.

Keywords: Geodesy, geopotential, the system of heights, the gravitational field of the Earth.

Following to the tendency of globalization and simplifying practical application of Molodenskiy theory we have to accept joint origin of height reference and set $U_0=W_0$ picking out one more geoid – common earth equipotential surface which potential W_0 equals to potential

U_0 of normal gravity on the reference ellipsoid [Demianov, Mayorov, Yurkina, 2009, Demianov, Mayorov, 2010].

Common Earth ellipsoid represents the earth as an average value on the oceans in particular. Common earth ellipsoid taken as a nor-

mal one satisfies the condition $\int_{\sigma} \zeta d\sigma = 0$ for the whole earth.

Hence, meaning $U_0=W_0$ represents potential close to its mean value W_0 on the oceans the same way. Thus the solution $U_0=W_0$ will be an optimal approach to the geoid of *Gauss-Listing* in average for the whole earth.

The surface of common earth ellipsoid is the reference one along with determination of ellipsoid (geodetic) heights.

In that very case the use of normal heights H^γ and heights of quazigeoid ζ allows to agree in strong and definitely way the leveling data with the results of determination of ellipsoid (geodetic) heights H^G using satellite data.

Here we could not exclude possibility to use geopotential numbers. Just because we have strong coexistence between these values of normal height and geopotential:

$$W_i = \gamma_m H_i^\gamma$$

Due to the theory of M.S.Molodensky the sum of normal height and height of quazigeoid theoretically equals to geodetic height of the point of physical surface of the earth above common earth ellipsoid taken as a normal one.

$$H = H^\gamma + \zeta,$$

where H is a geodetic height; H^γ – normal height; ζ – height of quazigeoid.

This condition is not true, stipulated by errors of measurements and differences of regional reference systems of normal heights.

The value of the correction to j-rang regional height system to come to common earth height system will be determined over whole sample of N – geodetic points for all those we know as follows

$$\Delta H_i^\gamma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} [H_i^G - (H_i^\gamma + \zeta_i)]$$

Thus, fixed and marked initial point where the normal height equals to zero is not exists. Normal height is zero in that very point on the earth surface where true potential W_i equals to normal one U_0 on the surface of the common ellipsoid. In this very point the surfaces of geoid and quazigeoid supposed to be coincided: $W_i=W_0=U_0$. In principal, position of the point could not be known.

In these conditions, the problem to create new modern planetary gravitation models becomes very important. In 2008 TsNIIGAiK construct new global gravitational model GAO 2008 using given projects (GRACE and CHAMP) to solve the problem of creation of gravimetric geoid.

Using models GAO 2008 and EGM 2008 we valued possibilities to determine corrections to regional systems of normal heights according to suggested technology. The results of such valuation are shown in table 1. All scope of using data was divided at three groups on territorial location. First group includes the data for the territory of the USA, second – for the territory of West Europe. For the territory of Russia we used data of its European part. All calculations for the both models were done due to total range of coefficients up to 360- range.

Corrections to the regional height systems.

Region	Mean difference $H_{\text{mean}}(\text{m})$		Number of points
	GAO2008	EGM2008	
USA	+0.55	+0.53	6169
West Europe	+0.07	+0.09	87
European Russia	-0.09	-0.14	320

The principal to divide the data for groups first of all is connected with those idea that each group is using its own system of leveling heights. For the territory of the USA – NAVD-88, for the territory of West Europe – Amsterdam system, for Russia – Baltic (Kronshtadt) system.

Thus, ΔH_{mean} values for different groups characterize difference between height systems for the territories of the USA, Europe and Russia from common earth one established according to the above mentioned principles. The data about the difference between leveling data of Amsterdam and Baltic system proves the actual situation of the obtained results. Due to leveling data and GAO2008 model data this difference is equal to 16cm.

Because of preliminary evaluation of model EGM-2008 along with creation of the model we could assume that Bouguer anomalies were used as an initial data for the territory of Russia but not anomalies on the free air. Calculated differences ΔH_{mean} are having systematic differences correlated over amount and sign with the Bouguer correction.

We have all base to think that the use of data of European space complex GOCE will bring to substantial identification of parameters of global navigation models and consequently will increase accuracy of construction of common European system of normal heights.

It is not possible to solve the problems both of creation of precise quasigeoid (and creation of global models as well) and determination of joint system of heights independently. It is not difficult to calculate, if we have systematic error about 0,1mgl in the anomalies of gravity for the territory of about 1000km in radius this will bring to the error of 10cm in determination of height of quasigeoid. In its turn, if a system of heights for the territory differs at 30cm from the common earth $W_0=U_0$ (and this is quite real case), this is a reason of a systematic error of gravity anomaly at 0,1mGl. That's why both tasks must be solved together.

Globalization of modern geodesy gives the tusk to create international integration on

solving fundamental problems. Exactly wide international integration had provided creation of reference geodetic network spread well enough over all territory of the globe as well as precise realization of common earth geocentric coordinate system. It is only possible to solve the problem of creation of joint common earth system of heights on the modern level of accuracy in condition of wide international cooperation. In this condition we have to expect sufficient compensation of the influence of errors of gravimetric quasigeoid helpfully to the condition

$$\int_{\sigma} \zeta d\sigma = 0.$$

The first order and required elements of such cooperation should be the tasks as follow:

- leveling connection of State (national) leveling nets of European states;
- creation of joint massive of data of mean anomalies over trapeziums of 5x5 for the North hemisphere;
- build precise quasigeoid of Europe and Asia continent;
- construction of precise planetary models of gravitational field of earth using modern space missions GRACE, CHAMP and GOCE.

The result of such cooperation will be creation of joint common system of normal heights.

References

1. Demianov G.V., Mayorov A.N., Yurkina M.I. (2009) *The construction of the general Earth system of normal heights. Mission and Passion: Science. A volume dedicated to Milan Burša on the occasion of his 80th birthday. Edited by P. Holota. p.65-76*
2. Demianov G.V., Mayorov A.N. (2010) *On creation of the common Earth's height system. Демьянов Г.В., Майоров А.Н. Об установлении единой общеземной системы нормальных высот / Гравиметрия и геодезия. — М.: Научный мир, 2010. — с. 312-316*

О МЕСТЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В ПРОБЛЕМЕ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

ON THE PLACE OF THE GEODESIC MONITORING IN THE PROBLEM OF EARTHQUAKE PREDICTION



Певнев А.К. / Pevnev A.K.

Доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института физики Земли Российской академии наук / Doctor of technical sciences, professor, chief researcher at the Institute of Earth Physics, Russian Academy of Sciences

e-mail: an.pevnev@yandex.ru

Аннотация. Обоснована несостоятельность стратегии решения проблемы прогноза землетрясений методами обратных задач. Показана возможность осуществления точных прогнозов места и максимальной силы очагов готовящихся землетрясений методами прямых задач. Реализация этих прогнозов доступна геодезическому методу. Этот метод пригоден также для обнаружения возможных мест подготовки коровых землетрясений и для прогноза времени в местах недоступных для проведения геодезических измерений непосредственно в очаговых зонах (глубокофокусная сейсмичность).

Ключевые слова: прогноз землетрясений, прямые и обратные задачи, упругий изгиб, напряжение, сейсмогенная деформация, афтершок.

Abstract. The inconsistency of strategy of a solution of a problem of the forecast of earthquakes is proved by methods of return problems. Possibility of realization of exact forecasts of a place and the maximum force of the centers of preparing earthquakes is shown by methods of direct problems. Realization of these forecasts is accessible to a geodetic method. This method is also suitable for the detection of possible places of crustal earthquakes and for the prediction of time in places inaccessible to the geodetic measurements directly in the focal areas (oceanic seismicity). The inconsistency of strategy of a solution of a problem of earthquakes is proved by methods of return problems and possibility of its decision is shown by methods of direct problems.

Keywords: forecast of earthquakes, direct and return problems, elastic bend, pressure, seismogene deformation, aftershok.

Введение

Современная методология решения проблемы прогноза землетрясений основана на ее решении лишь с использованием методов обратных задач (распознавания образа). Таким образом, уже долгие десятилетия проблему прогноза землетрясений пытаются решить методами не прямых, а обратных задач используя для этого разрозненные ано-

малии в различных геофизических и других полях.

Есть все основания считать, что выбор «стратегии аномалий» был безальтернативным, так как в 20-м веке многие исследователи твердо верили в то, что процессы подготовки очагов коровых землетрясений не затрагивают земную поверхность. В подтверждение сказанному приведем соображения председателя Международной комиссии МАСФНЗ по поискам предвестников земле-

трясений известного сейсмолога, чл.-корр. АН СССР Е.Ф. Саваренского, высказанные им в начале 70-ых годов прошлого века:

«Проблема создания надёжных методов предсказания землетрясений ещё не решена и исключительно трудна вследствие невозможности непосредственного изучения внутриземных процессов, порождающих землетрясения. Эти процессы протекают медленно и маскируются многими быстрыми явлениями» [14, с.7].

Также следует сослаться на соображения на эту тему двух известных советских сейсмологов Н.В.Шебалина и А.В.Друмя:

“Теперь нам известно, что искать будущие землетрясения нужно там, где в недрах литосферы копится энергия деформации сдвига и где есть подходящие разломы для её выделения... Но как узнать, где напряжения могут копиться, а где они тихо и незаметно рассасываются в результате спокойных, тихих процессов ползучести?... Итак, первая неудача: нет простого способа узнать, где в литосфере копится упругая энергия перекося. Нет общих явных признаков таких мест” [5, с.132-133].

Таким образом, даже во второй половине прошлого века сейсмологи были уверены в отсутствии прямых методов изучения деформационных процессов, происходящих в готовящихся очагах коровых землетрясений. А так как первую скрипку в проблеме прогноза сейсмологи оставляют за собой, то до тех пор пока они не избавятся от своих заблуждений проблема прогноза землетрясений будет пребывать в состоянии кризиса.

Здесь также следует отметить следующее, не очень приятное для геодезистов, обстоятельство, а именно: в первой четверти прошлого века американские геодезисты занимались экспериментальной проверкой «Теории упругой отдачи» Рейда, в которой доказывалось что, подготовка очага землетрясения отражается и на земной поверхности. В результате эксперимента были обнаружены аномальные смещения некоторых триангуляционных пунктов, которые превосходили допустимые ошибки измерений и на этом основании их, вопреки здравому, смыслу отнесли к разряду грубых ошибок, т.е. возобладал формальный подход к оценке

точности измерений. По этой причине удачный эксперимент был опровергнут, что равносильно выражению «с водой выплеснули и ребенка» [11].

Таким образом, и геодезисты причастны к тому, что проблему уже в течение многих десятилетий пытаются решать методами обратных задач.

Результаты интенсивных международных исследований убедительно показали, что методом обратных задач проблему решить невозможно. Как известно, обратные задачи подразделяются на два класса – корректные (корректно поставленные) и некорректные (некорректно поставленные). Корректные задачи имеют положительное решение при любом наборе исходных, используемых для распознавания образа, данных в то время как некорректные задачи этим свойством не обладают. Так как использование обратных задач для решения рассматриваемой проблемы положительных результатов не дало, то из этого следует однозначный вывод – эти задачи являются некорректно поставленными. Очевидная причина некорректности кроется в системе выбора необходимых данных - для этого нет надежных фильтров, с помощью которых можно было бы избавляться от фоновых помех, т.е. из «шума» выделять только лишь полезный сигнал.

О фоновых помехах можно сказать следующее: согласно принципу суперпозиции, аномалии, наблюдаемые в различных геофизических полях, являются суммарной величиной, вклад в которую вносит широкий спектр различных процессов – в первую очередь деформационных. В этот список можно включить сейсмические процессы: подготовка очагов землетрясений, а также различные фоновые процессы – локальные, региональные и глобальные. Можно полагать, что среди глобальных процессов определяющими являются деформационные процессы, порождаемые неравномерным вращением Земли. В настоящее время нет возможности определить влияние на аномалию каждого из этих процессов, но, и самое главное, из фиксируемых аномалий достоверно выделить только те, которые порождаются тем или иным готовящимся очагом землетрясения. Совершенно очевидно, что отсутствие таких

фильтров делает обратные задачи абсолютно некорректными.

Эта неудача поставила на повестку дня необходимость проверки возможности или невозможности использования методов прямых задач для решения проблемы прогноза землетрясений. Для начала нужно было определить в каком методе заложены принципиальные возможности для выделения достоверных признаков готовящегося очага землетрясения. Таковым методом является деформационный и вот почему. Так как подготовка и разрушение очагов землетрясений в первую очередь являются процессами механическими – накопление и сброс упругих деформаций (упругих напряжений), то именно на поиске деформационных предвестников и следовало сосредоточить внимание. Предварительно нужно было решить две задачи:

1. Определить вид деформационного предвестника подготовки очага землетрясения, т.е. знать закон, по которому в очаге накапливаются упругие сейсмогенные деформации.

2. Найти доказательства того, что процесс подготовки очага землетрясения захватывает и земную поверхность т.е. доказать возможность решения проблемы прогноза методами прямых задач.

Решить эти вопросы удалось с помощью имеющихся экспериментальных геодезических данных и некоторых теоретических соображений. Что касается экспериментальных данных то ими являются результаты повторных геодезических измерений, выполненных в эпицентральных зонах произошедших сильных землетрясений. Эти данные представлены на рис.1

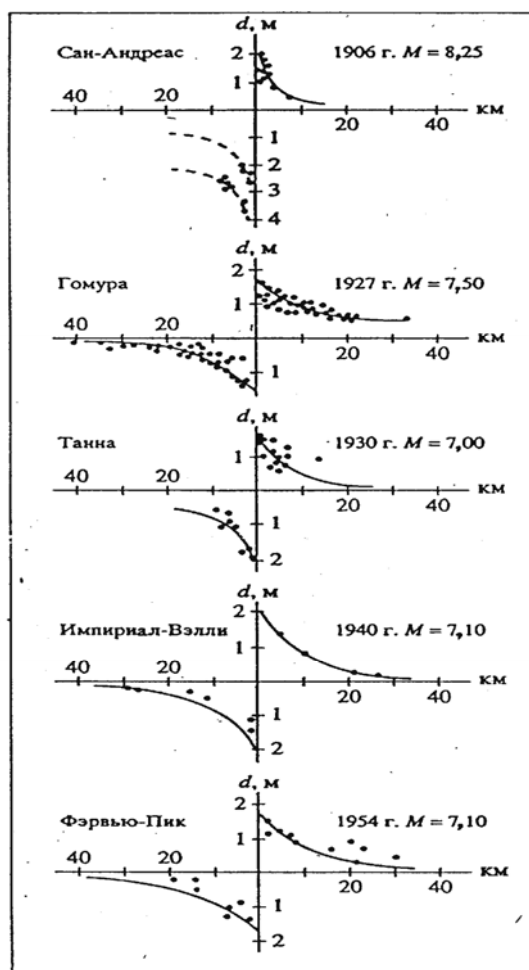


Рис.1. Реальное распределение смещений пунктов триангуляции (d) в зонах сейсмогенных разломов при сильных коровых землетрясениях в зависимости от удаления геодезических пунктов от разломов [7].

На этом рисунке вертикальные линии – сейсмогенные разломы, по которым произошли горизонтальные подвижки при землетрясениях. Зафиксированные смещения пунктов триангуляции показаны точками; масштаб смещений показан на вертикальной оси. На горизонтальной оси отложены расстояния этих пунктов от разлома. Приведенные данные убедительно говорят о том, что смещения пунктов, выявленные после землетрясений подчиняются вполне определенной закономерности – для всех пяти землетрясений смещения максимальны вблизи разлома и очень быстро (экспоненциально) убывают с удалением от него. Ниже следует теоретическое обоснование экспоненциального распределения смещений, показанных на рис.1.

В свете современных представлений наиболее вероятной причиной формирования очагов коровых землетрясений (накопления сейсмогенных деформаций в локальных объемах горных пород) является изменение скорости тектонических движений в том или ином конкретном участке сейсмогенного разлома.

Предполагается, что указанные изменения скоростей смещений в разломах могут происходить из-за различных физико-химических и механических процессов [12]. Вот как это описано выдающимся советским геофизиком академиком Г.А.Гамбурцевым: «Наряду с процессом разрушения – уменьшения прочности отдельных участков сейсмических швов может идти обратный процесс «залечивания» разрушенных мест, образования новых «спаек» между соседними блоками. Таким образом, происходит закономерная смена взаимосвязанных процессов медленных и быстрых движений, накопления и разрушения напряжений, увеличения и уменьшения прочности» [4, с.306].

Полное или частичное прекращение смещений в какой-либо части сейсмогенного разлома – образование «спайки» – равнозначно рождению концентратора напряжений и поэтому приведет к возникновению в этом месте локального поля упругих напряжений. Для определения вида и размеров этого поля можно воспользоваться широко применяемым в решении задач теории упругости принципом локальности эффекта са-

моуравновешенных внешних нагрузок – принципом Сен-Венана. Для нашего случая наиболее подходящей является следующая формулировка этого принципа: "Если в какой-либо малой части тела приложена уравновешенная система сил, то она вызывает в теле напряжения, очень быстро убывающие по мере удаления от этой части (экспоненциальный характер затухания напряжений" [2, с.6].

Для обнаружения очагов готовящихся землетрясений принцип Сен-Венана вполне применим в силу несопоставимости размеров сейсмогенных разломов (тысячи километров) и размеров очагов землетрясений (километры, десятки и только для самых сильных катастрофических землетрясений с магнитудой более восьми первые сотни километров). **Поэтому из-за появления концентратора напряжений (спайки) возникшее местное поле упругих напряжений будет закономерно, экспоненциально изменяющимся полем, обеспечивающим упругую изгибную деформацию (упругий изгиб) горных пород в готовящемся очаге землетрясения.** Максимальное упругое смещение будут иметь горные породы, примыкающие к остановившемуся участку разлома, а по мере удаления в обе стороны от этого участка упругие смещения горных пород будут быстро и закономерно убывать, что и демонстрируется рис.2, на котором, в силу вышеизложенного, в качестве источника сейсмогенных напряжений взята как физически (теоретически) обоснованная, деформация упругого изгиба.

На рис.2А показан один и то же участок сейсмогенного разлома (вертикальная линия) в три момента: t_0 , t_1 и t_2 , соответствующих различным напряженным состояниям горных пород. Направление тектонических смещений на разломе показаны стрелками. Момент t_0 – в горных породах отсутствуют сейсмогенные напряжения, что показано прямой ab . Момент t_1 – горные породы предельно упруго напряжены (упругий изгиб): кривая ab . Момент t_2 – положение горных пород после землетрясения; сейсмогенные деформации (напряжения) сняты, горные породы распрямлись в два прямолинейных отрезка.

Рис.2Б отличается от рис.2А лишь тем, что в момент t_1 , когда горные породы уже были упруго деформированы, добавлена прямая cd , представ-

ляющая собой прямолинейное геодезическое построение (геодезический профиль).

С рассматриваемых нами позиций наибольший интерес представляет положение и форма нарисованной нами прямой cd (геодезический профиль) в момент t_2 . Как видно из рисунка они совершенно соответствуют экспериментальным кривым рис.1, что однозначно подтверждает наши соображения об участии земной поверхности в процессе формирования очагов землетрясений

и, следовательно, о возможности отслеживать на земной поверхности процесс накопления сейсмогенных деформаций в готовящемся очаге сильного корового землетрясения решением прямой задачи.

Таким образом, мы получили теоретическое обоснование вида деформационного предвестника землетрясения - это упругий изгиб горных пород в очаге готовящегося землетрясения.

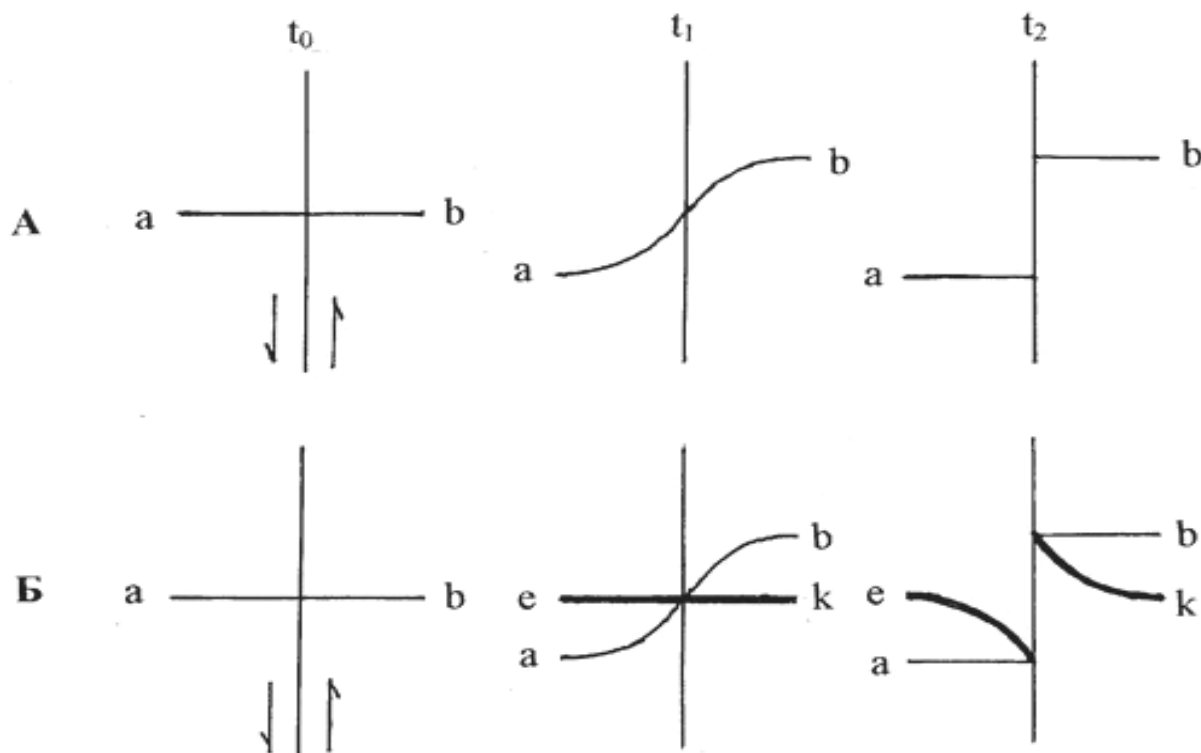


Рис.2. Объяснение явления экспоненциального распределения смещений геодезических пунктов в эпицентральных зонах сильных коровых землетрясений.

Из анализа рис.1 следует, что во всех приведенных на этом рисунке случаях исходные триангуляционные измерения были выполнены над уже готовящимися очагами землетрясений, т.е. в них уже были накоплены сейсмогенные напряжения. Если бы это было не так, то первоначально прямолинейный геодезический профиль при землетрясении был бы лишь разорван на линии разлома, но не испытал никаких искривлений, а представлял бы собой два прямолинейных отрезка, аналогичных поведению горных пород в момент t_2 . Это говорит о том, что сильные землетрясения готовятся долго – десятки и более лет.

Таким образом, имеющиеся данные повторных геодезических измерений в эпицентральных

зонах сильных коровых землетрясений убедительно свидетельствуют в пользу того, что процесс подготовки очага корового землетрясения затрагивает и земную поверхность. В этом нет ничего удивительного, так как она является верхней границей сейсмогенного слоя - самого верхнего слоя земной коры мощностью 10-25 км, а также то, что мощность (толщина) сейсмогенного слоя или равна или меньше размеров очагов сильных землетрясений и, следовательно, очаг занимает всю толщину сейсмогенного слоя – от земной поверхности (верхней границы очага) и до его нижней границы. Эти соображения находят полное подтверждение в сейсмологических экспериментальных данных, представленных на рис 3.

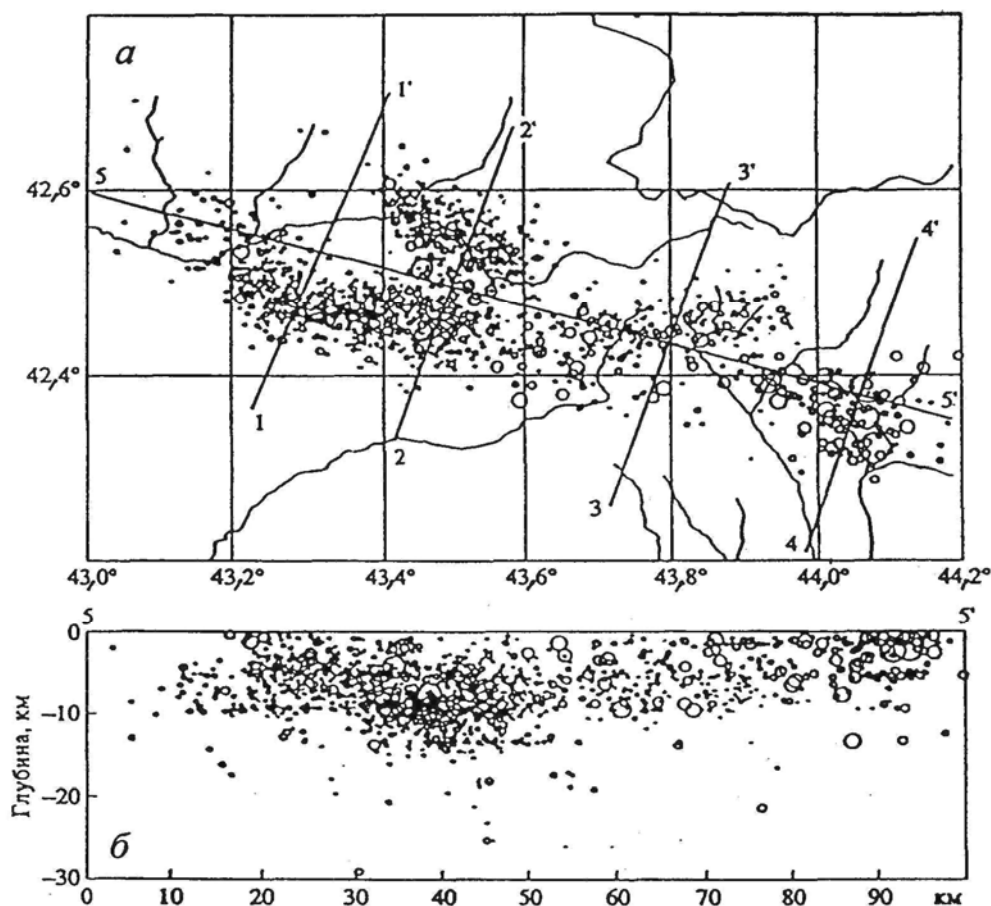


Рис.3. Карта эпицентров Рачинского землетрясения (а) и вертикальный разрез по линии 5-5' (б). по: [1]. На секущую плоскость спроецированы все сейсмические события за афтершоковый период. Глубина основного толчка 10 км, длина очага около 100 км, магнитуда 7.3.

На нижней части этого рисунка (б) показаны все афтершоки Рачинского землетрясения 1991. Афтершоки – это сопровождающие основной толчек слабые землетрясения, которые снимают оставшиеся в очаге, после основного толчка, упругие напряжения. Афтершоковые периоды (время полной разрядки «сработавшего» очага землетрясения) могут продолжаться месяцы и даже годы.

Как видно из рисунка поле афтершоков начинается непосредственно от земной поверхности и остается однородным примерно до глубины 15 км. Это дает нам право сделать физически обоснованный вывод о том, что если упругие деформации, оставшиеся в очаге после основного толчка, снимались афтершрками у самой земной поверхности, то совершенно очевидно, что в процессе подготовки землетрясения они и накапливались от этой самой поверхности.

Эти экспериментальные данные являются наглядным и убедительным подтверждением того, что процесс накопления сейсмогенных деформаций распространяется и на земную поверхность

и что мощность эффективной части сейсмогенного слоя в исследуемом районе около 15 км. Наличие сейсмогенного слоя Земли подтверждается и реологическими исследованиям. Согласно данным английского геофизика М.Ботта переход от упругого состояния горных пород к пластическому совершается на глубине 10-25 км, т.е. породы расположенные ниже этих глубин в силу их пластичности не могут накапливать упругие сейсмогенные деформации [3]. Такая закономерность изменения упругих характеристик горных пород с глубиной подтверждается и изменением механической добротности пород с глубиной, которая является максимальной от земной поверхности до глубины 19 км [6].

Таким образом, наличие сейсмогенного слоя в земной коре подтверждается различными данными. Как уже отмечалось выше, для рассматриваемой нами проблемы это очень важно, так как неглубокое расположение очагов землетрясений гарантирует участие земной поверхности в их подготовке.

Итак, выполненными исследованиями было установлено, что искомым признаком подготовки очага землетрясения является накапливаемый во времени по экспоненциальному закону и, следовательно, закономерный упругий изгиб горных пород в этом очаге [9]. Причины зарождения, созревания и разрушения очагов коровых землетрясений в тех или иных участках разломов обуславливаются или полным прекращением или существенным уменьшением тектонических смещений на этих участках. Выше указывалось, что академик Гамбурцев такие участки назвал "спайками"; чем длиннее такая "спайка", тем больше сейсмической энергии она способна накопить [4].

Что касается закона распределения упругих смещений горных пород в очаге землетрясения, то оно определяется следующим уравнением

$$d = D \cdot e^{\alpha x} \quad (1)$$

где d - величина упругого смещения рассматриваемой точки земной поверхности; x - удаление

этой точки от разлома; D - максимальное упругое смещение на разломе ($x=0$); α - параметр, характеризующий упругие свойства горных пород в очаге [8].

Выше было показано, что при подготовке сильных коровых землетрясений регулярное изгибание испытывает и земная поверхность над очагом, являющаяся его верхней границей. Именно участие земной поверхности в процессе подготовки очага и открывает реальные возможности для обнаружения и отслеживания искомого признака. **Отслеживать процесс накопления сейсмогенных деформаций в очаге можно лишь с помощью геодезического метода, так как только этим методом можно определять деформации земной поверхности на базах в десятки километров [10].**

На рис.4 показана принципиальная схема обнаружения очага готовящегося землетрясения.

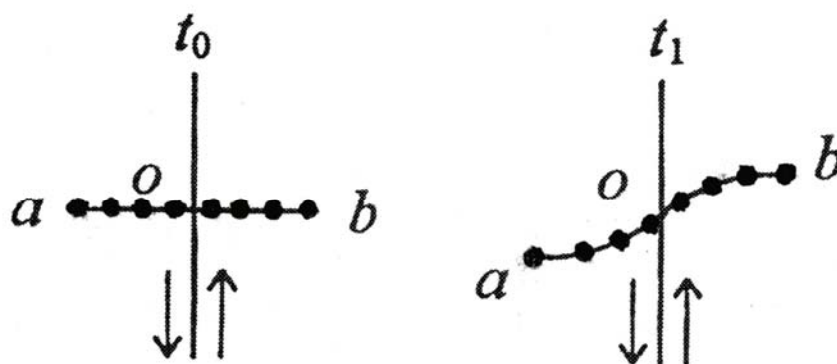


Рис.4. Схема реализации прогноза места очага готовящегося землетрясения.

На этом рисунке: вертикальные линии – сейсмогенный разлом, смещения по которому показаны стрелками; t_0 - момент создания прямолинейного геодезического прогнозного профиля aob , черные точки на профиле – геодезические пункты. t_1 – момент повторных измерений на профиле. Если прямолинейный профиль был создан над уже готовящимся очагом землетрясения, или подготовка очага началась в промежутке между t_0 и t_1 , то в момент t_1 пункты геодезического профиля будут располагаться на экспоненциальной кривой aob , являющейся единственным достоверным признаком процесса накопления упругих сейсмогенных деформаций в исследуемом участке сейсмогенного разлома.

Именно такое использование геодезического метода откроет путь к прогнозу места очага готовящегося землетрясения.

Геодезическим методом можно осуществлять не только прогноз места, но и прогноз силы готовящегося землетрясения. Это возможно потому, что сила землетрясения функционально связана с размерами очага, что показано в приведенной таблице, составленной известным советским сейсмологом Ю.В. Ризниченко [12]. Следует отметить, что в сейсмологии смещения бортов разлома при землетрясении называют «подвижкой в очаге» и, следовательно, величина D (в таблице) численно равна сумме максимальных упругих сейсмогенных деформаций накопленных в очаге до землетрясения.

**Зависимость силы землетрясения
(магнитуды M) от длины очага (L)
и подвижки в очаге (D)**

M	$L, \text{ км}$	$D, \text{ см}$
3	1,1	0,11
4	3,0	0,62
5	8,3	3,5
6	23	20
7	62	120
8	170	660
9	470	3800

Из таблицы однозначно следует, что с увеличением длины очага L растет и сила землетрясения (магнитуда M). Соотношение этих величин таково – при возрастании маг-

нитуды на одну единицу длина очага увеличивается примерно в три раза.

Принципиальная схема осуществления прогноза силы землетрясения показана на рис.5: линии (1-1,...8-8) – геодезические профили, которые в момент зарождения очага (t_0) представляли собой сплошные прямые линии, в процессе подготовки очага были либо разорваны и смещены по разлому (1-1 и 8-8), либо деформированы и смещены (2-2 и 7-7), либо упруго деформированы над очагом (3-3, ...6-6); I - зона сжатия; II - зона растяжения; L – линия прекращения смещений по разлому т.е. искомая длина очага готовящегося землетрясения («спайка»); X – ширина очага землетрясения.

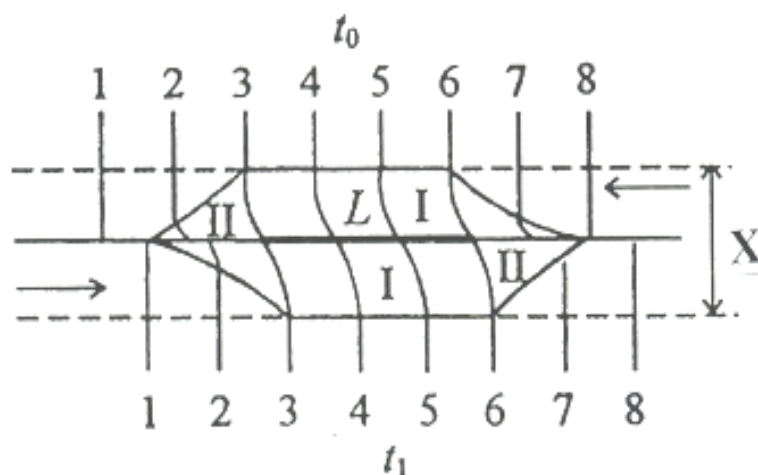


Рис.5. Модель упругого деформирования земной поверхности над очагом готовящегося землетрясения (в момент t_1).

На этом рисунке показана модель смещений и деформаций прямолинейных геодезических прогнозных профилей в момент t_1 , созданных в момент t_0 над очагом готовящегося землетрясения. Согласно этому рисунку длину очага L можно определить по виду деформируемых профилей; она соответствует расстоянию между полностью упруго деформируемыми частями профилей, оказавшихся в зоне действия очага. В нашем случае это профили 3-6. В концевых зонах очага профили испытывают и упругие деформации и смещения (профили 2 и 7). За пределами очага профили испытывают лишь тектонические смещения (профили 1 и 8). Что касается профилей 2 и 7, то их учет в длине очага следует оценивать по величине измеренного упругого компонента.

Следовательно, если с помощью геодезического мониторинга определить длину готовящегося очага землетрясения, то данные таблицы по-

зволят установить какой магнитуде (M) соответствует измеренная длина очага (L) и таким образом определить, какой максимальной силы землетрясение он может породить.

Итак, приведенная схема геодезического мониторинга позволяет осуществлять два прогноза – точный прогноз места готовящегося очага землетрясения и прогноз максимальной силы, которую способен породить исследуемый очаг.

О прогнозе времени землетрясения

Что касается прогноза времени землетрясения, то в отличие от прогнозов места и силы, которые можно осуществлять по установленным закономерностям, главным препятствием на пути его осуществления является незнание реальных закономерностей процессов разрушения очагов. А так как в на-

стоящее время среди методов прогноза нет ни одного, способного достоверно определить эти закономерности, то единственно правильным решением поиска таких закономерностей является широкое комплексирование методов, т.е. создание специальных комплексных прогнозных систем. Из смысла решаемой задачи следует, что такие комплексные системы должны иметь разрешения, достаточные для отслеживания в различных полях тонкой структуры процесса разрушения горных пород в сейсмогенном слое земной коры.

В этой связи следует особо подчеркнуть значение заблаговременных осуществлений прогнозов места и силы готовящегося очага землетрясения для положительного решения прогноза времени его реализации. Только в этом случае открывается возможность проводить комплексные исследования не в случайно или недостаточно обоснованно выбранных местах, а непосредственно над реально существующим очагом готовящегося землетрясения, что позволит осуществлять регистрацию даже очень слабых и быстро затухающих с удалением от их источника аномалий, порождаемых этим очагом. В этом случае, еще даже и до установления законов разрушения очагов, можно рассчитывать на то, что коллективное поведение аномалий в различных полях явится достаточно объективным показателем приближающейся катастрофы и позволит своевременно принять необходимые меры безопасности.

Заблаговременное обнаружение готовящихся очагов землетрясений позволит создавать компактные комплексные системы наблюдений с разрешением достаточным для изучения тонкой структуры развития процессов разрушения в этих очагах, то есть для определения закономерностей протекания этих процессов. Таким видится прямой путь к прогнозу времени землетрясений.

Крайне важно и то, что заблаговременное обнаружение очагов готовящихся землетрясений позволит заранее принять меры, необходимые для уменьшения ущерба от землетрясения, а также приступить к разработке методов искусственной безопасной разрядки обнаруженных очагов. В настоящее время это технически возможно: закачка жидкости в очаг, серии небольших взрывов в пробурен-

ных скважинах, использование, установленных на земной поверхности, мощных вибраторов и др. С помощью этих мероприятий можно постепенно, малыми порциями уменьшать величину накопленных в очаге сейсмогенных деформаций, вплоть до его полной разрядки.

Таким образом, в настоящее время появились реальные возможности для разработки последовательной, научно-обоснованной стратегии точного, практически значимого прогноза землетрясений методом решения прямой задачи.

Помимо этой задачи геодезическому методу также доступно:

1. Определение возможных мест готовящихся очагов коровых землетрясений. Для этого нужно следить за скоростями смещений в сейсмогенных разломах. Участки разломов, в которых смещения отсутствуют, или они существенно меньше смещений на прилегающих участках разлома, являются достаточно убедительным доказательством того, что здесь имеет место подготовки очага землетрясения и поэтому здесь следует создать описанную выше геодезическую прогнозную систему.
2. Участие в комплексных исследованиях, нацеленных на прогноз времени глубоководных землетрясений. Эти исследования перспективны на стадии разрушения очагов, когда вследствие этого процесса возникают существенные аномалии в различных полях – учитывая физику процесса можно полагать, что в первую очередь в поле деформационном.

Заключение

Кризисное состояние проблемы прогноза землетрясений обусловлено объективными причинами – используемые для ее решения обратные задачи являются некорректными, не позволяющими осуществлять точный прогноз местоположения готовящегося очага землетрясения.

Можно полагать, что начало ошибочному выбору стратегии аномалий было положено неудачной попыткой американских геодезистов решать проблему прогноза землетрясений методом прямых задач [11, 13, 15], при-

ведшая к его дискредитации. Приоритет получили представления о том, что процессы подготовки очагов землетрясений не проявляются на земной поверхности.

Следует еще раз подчеркнуть, что для осуществления достоверных прогнозов места и силы землетрясения пригоден лишь один метод - геодезический, так как лишь этому методу доступно определение вида деформаций на базах в десятки километров. Никакому другому из существующих методов измерений деформаций это недоступно. Что касается сейсмологического метода, то он способен фиксировать лишь быстрые сейсмические смещения земной поверхности, а измерение медленно накапливаемых деформаций ему недоступно. Возможно в этом кроется причина недопонимания сейсмологами возможностей геодезического метода в проблеме прогноза землетрясений – они преувеличивают возможности сейсмологического метода в решении этой проблемы.

Возможно ли в настоящее время решение проблемы практически значимого прогноза землетрясений? Да, возможно. Для этого нужно использовать те возможности геодезического метода, благодаря которым возможно осуществление точного прогноза места готовящегося очага землетрясения и его максимально возможной силы методами решения прямых задач [10].

Получить ответы на все три главных вопроса – где, какой силы и когда, можно только при разумном сочетании в решении проблемы прогноза землетрясений методов прямых и обратных задач. После того как прямыми методами будет обнаружен готовящийся очаг землетрясения (прогноз места) и определены его размеры (прогноз силы) на нем нужно будет создавать систему комплексных очаговых наблюдений, рассчитанную в первую очередь на установление закономерностей проявления деформационных и других процессов на разных стадиях его разрушения. Это и позволит приблизить решение проблемы прогноза времени землетрясений.

Таким образом, ответить на все три главных вопроса проблемы прогноза землетрясений: где?, какой силы? и когда? можно лишь при разумном сочетании, при разумном использовании в решении проблемы методов

прямых и обратных задач, т.е. если в решении проблемы будут использоваться значительные возможности геодезического метода.

Список литературы

1. Арефьев С.С., Плетнев К.Г., Татевосян Р.Э., Делицын Л.Л. и др. Рачинское землетрясение 1991 г.: результаты полевых сейсмологических наблюдений // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1993. N3. С.12-23.
2. Безухов Н.И., Лужин О.В. Приложение методов теории упругости и пластичности к решению инженерных задач. М.: Высшая школа. 1974. 200 с.
3. Ботт М. Внутреннее строение Земли. М.: Мир, 1974. 375 с.
4. Гамбурцев Г.А. Перспективный план исследований по проблеме "Изыскание и развитие методов прогноза землетрясений" // Развитие идей Г.А.Гамбурцева в геофизике: М.: Наука, 1982. с. 304-311.
5. Друмя А.В., Шебалин Н.В. Землетрясение: где, когда, почему? Кишинёв. Штиинца, 1985. 196 с.
6. Жарков В.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М.: Наука, 1983. 415 с.
7. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985, 264 с.
8. Магницкий В.А. Внутреннее строение и физика Земли. М.: Наука, 2006. 390 с.
9. Певнев А.К. Прогноз землетрясений - геодезические аспекты проблемы // Изв.АН СССР. Физика Земли. 1988. N12. С.88-98.
10. Певнев А.К. Пути к практическому прогнозу землетрясений. М.: ГЕОС. 2003. 153 с.
11. Певнев А.К. Об ошибке американских геодезистов, положившей начало кризису в проблеме прогноза землетрясений// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2011, №3, с.94-104.
12. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. М.: Наука, 1985. 408 с.
13. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. лит. 1963. 670 с.
14. Саваренский Е.Ф. Вступительное слово председателя Международной комиссии МАСФНЗ по поискам предвестников землетрясений чл.-корр. АН СССР. В сб. Поиски предвестников землетрясений. (Междкнародный симпозиум. 27 мая- 3 июня 1974) Изд.-во «ФАН» Узбекской ССР. Ташкент – 1976. С.7-8.
15. Reid H.F. The Mechanism of the Earthquake. The California Earthquake of April 18, 1906: Rep. of the State Investigation Commiss. Vol.2. P.1. Washington, 1910, 56 p.

ПОЛЕВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЕШЕХОДНЫХ МАГНИТОМЕТРОВ POS

FIELD INVESTIGATIONS OF METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF POS GEOMAGNETOMETERS



Муравьев Лев Анатольевич / Muraviev L.A.

Младший научный сотрудник Института геофизики Уральского Отделения Российской академии наук / Junior research worker, Institute of Geophysics Urals Branch of RAS

e-mail: mlev@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты полевых испытаний современных высокочувствительных пешеходных геомагнитометров POS. Сопоставления в разностном режиме разных экземпляров однотипных приборов между собой. Сопоставления магнитометров POS с аналогичными по чувствительности квантовыми магнитометрами иностранного производства. Приведены примеры сопоставления вариаций геомагнитного поля, записанных приборами. Показано, что точность выявления магнитометрами POS кратковременных изменений геомагнитного поля достигает 0.05 нТл, при условии синхронизации моментов измерений геомагнитного поля.

Ключевые слова: Пешеходный высокочувствительный ядерно-прецессионный магнитометр

POS. Квантовый магнитометр. Метрологические характеристики. Вариации геомагнитного поля.

Abstract. Results of field tests of up-to-date high-sensitive pedestrian magnetometers POS are presented. Comparison in differential variant of various devices between each other. Comparison of magnetometers POS with optical pumping magnetometers of similar sensitivity class. Examples of comparison of geomagnetic field variations, recorded by high-sensitive magnetometric devices. Precision of short-term variations of geomagnetic field revelation is reaching 0.05 nT, on the assumption of measurement moments synchronization.

Keywords: Pedestrian highly sensitive nuclear-precession magnetometer POS. Quantum magnetometer. Metrological characteristics. Variations in the geomagnetic field.

Абсолютные геомагнитные измерения

Появление абсолютных магнитометров земного поля стало возможным в результате двух открытий, произошедших в начале 20-го века. Первое из них сделано в 1929 году Р. Вудом, который обнаружил расщепление спектральных линий паров натрия в магнитном поле. Объяснение этого явления, на основе аномального эффекта Зеемана выполнено И. Раби и Г. Брейтом. Второе открытие – ядерного магнитного резонанса (ЯМР), резонансных

изменений макроскопической намагниченности вещества, под действием слабого радиочастотного магнитного поля, наложенного на сильное постоянное магнитное поле [2]. Из теории этого явления, разработанной Ф. Блохом и Э. Парселлом следует наличие зависимости между частотой сигнала свободной прецессии ω протона и модулем напряженности внешнего магнитного поля B :

$$\omega = \gamma B \quad (1)$$

Здесь γ - гиромагнитное отношение протона - мировая константа, известная в настоящее время со стабильностью до 8-го знака [33]:

$$\gamma = (2,675\ 222\ 099 \pm 0,000\ 000\ 070) \cdot 10^8 \text{ рад/(нТл}\cdot\text{с)}$$

Поскольку данная величина является постоянной при изменении таких факторов как температура, давление и пр., измерения магнитного поля этим способом являются абсолютными, характеризуются точностью и стабильностью.

Первый магнитометр, построенный на этом принципе создан М. Паккардом и Р. Варианом [30] в 1947 году. Серийное производство и активное внедрение таких приборов в магнитометрическую практику началось с 1955 фирмой «Varian Associates». Позднее несколькими фирмами в мире были созданы аэромагнитометры на том же принципе. В России первые серийные пешеходные (АЯПМ-4, М-20) и аэромагнитометры (ЯП-1, АЯАМ-6) были изготовлены в 50-60-х гг (А. Я. Ротштейн, В. С. Цирель, А. П. Амосов, Ю. Н. Денисов). Точность их достигала 2 нТл, цикличность – от 7 до 1 сек [12].

Магнитометры, основанные на использовании эффекта зеемановского расщепления спектров паров щелочных элементов (квантовые) появились несколько позднее, после изобретения способа оптической накачки (А. Кастлер, Г. Демельт, У. Белл и А. Блум), благодаря чему в 60-х годах были созданы первые магниточувствительные приборы на парах гелия и рубидия с порогом чувствительности 0,02–0,06 нТл и быстродействием 2–5 изм/с (А. Кёйзер, А. Блум, Л. Ланган).

В 70-е гг. прошлого века были созданы абсолютные приборы для пешеходных магнитных измерений: квантовые (на парах цезия) магнитометры М-33 и М-60 с пороговой чувствительностью 0,1–1,0 нТл и протонный магнитометр ММП-203 с пороговой чувствительностью 1 нТл (В. П. Пак, В. П. Трипольский, Г. К. Жиров, В. С. Цирель). Данные приборы были выпущены значительными сериями и активно применялись в геологоразведочных работах вплоть до конца 20-го века.

Появление протонных и квантовых магнитометров обусловило кардинальные перемены в магнитометрии, названные В.М.Гординым [2] «революцией», а именно переход от трудоемких измерений компонент магнитного поля к

быстрым и малозатратным измерениям его модуля. За последние два десятилетия в магнитометрическом приборостроении, следуя той же терминологии, произошла еще одна «революция». Новая элементная и технологическая база позволила повысить чувствительность модульных геомагнитометров (как квантовых, так и ядерно-прецессионных) до уровня пикотеслы, и оснастить их компьютерной регистрацией результатов измерений [25].

Сравнительная характеристика современных высокочувствительных пешеходных модульных магнитометров

Среди важнейших фирм-производителей (разработчиков) высокоточной пешеходной магнитометрической аппаратуры следует перечислить зарубежные Geometrix (США), GEM Systems (Канада), Scintrex Ltd (Канада-США) [25], а также российские НИЛ Квантовой магнитометрии (Екатеринбург) и ОАО «Геологоразведка» (С-Петербург). Все указанные зарубежные фирмы изготавливают как квантовые, так и ядерно-прецессионные модели магнитометров, российские - выпускают лишь оверхаузеровские приборы.

Представленные на рынке модели имеют достаточно близкие характеристики и области применения, что делает актуальной возможность их сопоставления. Проведем их краткий обзор. Все выбранные магнитометры оснащены компьютерной регистрацией результатов измерения, а также спутниковой (GPS) технологией определения координат измеряемых точек. Каждая из моделей имеет модификацию градиентометра – возможность добавления еще одного измерительного канала - аналогичного датчика магнитного поля.

Магнитометр Geometrics G-856 – протонный, с регистрацией частоты прецессии по методу Паккарда-Вариана. Отсчетная величина 0.1 нТл, градиентоустойчивость 1000 нТл/м. Используется для низкоточной наземной магниторазведки или при низкой квалификации операторов благодаря минимальной цене и высокой стабильности рабочего вещества (керосин).

Протонные оверхаузеровские магнитометры POS (НИЛ Квантовой магнитометрии), GSM-19 (GEM Systems) и МСПГ (Геологоразведка) являются аналогами протонного с овер-

оверхаузерским усилением сигнала ЯМР. Характеризуются оптимальным соотношением цена/качество для высокоточной наземной и морской магниторазведки благодаря достаточно высокой чувствительности и градиентоустойчивости при низком энергопотреблении и весе. Рабочее вещество на основе растворов радикалов достаточно стабильно. При этом приборы имеют невысокое быстродействие, наиболее точные результаты измерений достигаются при циклах 1 измерение в 3 секунды.

Квантовые магнитометры-градиентометры GSMP-40 (GEM Systems), SM-5 (Scintrex), G-859 (858) (Geometrics) на основе оптической накачки паров щелочных металлов с регистрацией электронного эффекта Зеемана по оптическому каналу. Используются для аэромагниторазведки и сверхбыстрой съемки в археологии [9, 22], а также поиска неразорвавшихся боеприпасов [1, 34] благодаря наилучшей чувствительности (порядка 10 пкТл), быстродействию (до 10-50 измерений в секунду) и градиентоустойчивости (до 40 мкТл/м). Недостатки данных приборов – высокая цена, большое энергопотребление и вес с учетом батарей питания, а также необходимость замены датчиков при интенсивной эксплуатации. Кроме того, существует необходимость поддержания определенной ориентации датчика в пространстве. Рекордные результаты по чувствительности (отсчетная точность 0.1 пкТл) – для технологии датчика на парах калия – GSMP-40, выпускаемой GEM Systems.

Оверхаузерский ядерно-прецессионный магнитометр POS

Использование эффекта Оверхаузера [28, 29] (динамической поляризации протонов) требует применения рабочего вещества, содержащего взаимодействующие ядерные и электронные спиновые магнитные моменты, то есть неспаренные электроны. При воздействии на такое вещество переменным электромагнитным полем определенной частоты создаются условия парамагнитного резонанса. Поглощенная электронами энергия радиочастотного магнитного поля передается ядрам (протонам) за счет чего возникает согласованная ориентировка их магнитных моментов.

Таким образом, применение эффекта Оверхаузера приводит к более интенсивной по-

ляризации рабочего вещества, и следовательно к усилению сигнала прецессии, причем достигается это меньшими затратами энергии [13].

Теоретические и экспериментальные работы по изучению и выбору рабочих веществ для датчиков с динамической поляризацией, оптимизация режимов работы магнитометров проводились в УПИ (сейчас УрФУ, г.Екатеринбург) [13] (В.Балдин, А.П. Степанов, А.И. Филатов, В.М. Стоцкий). В лаборатории квантовой магнитометрии [14, 15, 19, 20, 33], возглавляемой В.А. Сапуновым (Д.В. Савельев, А.Ю. Денисов, С.Е. Киселев) в настоящее время активно разрабатываются оверхаузерские магнитометры различного назначения, среди которых – пешеходные магнитометры POS-1 и градиентометры POS-2 (рис. 1).

Магнитометры POS представляют собой процессорный оверхаузерский датчик, состоящий из двух составных частей: первичный преобразователь и блок электроники, а также полевое компьютерное устройство накопления информации. Вместо данного устройства для управления датчиком может быть использован компьютер.

В первичном преобразователе происходит формирование сигнала свободной прецессии ядерной намагниченности рабочего вещества. Конструктивно преобразователь размещён в цилиндрическом корпусе и состоит из приёмно-поляризующих низкочастотных катушек, помещённого в них рабочего вещества и высокочастотного контура, необходимого для создания резонансного электромагнитного поля.

Управление и обмен информацией с датчиком осуществляется по последовательному порту COM (RS-232).

Процессорный оверхаузерский датчик PO имеет следующие характеристики [10]: стабильность на уровне 0.02 нТл в год; порог чувствительности 0.002 нТл; частота опроса до двух измерений в секунду; работоспособность в градиентах магнитного поля до 20000 нТл/м.

Для натурального сопоставления с прибором POS нами выбраны магнитометры Geometrics g858 и Scintrex SM-5 NAVMAG. Сравнительные характеристики [21, 32] этих приборов приведены в табл. 1.



Рис. 1. Общий вид пешеходного магнитометра-градиентометра POS-2

Таким образом, разработанные в России пешеходные высокочувствительные ядерно-прецессионные магнитометры POS обладают характеристиками на уровне моделей ведущих мировых производителей аналогичного оборудования. Их отличительными особенностями является процессорная обработка сигнала прецессии [19] и возможность оценки качества единичного измерения сразу после его осуществления [33]. Такие характеристики, как компьютерная регистрация результатов измерения, топопривязка точек наблюдения с помощью GPS, наличие часов реального времени, возможность осуществления непрерывного режима измерений – являются общими для всех современных пешеходных магнитометров.

Общее достоинство всех типов ядерно-прецессионных магнитометров перед магнитометрами с оптической накачкой (квантовыми) – абсолютное измерение величины магнитного

поля, обусловленное физикой процесса, не подверженное влиянию температурного фактора. Это делает возможным их использование не только в магниторазведочных работах но и в обсерваторской практике [27] для долговременных мониторинговых наблюдений.

Кроме того, магнитометр POS оснащен удобным интерфейсом пользователя, прост в использовании, имеет небольшой вес и габариты.

Для введения данного типа магнитометрической аппаратуры в практику геофизических исследований необходимо определить ее возможности для решения практических геолого-геофизических задач на фоне помех как естественного так и искусственного происхождения и сопоставить в натурных экспериментах в реальных геологических условиях с аналогичной аппаратурой.

Некоторые характеристики магнитометров POS, Geometrics g858m и Scintrex SM-5 NAVMAG

Характеристика	POS	Geometrics g858	Scintrex SM-5 NAVMAG
Тип технологии датчика	Оверхаузеровский протонный	Оптическая накачка паров цезия	Оптическая накачка паров цезия
Диапазон измерения поля	20000 – 100000 нТл	18000 – 95000 нТл	18000 – 95000 нТл
Предел чувствительности	0.01 нТл при времени изм. 3 сек	0.008 нТл при изм. 1 сек	0.006 нТл при изм. 0.1 сек
Точность	0.2-0.5 нТл	1.5 + 0,05°C	2,5 датчик ±0,2
Требования к ориентировке датчика	Работоспособен при любой ориентировке, при неоптимальной ориентировке доп. погр. до 1 нТл	Сохраняет работоспособность при 45° ±35° к напр. земного поля	10°-85° к направлению земного поля
Потребляемый ток, мощность	300-400 мА, 4 Вт	600 мА, 10 Вт старт, 7 Вт при 20°C	15 Вт старт
Рабочая температура	от -30°C до 50°C	от -15°C до 50°C	от -30°C до 50°C
Термостабилизация	нет необходимости	непрерывный подогрев датчиков	непрерывный подогрев датчиков, темп. дрейф 0.01 нТл/°
Время работы от одного комплекта аккумуляторов	несколько дней	3-6 часов	2 часа, при использовании доп. батареи – 4 часа.
Полный вес комплекта	6 кг	6 кг	10 кг + доп. батарея 5 кг
Периодичность измерений в непрерывном режиме	1 раз в 3 сек, некоторые модели допускают режим 1 изм. в 0.5 сек	до 1 раз в 0.1 сек	до 1 раз в 0.1 сек
Градиентоустойчивость	20000 нТл на метр, 40000 форсаж	20000 нТл на метр	40000 нТл на метр
Время «жизни» датчика	10 лет	≥3000 часов ресурс	≥5000 часов ресурс

Магнитометрические измерения в реальных условиях

Осуществление измерений высокочувствительным прибором в реальных геолого-геофизических условиях, при воздействии вариаций геомагнитного поля, а также различного рода помех является сложной задачей.

Вариации Земного магнитного поля – непрерывные псевдослучайные его изменения [18], обусловленных как явлениями в ионосфере, так и процессами, проходящими на поверхности, и в земной коре [26]. На медленно меняющееся так называемое главное геомагнитное поле [23] накладывается переменное магнитное поле (суточные вариации, короткопериодные колебания, магнитные бури), вызванные внешними процессами, происходящими в ионосфере. Интенсивность невозмущенных суточных вариаций меняется в пределах Земли, возрастает от экватора к полюсам, достигая 200 нТл [17].

Существуют возмущенные вариации, к которым относятся непериодические импульсные вариации и магнитные бури. Они

зависят от возмущений в ионосфере, которые, в свою очередь, связаны с приходом на Землю корпускулярных потоков от вспышек на Солнце [17, 18]. Усредненный спектр геомагнитных возмущений приведен в [18].

Изучить метрологические характеристики прибора в таких условиях можно путем проведения разностных измерений, то есть разместить датчики магнитометров в однородном магнитном поле в нескольких метрах друг от друга и вести длительную запись вариаций геомагнитного поля от нескольких часов до суток. Применение подобного метода описано в работе [8] для приборов другого класса точности. Поскольку изучаемый нами параметр – разностный сигнал выделяется на фоне шумов, среднее квадратичное отклонение разности показаний магнитометров будет зависеть от временного сдвига моментов включения приборов и спектральной плотности возмущений геомагнитного поля.

Схема образования этого шума, добавляющегося к разностному сигналу, показана на рис. 2.

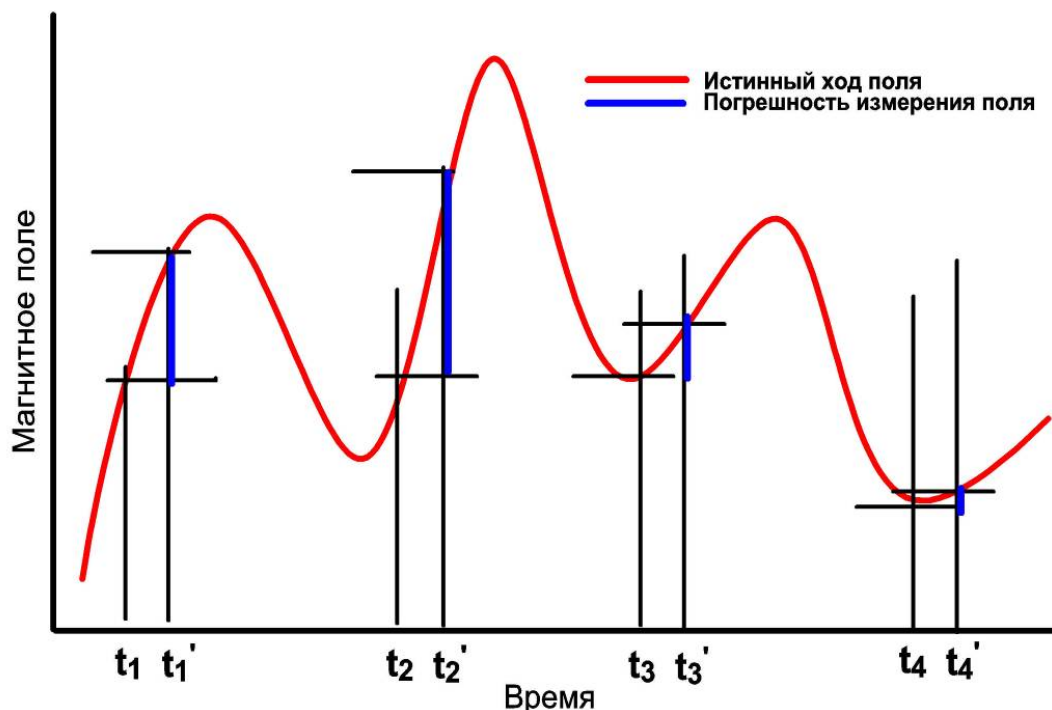


Рис. 2. Причины появления погрешности при разностных измерениях

Амплитуда шума зависит от величины временного сдвига моментов включения приборов и спектральной плотности возмущений геомагнитного поля. Выполненные ранее тео-

ретические и экспериментальные исследования [4] показали, что для того чтобы достигнуть погрешности на уровне единиц пикотеслы синхронность моментов измерений долж-

на отличаться на миллисекунды (при времени счета прибором 1 секунда).

В магнитометрах POS [10] используются внутренние алгоритмы обработки и усреднения сигнала за время получения единичного отсчета [19, 20, 33]. Поэтому целью настоящего исследования являлось натурная оценка требований к синхронизации.

Полевые исследования выполнены в магнитоспокойные дни в различное время суток, на территории геофизической обсерватории Арти (Свердловская область). Данное ме-

сто удалено от промышленных магнитных помех. На рис. 3 приведен пример разностей показаний двух аппаратурно синхронизованных магнитометров (кварцевые часы), а также третьего прибора синхронизованного с первыми вручную (интервал между пусками которых составлял порядка секунды). В первом случае средне-квадратичное отклонение шумового сигнала составило 0,03 нТл, а во втором порядок выше - 0,3 нТл. Приведен также график геомагнитного поля.

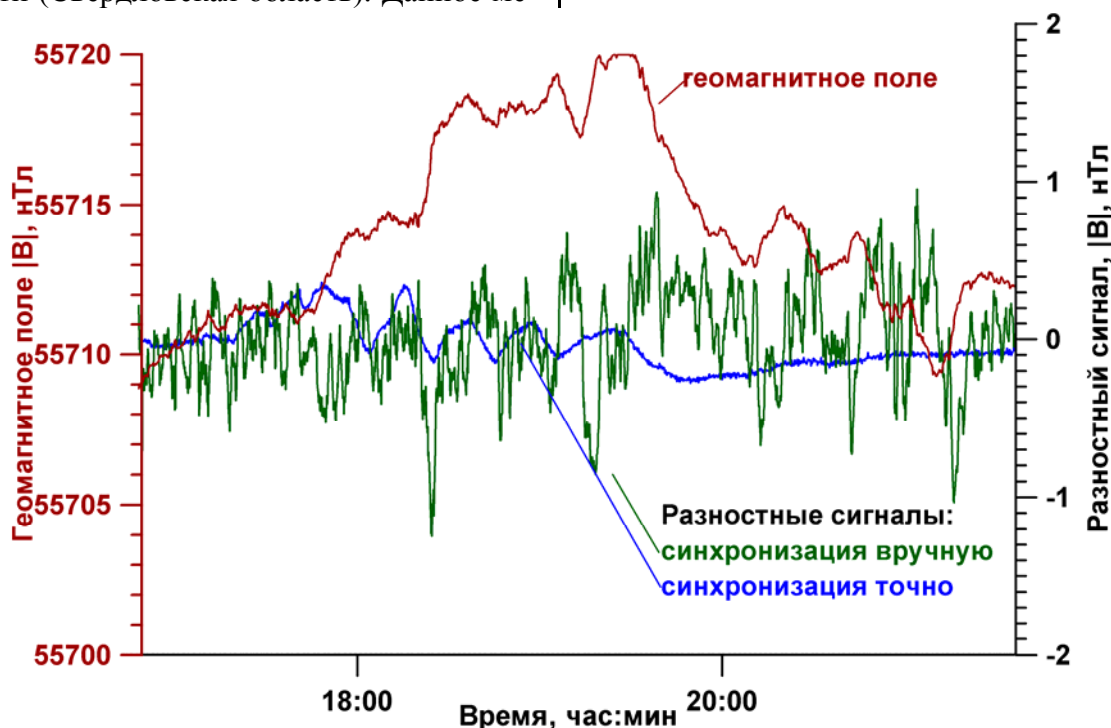


Рис. 3. Влияние точности синхронизации моментов включения магнитометров на возможность выявления слабых изменений магнитного поля

Таким образом, для обеспечения точности учета вариации на уровне чувствительности прибора, особенно при долговременных режимных наблюдениях, необходима как можно более точная синхронизация моментов измерений магнитометрической аппаратуры.

В качестве иллюстрации экспериментов по одновременному наблюдению динамики геомагнитного поля в реальных геолого-геофизических условиях, приведем следующие примеры. Эксперименты проведены на севере о.Сахалин в магнитоспокойные дни в удаленном от промышленных помех месте. Два датчика градиентометра POS-2 были жестко установлены на высоте 1 м над поверхностью земли, один из датчиков находился

вблизи небольшого ручья. Расстояние между датчиками составило 5 м. Разность значений магнитного поля между датчиками составляла примерно 5 нТл. На рис. 4 приведена запись вариации магнитного поля и разности измеренных датчиками значений. На рис. 5 показан результат аналогичного эксперимента, но при этом разность значений поля между датчиками не превышала 1 нТл. Эксперимент был проведен в ночное время, а наибольшая динамика градиента магнитного поля отмечена утром, что может быть объяснено изменением температуры, а следовательно и температурного градиента в пределах датчика [33]. Еще одна возможная причина — активизация перетоков флюида в почве [6, 11].

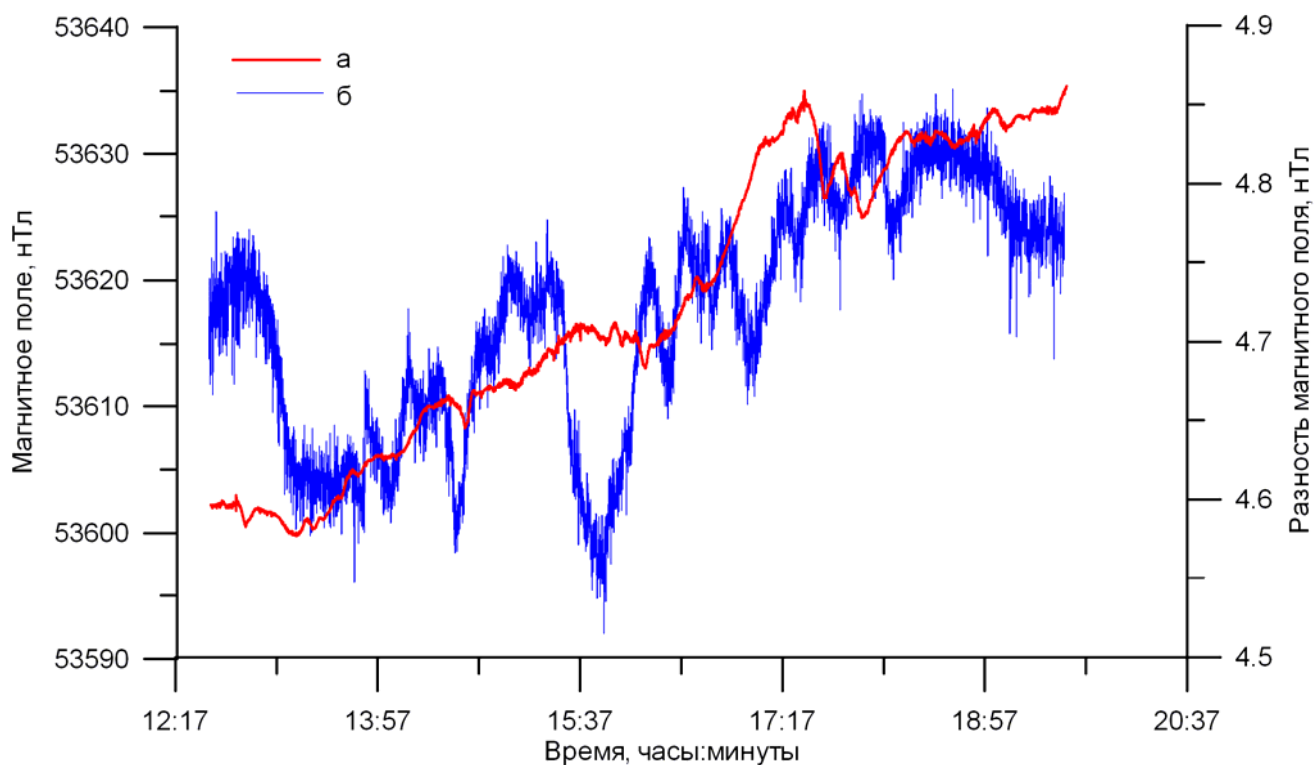


Рис. 4. Запись градиентометром POS-2 вариации геомагнитного поля в реальных геолого-геофизических условиях: разность магнитного поля между датчиками составляет около 5 нТл. а - значение магнитного поля, регистрируемое одним из датчиков (левая ось ординат), б - разность между показаниями датчиков (правая ось ординат)

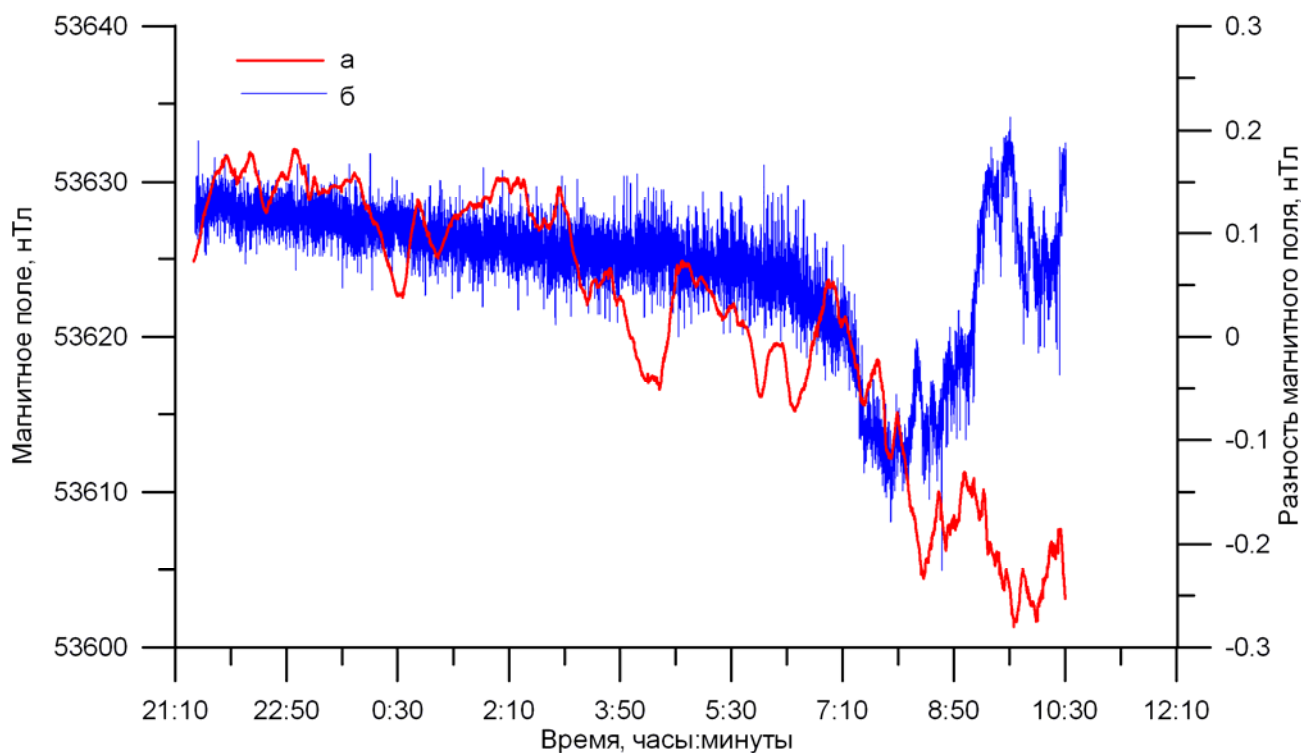


Рис. 5. Запись градиентометром POS-2 вариации геомагнитного поля в реальных геолого-геофизических условиях: разность магнитного поля между датчиками составляет менее 0.2 нТл. а - значение магнитного поля, регистрируемое одним из датчиков (левая ось ординат), б - разность между показаниями датчиков (правая ось ординат)

Натурное сравнение магнитометров POS и geometrics G858

Для сравнения выбран современный высокочувствительный квантовый цезиевый магнитометр g858g производства Geometrics, США. Данный прибор, благодаря большому количеству измерений в секунду, применяется для пешеходных магнитных съемок, в частности, при поиске неразорвавшихся боеприпасов и для археологических исследований [22]. Эксперимент был выполнен совместно с сотрудниками отделения геофизики геологического факультета МГУ.

В нашем распоряжении имелся один магнитометр Geometrics g858m в варианте градиентометра и два идентичных комплекта магнитометров POS. Место проведения эксперимента – учебно-научная база отделения геофизики геологического факультета МГУ в

д.Александровка – удалено от промышленных помех.

Всего было проведено две серии синхронных наблюдений магнитного поля. Часы двух магнитометров POS перед каждым экспериментом были точно синхронизованы между собой с помощью соответствующей встроенной функции. Часы магнитометра Geometrics в начале испытаний синхронизованы с часами POS с помощью GPS с точностью до секунды. Эксперименты проводились в зимнее время, поэтому для исключения повреждения аппаратуры велся мониторинг температуры воздуха.

В первом эксперименте точки установки датчиков выбраны в магнитном поле с однородностью 5 нТл/м, на расстоянии около 5 м друг от друга. Высота установки датчиков 1,5 м. Периодичность измерения - 3 секунды. Графики магнитного поля и разности показаний трех приборов показаны на рис. 6.

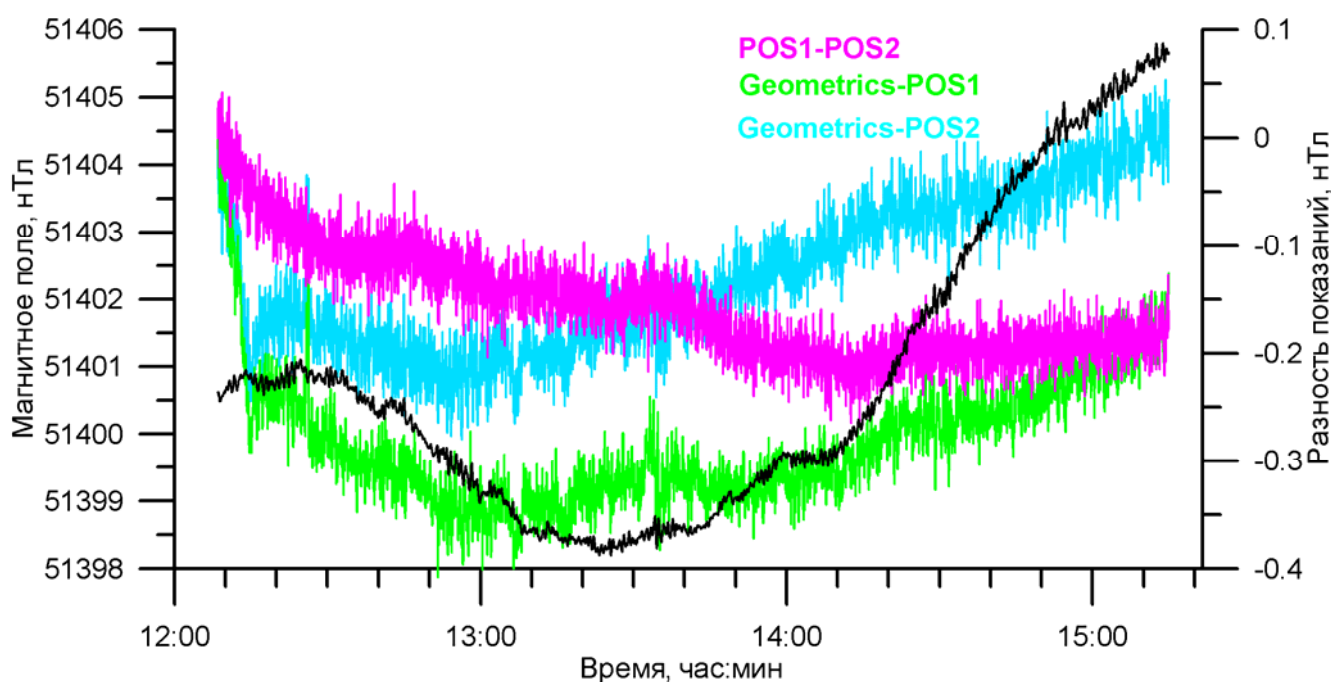


Рис. 6. Вариация магнитного поля (левая ось, черная кривая) и разности показаний трех приборов (правая ось, цветные кривые), первый эксперимент

Из графика видно, что при условии точной синхронизации и одинаковой периодичности измерений разностные сигналы практически не отличаются друг от друга. В начале измерения на графиках разности показаний между каждым прибором POS и Geometrics виден существенный «дрейф» поля, длительностью около 10 – 15 минут, связанный с про-

гревом датчика Geometrics. Ширина «шумовой» разностной полосы в течение эксперимента постоянна и составляет во всех случаях около 0,05 нТл.

Во втором эксперименте датчики установлены в поле с однородностью до 1-2 нТл/м, но на расстоянии 20 – 40 м друг от друга. Периодичность измерения датчиком

POS - 3 сек, Geometrics – 1 сек. Соответствующий график вариации магнитного поля и разности показаний приведен на рис. 7.

Увеличение ширины шумового сигнала – разности показаний между POS и Geometrics связано, по-видимому, с уменьшением точности Geometrics при односекундном цикле измерений а также с расхождением часов приборов, т.к. повторная синхронизация времени не производилась.

Наблюдаемое по графику изменение режима измерений в середине эксперимента скорее всего обусловлено падением температуры от -3 до -9 °С. Поскольку уменьшение температуры началось резко, сразу после за-

хода солнца, на Geometrics это отразилось скачком измеренного значения поля до 0,5 нТл. По всей видимости, это изменение режима автоматической термостабилизации датчика. На кривой разности между двумя магнитометрами POS наблюдается плавное падение поля на одном из датчиков, возможно, также вызванное температурными эффектами.

Выявленные особенности поведения датчиков Geometrics и POS при изменениях температуры необходимо учитывать при планировании и проведении экспериментов по долговременным мониторинговым наблюдениям геомагнитного поля [7].

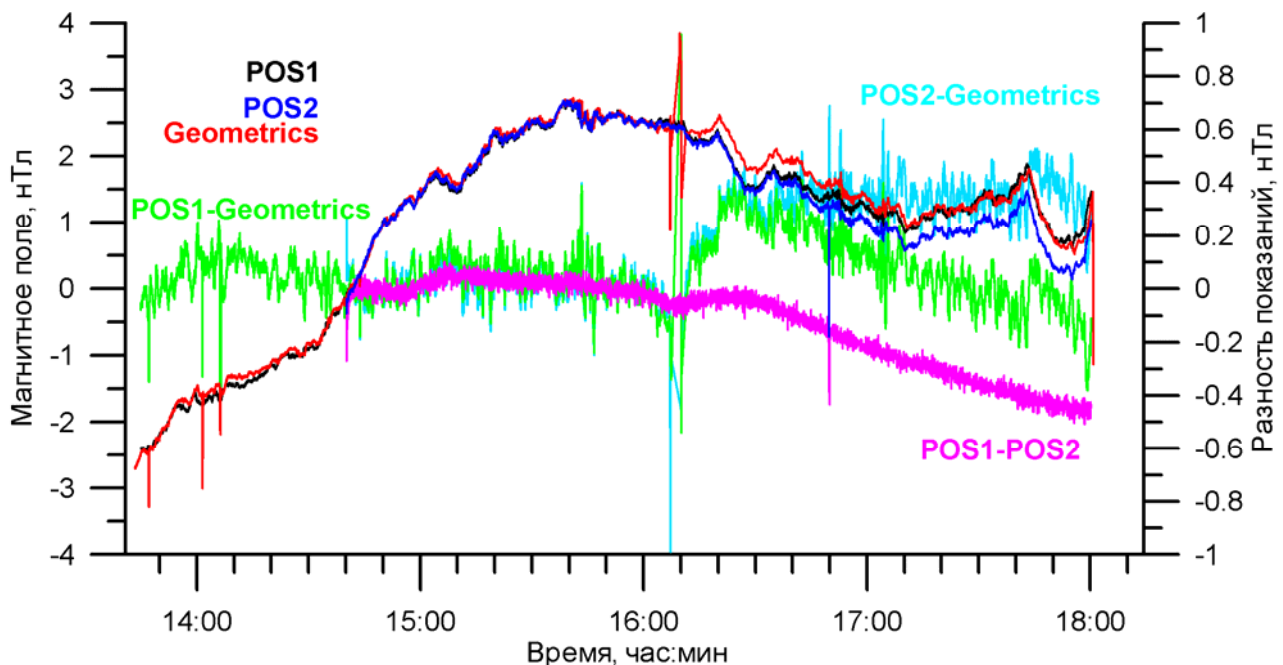


Рис. 7. Вариация магнитного поля для трех приборов, приведенная к общему уровню (левая ось) и разность показаний трех приборов (правая ось), второй эксперимент.

Натурное сравнение магнитометров POS и Scintrex SM-5

Градиентометр Scintrex SM-5 является еще одним современным магнитометрическим прибором, активно применяемым за рубежом. Этот квантовый (на парах цезия) магнитометр производится в Канаде.

Экспериментальное сравнение данного магнитометра с приборами POS проведено на территории геофизической обсерватории Арти, Свердловская область. Было задействовано 7 датчиков пяти магнитометров, в скобках указаны их обозначения на графиках да-

лее: градиентометр POS (2 датчика: grad1, grad2), градиентометр Scintrex SM-5 (2 датчика: Scintrex1, Scintrex2), два пешеходных магнитометра POS: заводской № 91, 2007 года изготовления (POS91), и заводской № 100, 2004 года, (POS100). Также для сравнения использованы данные со стационарно установленного в обсерватории датчика аналогичного магнитометра POS (ARTI).

Датчики градиентометра POS-2 установлены на крыше одного из немагнитных павильонов на жесткой штанге на расстоянии 1 м друг от друга и в 1 м от крыши. Датчики градиентометра Scintrex установлены внутри

того же павильона на жесткой штанге на расстоянии 1 м друг от друга, верхний датчик находился примерно в 1 м от крыши (2 метра от нижнего датчика градиентометра). Датчики

магнитометров POS-1 № 91 и № 100 установлены каждый в своем немагнитном термостабилизированном павильоне. Схема эксперимента показана на рис. 8.

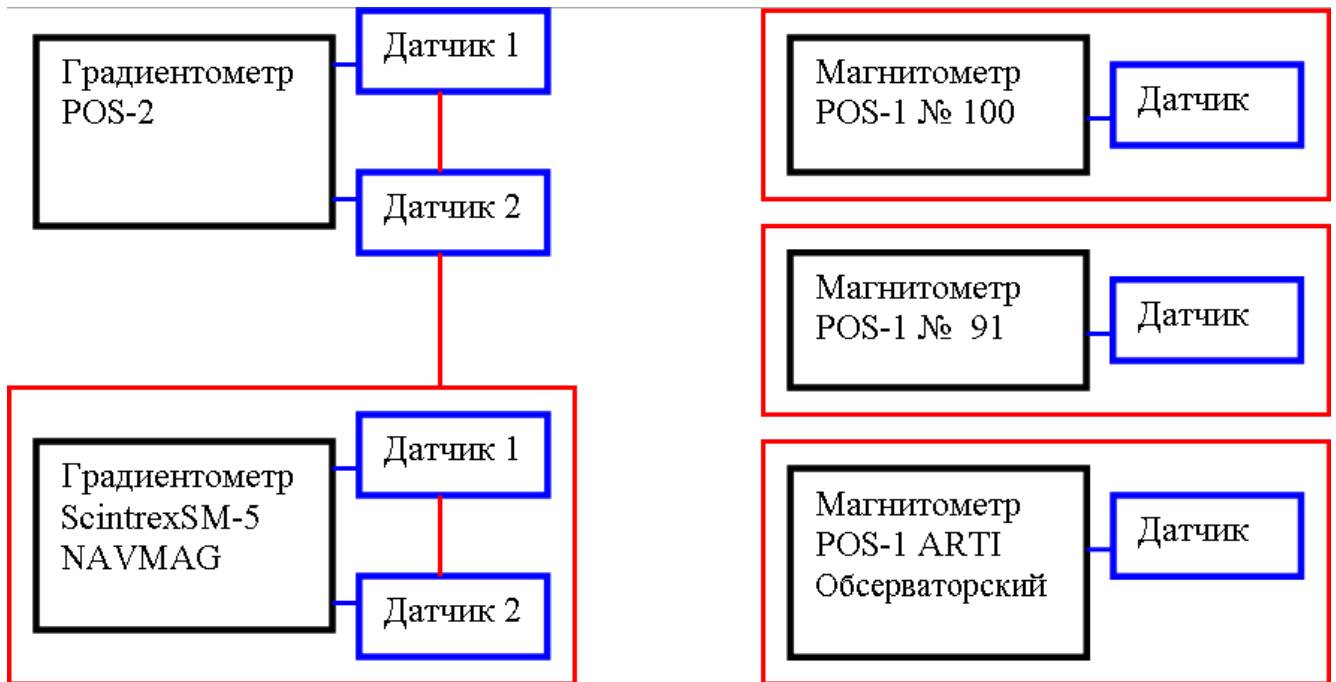


Рис. 8. Схема осуществления эксперимента: каждый магнитометр находится в отдельном магнитометрическом павильоне обсерватории (красный контур). Датчики градиентометра POS-2 закреплены на крыше павильона, в котором установлен градиентометр Scintrex SM-5

Часы всех участвующих в эксперименте магнитометров были синхронизованы с максимально достижимой для данных приборов точностью.

Все магнитометры POS проводили измерения 1 раз в 3 секунды. Периодичность записи градиентометром Scintrex - раз в секунду. Для возможности сравнения измерения Scintrex разбиты на три серии: "первая секунда из трех", "вторая из трех" и "третья из трех".

На записях хорошо выявляется искажение магнитного поля в момент поляризации датчика в приборах POS. Датчики градиентометров POS и Scintrex были расположены достаточно близко друг к другу, процесс поляризации длится чуть больше 1 секунды, и искажение магнитного поля отчетливо видно на записях серий "первая секунда из трех", "вторая секунда из трех". Зарегистрированный между 2 и 3 часами скачок градиента магнитного поля соответствует времени отключения градиентометра POS. На записи

"третья секунда из трех" скачка не видно вовсе. Поэтому во всех дальнейших сравнениях участвует именно эта запись. Соответствующие графики разностей между показаниями магнитометров-градиентометров показаны на рис. 9.

Сопоставления разностей между показаниями датчиков одного прибора (т.е. градиента для двух градиентометров, Scintrex и POS) выявляют разный характер регистрации поля. Ширина "шумовой полоски" Scintrex существенно меньше (0.05 нТл) чем для POS (до 0.15 нТл). В записи Scintrex практически отсутствуют выбросы свыше 0.1 нТл от среднего значения, а в записи POS такие выбросы есть.

Записи разности между датчиками Scintrex отчетливо выявляют дрейф в первые часы эксперимента, который, по всей видимости, является температурным. Датчики квантовых магнитометров Scintrex являются термостабилизированными, и колебания внешней температуры, вызывают небольшие колебания температуры внутри датчика и таким

образом, дрейф измеренного значения поля. В инструкции к магнитометру Scintrex, так же как и Geometrics указано на необходимость прогрева в течение 20 мин перед измерениями. А в эксперименте прибор был занесен с улицы (температура около 0°C) в теплый па-

вильон. Процесс установления постоянной температуры датчика прибора мог длиться несколько часов. Плавное уменьшение разницы между показаниями датчиков начиная с 3 часов ночи часов может быть объяснено повышением температуры от ночной к утру.

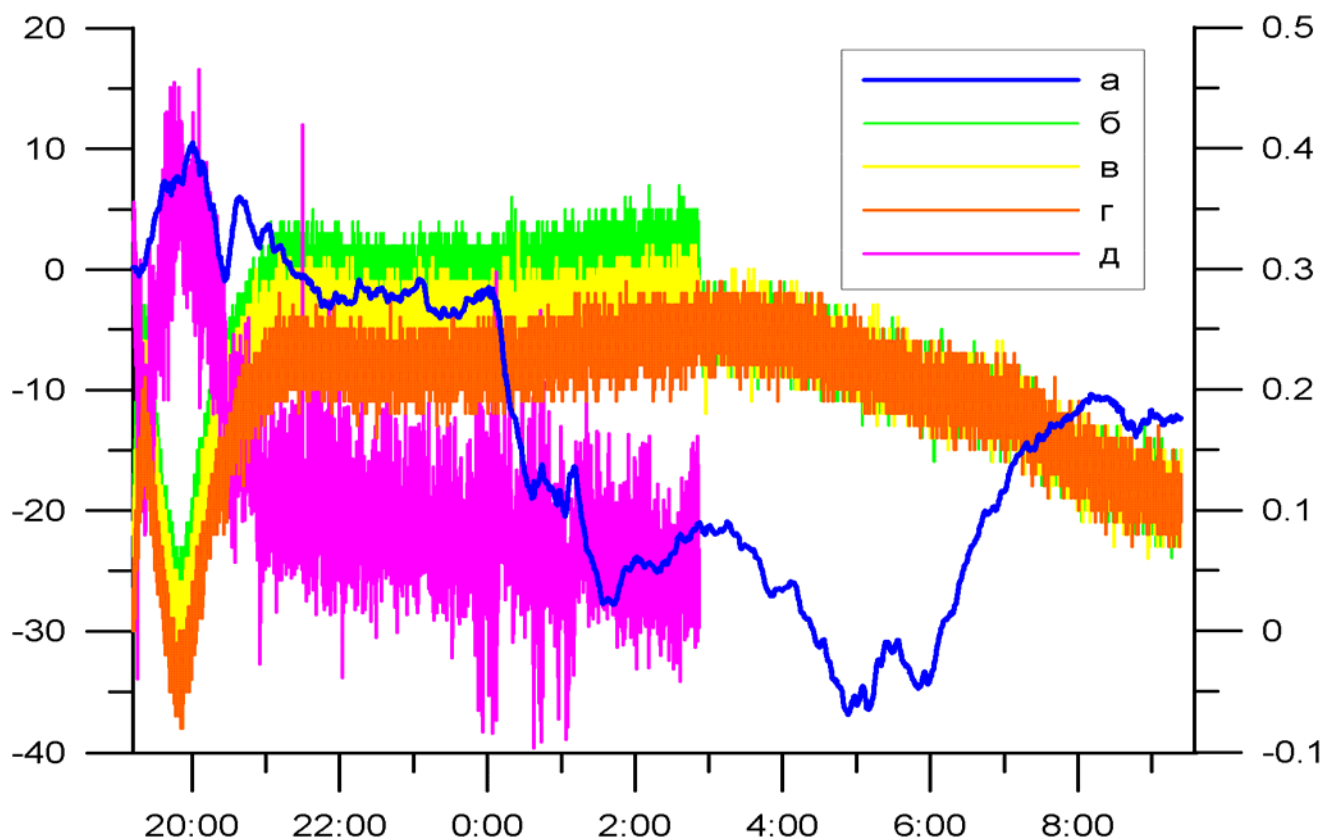


Рис. 9. Магнитное поле (левая ось) и разность между показаниями двух датчиков градиентометров (правая ось): а – геомагнитное поле б – разность между датчиками Scintrex, первая секунда из трех; в – то же, вторая секунда из трех; г - то же, третья секунда из трех; д – разность между показаниями одного из датчиков Scintrex и градиентометра POS

Рассмотрение разностей между вторым датчиком Scintrex и остальными приборами позволяет определить, что описанному выше дрейфу был подвержен именно первый датчик. Разности показаний между датчиками магнитометров показаны на рис. 10.

Наиболее стабильным в данном эксперименте оказался магнитометр POS № 91. На рис. 11 приведены разности измерений между магнитометром № 91 и датчиками других магнитометров. Для сравнения выбраны приборы, показавшие наименьший дрейф: градиентометр POS, датчик 2 градиентометра Scintrex и обсерваторский магнитометр POS

ARTI. Наименьшая ширина шумового разностного сигнала составила 0.05 нТл.

В эксперименте по одновременному наблюдению вариации геомагнитного поля магнитометрами различных типов удалось уверенно разделить влияние тех или иных факторов на каждый из датчиков, в зависимости от типов магнитометров. В проводимых нами ранее экспериментах выявлялись аналогичные явления, но невозможно было установить, вблизи какого из датчиков находится источник изменения магнитного поля, или какой из датчиков, в силу аппаратных особенностей, больше подвержен дрейфу измеренного значения.

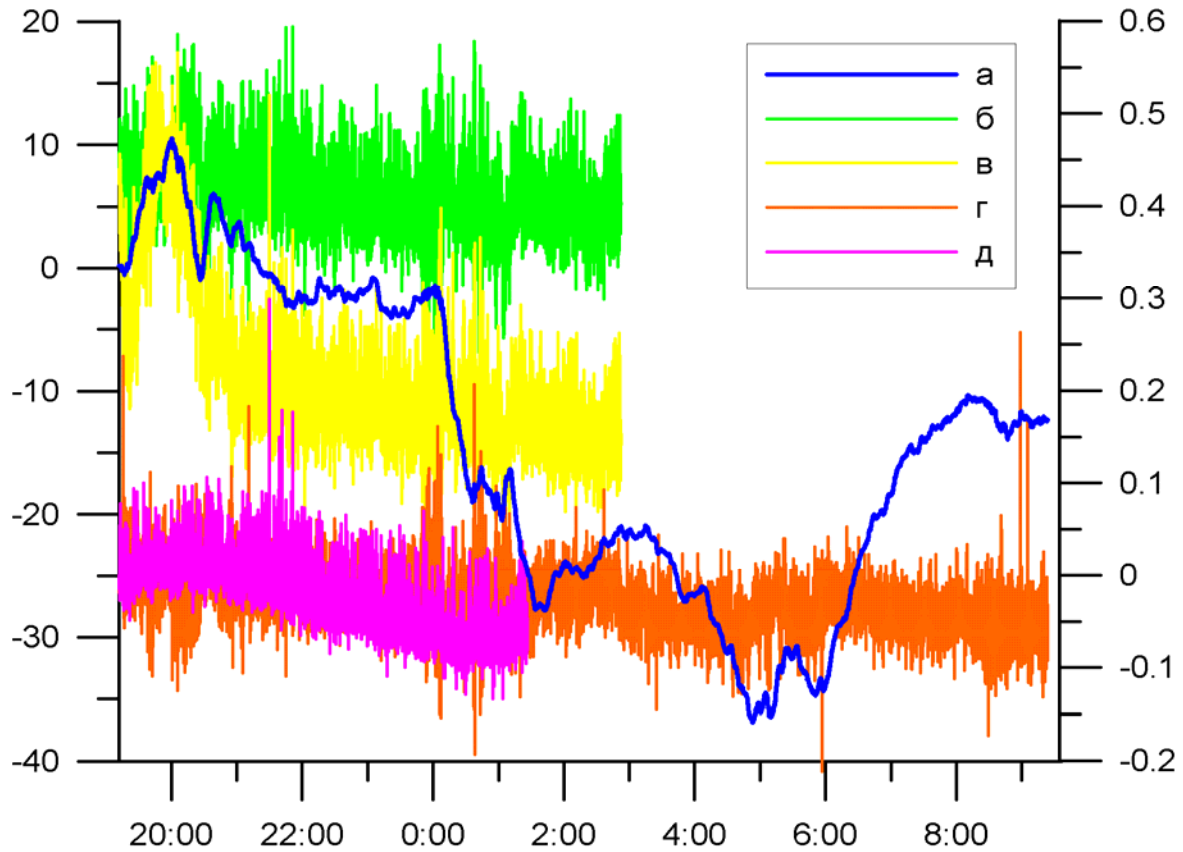


Рис. 10. Магнитное поле (левая ось) и разность между показаниями двух датчиков магнитометров и градиентометров (правая ось): а – геомагнитное поле; б - Scintrex датчик 2 и POS датчик 1; в - Scintrex датчик 1 и POS датчик 1; г - Scintrex датчик 2 и обсерваторский магнитометр POS (ARTI); д - магнитометр POS №91 и POS датчик 1

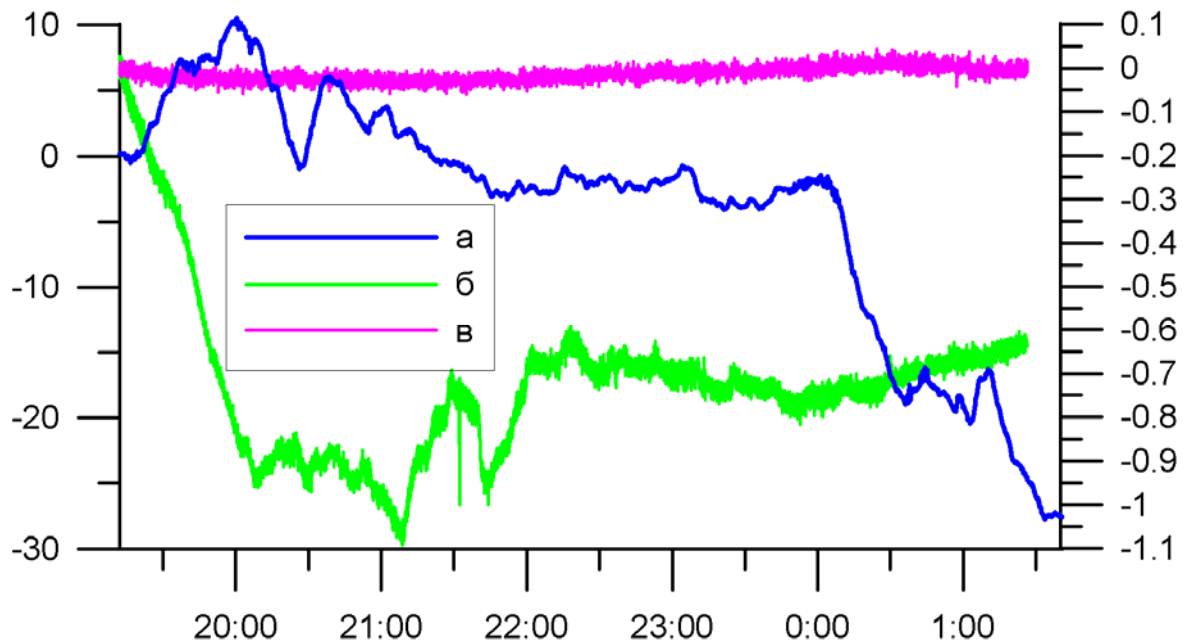


Рис. 11. Магнитное поле (левая ось) и разность между показаниями магнитометров, между которыми зарегистрирован наибольший и наименьший «дрейф» разности показаний (правая ось): а - магнитометры POS №100 и №91; б - магнитометр POS №91 и обсерваторский магнитометр POS (ARTI)

Получено подтверждение влияния процесса поляризации в датчике оверхаузеровского магнитометра POS на измерения вблизи него. Регистрируемый эффект имеется на расстояниях до нескольких метров от датчика, что выдвигает особые требования к расположению магнитометров в экспериментах по выявлению слабых тектономагнитных сигналов, а также требования к стабильности часов приборов. Изначально синхронизованные часы магнитометров могут со временем разойтись и моменты измерения будут не совпадать. В таком случае в регистрируемый сигнал будет добавляться и определенный вклад от поляризации соседнего датчика, поскольку процессор датчика POS определяет поле как среднее по времени спада релаксационного сигнала [33].

Выявлен значительный температурный дрейф квантового магнитометра Scintrex. Обнаружены различия в характеристиках, дрейф, выбросы значений поля, между различными экземплярами приборов POS. Более стабильной оказалась пара более новых приборов.

Наименьшая величина разностного сигнала составляет 0.05 нТл что не отличается от определенного ранее значения [7]. Повидимому, это предел выявления современными высокочувствительными магнитометрами особенностей изменения магнитного поля в реальных геолого-геофизических условиях, достижимый с применением специальных методических решений.

Перед проведением высокоточных измерений геомагнитного поля (мониторинговых наблюдений вариаций, прецезионных магнитных съемок) следует проводить подобные сопоставления магнитометрической аппаратуры. Определение наименее подверженных температурному дрейфу экземпляров приборов и получение оценок наибольшей величины дрейфа позволит определить погрешность выявления разностных сигналов в этих экспериментах. Данная рекомендация введена в практику работы с магнитометрами в ГРО «Катока» [16].

Пространственное распределение суточных вариаций геомагнитного поля на примере пунктов у пос. Арти и г.Тобольск

Наличие высокочувствительной магнитометрической аппаратуры позволяет вернуться к некоторым актуальным вопросам магнитометрии, таким как изучение особенностей пространственного распределения вариаций геомагнитного поля и аномалий векового хода.

В настоящее время результатом исследований пространственного распределения поля магнитных вариаций стало закрепленное в инструкции по магниторазведке [5] утверждение о практической идентичности магнитных вариаций в точках, расположенных на расстояниях ближе, чем 50 км друг от друга. Это правило не применимо к полярным и прибрежным районам, где существует аномальный ход геомагнитных вариаций.

Во время проведения магниторазведочных работ вблизи г.Тобольск Тюменской области осуществлена непрерывная запись вариации геомагнитного поля в течение 30 дней. Полученные вариограммы сопоставлены с записями магнитных вариаций ближайшей к месту съемки обсерватории Арти, осуществленными аналогичным прибором POS, установленным стационарно. Расстояние по прямой между двумя пунктами, где велась запись геомагнитного поля, составило 570 км. Периодичность измерений обоими магнитометрами составляла в разные дни от 3 до 6 секунд. На рис. 12 приводятся примеры сопоставления. Расхождение между значениями магнитного поля в разные дни составляет от нескольких единиц до десяти нТл.

Еще один эксперимент проведен на о.Парамушир (Курильские острова) при содействии МП «Электра» (г.Южно-Сахалинск). Датчики трех магнитометров были расположены в виде треугольника со сторонами от 1 до 2 км в области парогидротермальной и вулканической активности (Высокоутесный участок), на расстоянии около 5 км до берега Тихого океана. Выполнена синхронная запись вариации геомагнитного поля в течение 5 часов. Графики разностей показаний каждой пары датчиков и геомагнитного поля, записанного каждым из магнитометров, приведены на рис.13. Записи поля и разностей приведены в одном масштабе, и видно, что изменение разности показаний за время наблюдения является значительным, до 10-12

нТл, что может быть объяснено не только прибрежной зоной, но и отражением в магнитном поле процессов, происходящих в зем-

ной коре по причине геотермальной и вулканической активности.

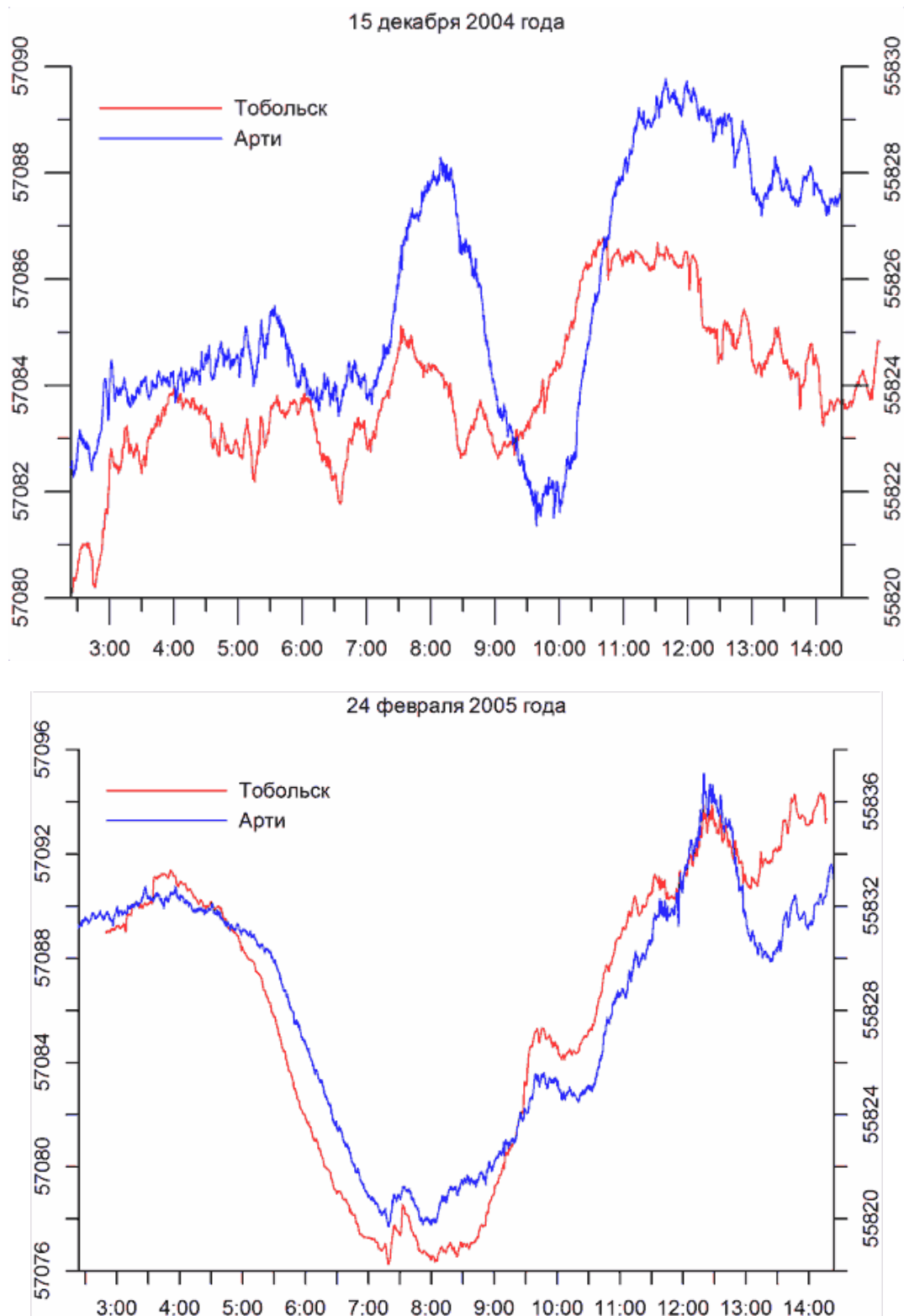


Рис. 12. Примеры сопоставления записей вариации геомагнитного поля в обсерватории Арти и около г.Тобольск. Синяя кривая - данные обсерватории Арти, красная - пункта Тобольск. Ось значений магнитного поля (вертикальная) левая соответствует кривой Тобольск, правая – данным Арти. Единицы измерения

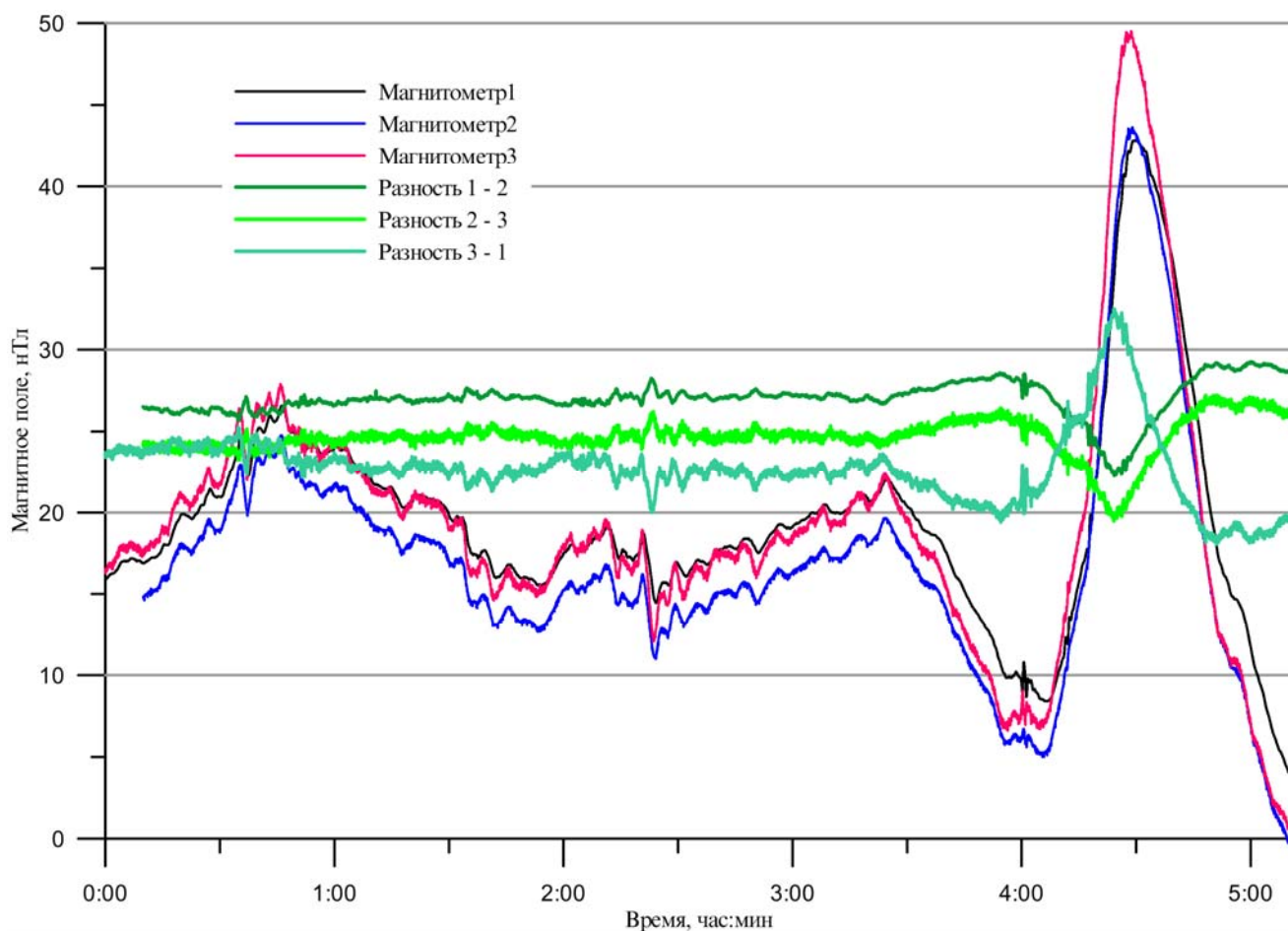


Рис. 13. Записи магнитного поля и попарные разности показаний трех датчиков магнитометров, установленных «треугольником» на расстоянии 1-2 км друг от друга в районе парогидротермальной активности, о.Парамушир.

Выводы

Повышение чувствительности магнитометров позволяет выявлять не принимавшиеся во внимание ранее эффекты, вызывающие изменение магнитного поля амплитудой до единицы нанотеслы. Их необходимо учитывать при осуществлении высокоточных магнитных измерений.

Результаты экспериментов по одновременному наблюдению вариаций геомагнитного поля несколькими магнитометрами позволяют сделать выводы:

- предел выявления указанными типами магнитометров особенностей изменения магнитного поля составляет не менее 0,05 нТл, это минимальная зарегистрированная «ширина» разностного сигнала;
- природа этого разностного сигнала может быть связана как с процессами, возни-

кающие в приборах, так и с отражением в магнитном поле реальных, но не контролируемых физических явлений, проходящих вблизи датчика. Эти явления сами могут быть объектами исследований;

- указанная точность достижима только с применением точной (1 мс) синхронизации моментов измерения магнитного поля и с исключением влияния на процесс измерения внешних факторов (температура и т.п.).

Магнитометры POS могут быть применены в экспериментах по получению отклика в магнитном поле при искусственном или естественном воздействии на геолого-геофизическую неоднородность среды (например, разлом, рудное тело, скважина). При этом следует учитывать приборный дрейф магнитометра а так же приповерхностные «микромагнитные» явления. Если предпола-

гается изучать кратковременные изменения магнитного поля, то точность их выявления может достигать 0.05 нТл, при условии учета этих явлений. При долговременных наблюдениях (месяцы, годы) технология эксперимента должна учитывать возможность дрейфа отдельных экземпляров приборов амплитудой до 1 нТл. При экспериментах по выявлению разностных магнитных сигналов на расстояниях в сотни километров следует учитывать неоднородность вариации геомагнитного поля.

Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю к.ф.-м.н. Ю.К.Доломанскому, а также заведующему лабораторией квантовой магнитометрии УрФУ к.ф.-м.н. В.А.Сапунову за ценные консультации.

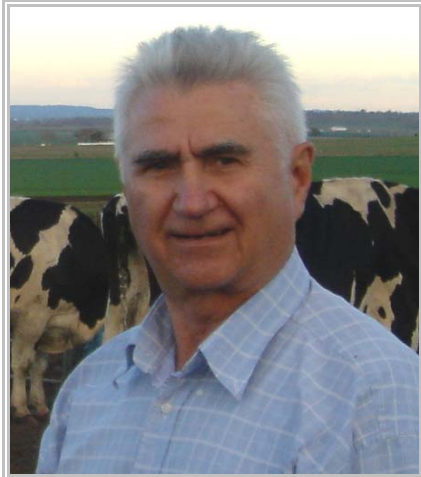
Литература

1. Булычев А.А., Горбунов А.А., Золотая Л.А., Лыгин И.В., Модин И.Н., Паленов А.Ю., Муравьев Л.А. Геофизическая разведка неразработанных боеприпасов. // Тезисы докладов второй международной научно-практической конференции «Инженерная геофизика» Гелленжик, 2006. С-Пб., 2006. С.53-55.
2. Гордин В.М. Очерки по истории геомагнитных измерений. М.:ИФЗ РАН, 2004. 162 с.
3. Доломанский Ю.К., Муравьев Л.А. Геомагнитный павильон обсерватории Арти. // 170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние. Материалы международного семинара. Екатеринбург, 2006. с. 70-71
4. Доломанский Ю.К. Зорин С.Э., Номерованный О.М. Требования к синхронности измерений квантовыми магнитометрами при регистрации разностных эффектов. // 4 Всесоюзный съезд по геомагнетизму. Тезисы докладов.ч.1. Владимир-Суздаль, 1991. с.176-177
5. Инструкция по магниторазведке. Наземная магнитная съемка. Аэромагнитная съемка. Гидромагнитная съемка. Л.: Недра. 1981. 264 с.
6. Караев А. П. Основы геоэлектрики. Л.: Недра, 1965. 587 с.
7. Муравьев Л.А. Сравнение метрологических характеристик пешеходных магнитометров POS и Geometrics // Современные проблемы геофизики. Седьмая Уральская молодежная школа по геофизике. Сборник материалов. Екатеринбург: УрО РАН. 2006. 94-98 с
8. Номерованный О.М., Пьянков В.А. Определение случайной погрешности магнитометров по методу «трех свидетелей». В кн.: теория и аппаратура для геомагнитных исследований. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1983. с 67-70\
9. Носкевич В.В., Федорова Н.В. Муравьев Л.А. Использование магнитометрии при изучении археологических памятников эпохи бронзы на Южном Урале. Геофизика №4, 2010 г СС. 69-75
10. Процессорный оверхаузеровский датчик POS-1 (ПОС-1) Руководство по эксплуатации. Лаб. КМ УГТУ. Екатеринбург, 2000. 41 с.
11. Ревякин П.С. Бродовой В.В. Ревякин Э.А. Высокоточная магниторазведка. М.: Недра. 1986. 272 с.
12. Ротштейн А.Я., Цирель В.С. Протонные магнитометры геомагнитометры. Основы устройства и область применения. М.: Госгеолотехиздат, 1963. 48 с.
13. Рыжков В.М., Степанов А.П. О возможности использования динамической поляризации ядер в ядерных магнитометрах // Геофизическое приборостроение. 1962. Вып.12. с.35-43.
14. Сапунов В.А., Савельев Д.В., Денисова О.В., Киселев С.Е., Денисов А.Ю., Сабанин А.А. Современные протонные оверхаузеровские магнитометры: возможности и перспективы в области геологоразведки// Геологической службе России 300 лет. Международная геофизическая конференция: Тез. докл. СПб, 2000. с.290-292.
15. Сапунов В.А. Денисов А.Ю. Савельев Д.В. Филатов А.И. Современные оверхаузеровские магнетометры. // «Современные методы и средства океанологических исследований». 4 международная научно-техническая конференция. Тезисы докладов. М., 1998 г.С.67
16. Файрузов Р., Пономарев В.В., Муравьев Л.А. Чифунгу Т., Перейра А. Проверка стабильности пешеходных оверхаузеровских магнитометров POS // // Научные статьи на сервере "Все о геологии" [Электрон. ресурс]. 2007. Режим доступа: <http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1178423>
17. В.К. Хмелевской и др. Геофизические методы исследований. Учебное пособие для геологических специальностей вузов. Петропавловск-Камчатский: изд-во КГПУ. 2004. 232 с.
18. Яновский Б.М. Земной магнетизм. Л., ЛГУ, 1978. 592 с
19. Denisov A., Denisova O., Sapunov V., Rasson J.L. Additional Measurement Algorithms in the Overhauser Magnetometer POS-1 // Xth IAGA Workshop on Geomagnetic Instruments, Data Acquisition and Processing: Abstracts. South Africa,

- Hermanus Magnetic Observatory, 2002. P.269-274.*
20. Denisova O., Sapunov V., Denisov A. *Effect of Variable Magnetic Fields on Measurements by Magnetometers Using Averaging Algorithms // XIth IAGA Workshop on Geomagnetic Observatory Instruments, Data Acquisition and Processing: Abstracts. Japan, Kakioka and Tsukuba, 2004. P. 92.*
 21. *G-858 magmapper, Operation Manual. San Jose, Geometrics, inc. 2001, 107 p*
 22. *Geophysical exploration instruments: Booklet // San Jose, USA, Geometrix, 1988. 148 p.*
 23. *Encyclopedia of Geomagnetism and Paleomagnetism. Gubbins D, Herrero-Bervera E. (Editors). Springer 2007, 1054 p*
 24. Hrvoich I. *Proton magnetometers for measurement of Earth's magnetic field // Workshop on Geomagnetic Observatory data acquisition and processing: Proc. Internat.- Finland, 1990. P.103-109.*
 25. Hrvoich I. Newitt L. *Instruments and Methodologies for Measurement of the Earth's Magnetic Field // Geomagnetic Observations and Models IAGA Special Sopron Book Series, 2011, Volume 5, PP. 105-126*
 26. Johnston, M. J. S. et al. *Precision of Geomagnetic Field Measurements in a Tectonically Active Region. // J. geomagn. geoelectr. 1984, V. 36, N. 3, P. 83-95.*
 27. Khomutov S.Y., Kusonsky O.A., Rasson J.L. et al. *The using of the absolute Overhauser magnetometers POS-1 in observatory practice: the results of the first 2.5 years // XI IAGA Workshop on Geomagnetic observatory instruments, data acquisition and processing: Book of abstracts. Kakioka, Japan, 2004.P.137*
 28. Overhauser A.W. *Dynamic nuclear polarization // Encyclopedia of Nuclear magnetic resonance edited by D.M. Grant, R.K. Harris. New York: Wiley, 1966. V.1. P.513-516.*
 29. Overhauser A.W. *Polarization of nuclei in metals // Phys. Rev. V.2. 1953. P.411-415.*
 30. Packard M., Varian R. *Free nuclear induction in the earth's magnetic field // Phys.Rev., 1954. V.93. P.941-945.*
 31. *Proton's gyromagnetic ratio. Table of world physical constants "2006 CODATA recommended values" [Electronic recourse]. 2007. Access mode: <http://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?gammap>.*
 32. *Scintrex SM-5 NAVMAG specifications. Canada, Scintrex. 2006. 2 p. [Electronic recourse]. 2007. Access mode: http://www.scintrexltd.com/documents/Scintrex_SM5BrochureNewSwoosh.pdf*
 33. Sapunov V., Denisov A., Denisova O. *Metrology of proton and Overhauser magnetometers // Contributions to Geophysics & Geodesy. 2000. V.30, N.2. P.149.*
 34. Stanley, J.M., Cattach, M.K. *Developing geophysical techniques for detecting unexploded ordnance. First Break, vol.22, september 2004, p.55-61.*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И МОНИТОРИНГ ПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

ASSESSMENT AND MONITORING OF THE AGRICULTURAL LAND PRODUCTIVITY



Нагорный В.Д. / Nagorny V.D.

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия Аграрного факультета Российского университета дружбы народов / Doctor of Agricultural Sciences, professor of chair "Agriculture" Agricultural Faculty of the Russian University of Peoples' Friendship.

e-mail: nagvic@yandex.ru

Аннотация. Определение естественной продуктивности земель и постоянный мониторинг их использования требуют качественно нового технического обеспечения и использования более совершенных методов оперативной оценки состояния земель, определения качества растительного покрова и урожайности выращиваемых культур. В статье рассмотрены различные подходы к решению данной проблемы.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ), топографическое, почвенное и агрохимическое картирование, региональные

центры дистанционного мониторинга (РЦДМ), земельные и водные ресурсы, окружающая среда.

Abstract. Determination of the soil productivity and regular monitoring of the Land require modern equipment, software and use of new sophisticated methods of effective evaluation of land, plant cover and assessment of crop yields. Different approaches in solving these problems have been considered.

Keywords: remote land evaluation, topography, soil fertility mapping, regional center of land monitoring, water and land resources, environment.

Сельскохозяйственное производство в большинстве регионов является основной отраслью местной экономики, предопределяющей экономический потенциал региона, занятость большей части населения и уровень его жизни. Эта сфера производства оказывает большое влияние не только на экономику, но и на всю окружающую природу. По всем этим показателям с этой отраслью может соперничать только горнодобывающая и нефтяная отрасли.

Забота о природных ресурсах и рациональном их использовании требует постоянного мониторинга всех территорий, где осу-

ществляется тот или иной вид хозяйственной деятельности человека. Комплексная оценка земельных и водных ресурсов может распространяться не только на используемые и потенциально пригодные для сельскохозяйственного производства территории, но и на вновь осваиваемые районы, и места, где осуществлялась добыча и переработка природных ископаемых и возникает необходимость в реабилитации нарушенных земель.

Экстенсивный характер использования сельскохозяйственных земель, получивший распространение во многих регионах России в последние двадцать лет, часто приводит к де-

градации почв, развитию эрозионных процессов, а в некоторых местах и к наступлению пустыни. Ярким примером такого явления является развитие опустынивания в некоторых районах Астраханской и Волгоградской области, в республиках Калмыкия, Дагестан и Хакассия, где на месте ранее продуктивных естественных пастбищ возникли полупустыни, подверженные ветровой и водной эрозии.

Другим примером иррационального использования земель и водных ресурсов являются опустыненные засоленные земли в районах орошаемого земледелия в Казахстане, Узбекистане, в странах Ближнего и Среднего Востока, в Северной Африке и других местах. В результате длительного и бесконтрольного орошения высоко минерализованными водами и при отсутствии надлежащего дренажа миллионы некогда плодородных земель превращены в бесплодные засоленные земли.

Полная инвентаризация земель, находящихся в пользовании, и выявление земель, пригодных для сельскохозяйственного производства, комплексная оценка почвенного и растительного покрова, оценка гидрологических условий и постоянный мониторинг природопользования на больших территориях в настоящее время невозможны без применения новых технических средств. К таковым в настоящее время относят специальные космические спутники и воздушные летательные аппараты, позволяющие дистанционно зондировать (обследовать) в периодическом режиме с разной частотой огромные территории и небольшие участки Земли [2, 3].

Методы дистанционного зондирования (ДЗЗ) в настоящее время широко используются в агропромышленном комплексе многих стран мира (США, Канада, страны Евросоюза, Индия, Япония и др.). Наиболее известным примером действующих систем сельскохозяйственного мониторинга можно отнести проекты MODIS и MARS (The Monitoring of Agriculture with Remote Sensing), реализуемые Объединенным исследовательским центром Еврокомиссии по мониторингу сельскохозяйственных земель. Используемые этим центром технические средства (космические спутники) и соответствующее программное обеспечение позволяют определять площади

земель и посевов, состояние растений и урожайность сельскохозяйственных культур [5, 9]. Причем это может быть сделано как на уровне отдельных стран или даже группы стран, так и на уровне отдельного района или даже отдельной фермы. Результаты ДЗЗ используются для прогноза урожаев различных культур и потенциальной степени наполнения рынка. Все это позволяет вырабатывать меры по стабилизации уровня доходности сельскохозяйственных производителей через применения гибкой системы цен, квот и экспортно-импортных отношений, корректировать налоговую политику.

В России пока еще только разрабатывается подобная Национальная Космическая система ДЗЗ для мониторинга земель сельскохозяйственного назначения. Эта работа ведется в рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (2008-2012 гг.) [1, 2].

Первый опыт применения ДДЗ показал, что для успешного мониторинга охраны природных ресурсов и надлежащего их использования в масштабе крупных административных и географических регионов необходимо иметь региональные сети станций приема космической информации. Должен быть обеспечен доступ к оперативной и архивной аэрокосмической информации, к существующей картографической и статистической информации по окружающей среде, физическим и химическим свойствам почв. Кроме того, необходимо владеть специфическими методами дешифрирования получаемой спутниковой информации и иметь соответствующие знания для обобщения накопленной информации и выработки рекомендаций для пользователей. Ясно, что удовлетворять таким требованиям могут только специализированные технически оснащенные предприятия, каких в Российской Федерации пока единицы. Именно технически оснащенные центры, имеющие соответствующий интеллектуальный потенциал способны организовать и осуществлять систематическое дистанционное зондирование Земли для решения таких масштабных задач, как:

- спутниковая радиолокация Земли для целей геологоразведки на суше и морском шельфе,
- мониторинг Земли в целях предотвращения чрезвычайных ситуаций и устранения их последствий,
- топографическое картирование для прокладки различных коммуникационных сетей,
- картографирование (в т.ч. в формате 3D) по заказу административных управлений,
- картографирование земной поверхности.

В интересах сельскохозяйственного производства дистанционным зондированием могут решаться следующие задачи:

- обеспечение текущего контроля состояния посевов сельскохозяйственных культур;
- раннее прогнозирование урожайности сельскохозяйственных культур;
- мониторинг темпов уборки урожая одновременно по территориям крупных регионов;
- определения емкости пастбищ различных типов и продуктивности сенокосов; и др.

Использование спутниковой информации по ДДЗ позволяет получать актуальную, полную и достоверную информацию о состоянии природной среды, о хозяйственной деятельности человека одновременно на обширных территориях. Однако пока еще не все предлагаемые методы ДДЗ получили признание. Но некоторые методы ДДЗ, используемые для оценки уровня минерального питания выращиваемых культур и их продуктивности, такие как: APOND (Air-born Plant Nutrition Differentiation – дифференциация питания растений по воздушным снимкам), и NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный индекс вегетации растений) находят все большее применение [4, 5].

APOND – это метод оценки уровня минерального питания растений и обеспеченности их водой на основе визуального или фотографического выявления разницы в цветовых оттенках растений [5]. Внешний вид растений и их масса хорошо отражают уровень обеспеченности их элементами минерального питания и водой и зависят от физи-

ческих и химических свойств почв. Все признаки хорошего и плохого состояния растений хорошо известны агрономам. Непосредственная визуальная оценка состояния растений в поле не всегда позволяет объективно оценить выравненность условий роста растений на большой площади. Напротив, аэрофотографическая съемка помогает точно определить состояние растений на большом пространстве поля, и четко определить границы участков, на которых растения имеют другую окраску и плохо развиваются. Такие снимки позволяют сосредоточить внимание на оценке условий роста растений на отдельных участках и соответствующим образом скорректировать программу работы по технологии так называемого «точного земледелия».

Но при этом надо учитывать, что ДДЗ – это высокоспециализированная услуга, доступная далеко не каждому разработчику недр и землепользователю, так как осуществляется с использованием сложного дорогостоящего оборудования и большей частью с привлечением услуг иностранных владельцев спутниковых аппаратов. Кроме того пока еще не накоплено достаточной информации для разработки методов дешифрования получаемых снимков земной поверхности, позволяющих с большой достоверностью определять качество почв и границы почвенных разностей, проводить диагностику состояния растений, выявлять причины снижения их продуктивности.

NDVI – это метод ДДЗ, позволяющий более достоверно и быстро определять уровень минерального питания, обеспеченности водой и темп формирования биомассы растений. В этом методе используются оптические генераторы, облучающие растения видимым светом и ближним ИК-спектром, и детекторы, регистрирующие отражение зеленого и ближнего инфракрасного спектров. Голубой и красный спектры дневного света поглощаются хлорофиллом, а зеленый и ближний инфракрасный спектры отражаются зеленой массой растений. Разница между поглощенным и отраженным спектрами, зарегистрированная детекторами позволяет оценить количество и качество зеленой массы. Хлоротичные, подверженные водному стрессу листья поглощают меньше фотосинтетически активной радиации (ФАР), чем здоровые и интенсивно

развивающиеся растения. Различная степень поглощения и отражения световой энергии и ИК-спектра позволяет одновременно определить несколько важных показателей, определяющих реальное состояние растений. В зависимости от технической (оптической) оснащенности спутников можно определить до 160 различных вегетационных индексов [5, 8]. Однако практическое применение нашли 27 вегетационных индексов, основными из которых являются индексы первой группы, определяемые по степени поглощения и отражения широких полос света в ближней инфракрасной области спектра:

- NDVI - Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный разностный индекс вегетации растений $[NDVI=(K_{nir}-K_{red})/(K_{nir}+K_{red})]$, где K – коэффициенты отражения];
- Simple Ratio Index(SRI) - простое отношение ИК-спектра к красному $[SRI=K_{nir}/K_{red}]$;
- Enhanced Vegetation Index (EVI)- усовершенствованный вегетационный индекс $[EVI=2.5*(K_{nir}-K_{red})/(K_{nir}+6K_{red}-7.5K_{blue}+1)]$;
- Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) – атмосферно устойчивый вегетационный индекс $[ARVI=(K_{nir}-2K_{red})/(K_{nir}+(2K_{red}-K_{blue}))]$;
- Sum Green Index (SGI) – суммарный индекс «зелености»
- $[SGI=(K_{nir}-K_{red})/(K_{nir}+K_{red}-K_{blue})]$.

Индексы этой группы отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния при решении широкого круга задач. Они суммируют и отражают обобщенные параметры таких показателей, как содержание хлорофилла, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структура растительного покрова. Вегетационные индексы этой группы хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации (ФАР) и индексом листовой поверхности (ИЛП). Эти индексы можно определить, используя мультиспектральные аэрокосмические аппараты, у которых есть спектральные каналы в красной (0,60 - 0,75 мкм) и ближней инфракрасной (0,75 - 1,3 мкм) зонах и кото-

рые способны передавать снимки высокого и среднего разрешения [7, 8].

Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и непокрытых растительностью, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности.

Индекс «зелености» можно определить по одной из 6 предложенных формул, в которых учитывается степень поглощения узких полос видимого свете, в частности:

- Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) – нормализованный разностный индекс вегетации растений, определяемый по узким красным спектрам (705 и 750 мкм) $[NDVI_{705}=(K_{750}-K_{705})/(K_{750}+K_{705})]$;
- Modified Red Edge Simple Ratio Index (MRESRI) - модифицированный индекс отношений узких красных спектров поглощения 445, 705 и 750 мкм $[MRESRI=(K_{750}-K_{445})/(K_{750}+K_{445})]$.
- Modified Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (MRENDVI) – модифицированный нормализованный разностный индекс вегетации растений, определяемый по поглощению световой энергии волн 445, 705 и 750 мкм $[MRENDVI_{705}=(K_{750}-K_{705})/(K_{750}+K_{705}-K_{445})]$;
- Vogelmann Red Edge Index 1(VOG1) – индекс Вогельмана 1 для поглощения волн 740 и 720 мкм $[VOG1=K_{740}/K_{720}]$;
- Vogelmann Red Edge Index 2 (VOG2) - индекс Вогельмана 2 для поглощения волн 715, 726, 734 и 747 мкм $[VOG2=(K_{734}-K_{747})/(K_{715}+K_{726})]$;
- Vogelmann Red Edge Index 3 (VOG3) – индекс Вогельмана 3 для поглощения волн 715, 720, 734 и 747 мкм $[VOG3=(K_{734}-K_{747})/(K_{715}+K_{720})]$.

Индексы этой группы также дают представление об общем количестве и состоянии растительности на поверхности земли. Отличие в том, что для расчетов этих индексов учитывается степень отражения световых волн на участке спектра от 0,690 до 0,750 мкм, т. е. рассматривается область ближнего

инфракрасного склона спектральной кривой растительности (red edge) [11].

Использование значений коэффициентов отражения в узких спектральных зонах позволяет с помощью индексов фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности. Расчет индексов возможен только по гиперспектральным аэрокосмическим снимкам.

Эффективность использования световой энергии определяется по таким индексам как:

- Photochemical Reflectance Index (PRI) - индекс фотохимического отражения волн 531 и 570 мкм [$PRI = (K_{531} - K_{570}) / (K_{531} + K_{570})$].
- Structure Insensitive Pigment Index (SIPI) – индекс поглощения основными пигментными структурами для волн 445, 680 и 800 мкм [$SIPI = (K_{800} - K_{445}) / (K_{800} + K_{680})$].
- Red Green Index (RGI) – отношение поглощений зеленого и красного света [$RGI = K_{green} / K_{red}$].

Индексы этой группы отражают эффективность, с которой растительность способна использовать поступающий свет для фотосинтеза. Они хорошо коррелируют с эффективностью поглощения фотосинтетически активной радиации, с усвоением углерода и с активностью роста.

Вегетационные индексы учитывают соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света. Индексы помогают оценить рост и продуктивность растений, что актуально при решении сельскохозяйственных задач.

Следующая группа расчетных индексов позволяет судить о поглощении азота и синтезе основных органических веществ в растениях:

- Conopy Nitrogen или Normalized Difference Nitrogen Index (NDNI) - нормализованный разностный азотный индекс растений, определяемый как отношение логарифмов разности и суммы обратных коэффициентов отражения волн среднего диапазона инфракрасного спектра 1510 и 1680 мкм [$NDNI = ((\log(1/K_{1510}) - \log(1/K_{1680})) / ((\log(1/1510) + \log(1/1680))))$].

Этот индекс отражает содержание азота в растительном покрове.

- Normalized Difference Lignin Index (NDLI) – нормализованный разностный индекс содержания лигнина, который также определяется как отношение логарифмов разности и суммы обратных коэффициентов отражения, но уже других волн – 1680 и 1754 мкм [$NDLI = ((\log(1/K_{1754}) - \log(1/K_{1680})) / ((\log(1/1754) + \log(1/1680))))$].
- Cellulose Absorption Index (CAI) – индекс абсорбции света дальнего диапазона инфракрасного света целлюлозой 2000 и 2100 мкм [$CAI = 0.5(K_{2000} + K_{2200}) - K_{2100}$].
- Plant Senescence Reflectance Index (PSRI) – индекс отражения света среднего инфракрасного диапазона связанным («огрубевшим») углеродом растений 500, 680 и 750 мкм [$PSRI = (K_{680} - K_{500}) / K_{750}$]. Эти индексы позволяют учесть общее количество «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы [8, 10]. Такой углерод в больших количествах присутствует в древесине и в мертвых или сухих растительных тканях. Увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» и отмирания растений.

Содержание каротиноидов и антоцианов можно определять по коэффициентам отражения соответствующих волн зеленого и красного спектра:

- Carotenoid Reflectance Index 1 (CRI1) – индекс 1 отражения узкого спектра волн зеленого спектра 510 и 550 мкм [$CRI1 = (1/K_{510}) - (1 - K_{550})$].
- Carotenoid Reflectance Index 2 (CRI2) – индекс 2 отражения волн 510 и 700 мкм [$CRI2 = (1/K_{510}) - (1 - K_{700})$].
- Anthocyanin Reflectance Index 1 (ARI1) – индекс 1 отражения узкого спектра зеленого и красного спектров 550 и 700 мкм [$ARI1 = (1/K_{550}) - (1/K_{700})$].
- Anthocyanin Reflectance Index 2 (ARI2) – индекс 2 отражения тех же волн с поправкой на отражение волны ближнего инфракрасного диапазона 800 мкм [$ARI2 = K_{800}((1/K_{550}) - (1/K_{700}))$].

Расчетные индексы этой группы позволяют выявить стрессовое состояние растений,

так как именно при стрессовом состоянии содержание пигментов может меняться в значительных пределах. Влияние хлорофилла на определяемые индексы не сказывается, так как оно измеряется с использованием индексов «зелености» [5, 8]. Мониторинг поглощения узких спектральных зон позволяет выявить стрессовое состояние растительности еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом». Это весьма существенно для упреждения развития необратимых отрицательных процессов в самом растении.

Контроль обеспеченности растений водой может быть осуществлен на основании следующих индексов:

- Water Band Index (WBI) – индекс обеспеченности водой, определяемый по поглощению узких полос ближнего инфракрасного спектра 900 и 970 мкм [$WBI=K_{900}/K_{970}$].
- Normalized Difference Water Index (NDWI) - нормализованный разностный водный индекс определяется как отношение разности и суммы коэффициентов поглощения волн 837 и 1241 мкм [$NDWI=(K_{837}-K_{1241})/(K_{837}+K_{1241})$].
- Moisture Stress Index (MSI) – индекс водного стресса определяется как отношение коэффициентов поглощения волн инфракрасного спектра 1599 и 819 мкм [$MSI=K_{1599}/K_{819}$].
- Normalized Difference Infrared Index (NDII) – нормализованный разностный индекс поглощения инфракрасного спектра определяется как отношение разности коэффициентов поглощения волн 819 и 1649 мкм к их сумме [$NDII(K_{819}-K_{1649})/(K_{819}+K_{1649})$].

Перечисленные в этой группе индексы разработаны для оценки содержания влаги в растительном покрове. Для их расчетов используется ближний и средний инфракрасный диапазоны. Индекс PSRI широко применяются для оценки пожароопасности на выделенных территориях [8].

Каждая из перечисленных групп индексов предназначена для оценки одного из свойств растительного покрова. Для конкретных природных условий и различных задач одни индексы из группы могут дать более

точные результаты, чем другие. Все индексы рассчитываются по эмпирическим формулам, которые не всегда могут полно отражать реальную ситуацию на конкретном участке. Определяемые коэффициенты светопоглощения могут изменяться как от вида культуры, плотности стояния растений, так и от фаз развития растений и от растительного ценоза в целом. Поэтому применительно к конкретным условиям все коэффициенты должны корректироваться на основе наблюдений и анализов в полевых опытах.

Сравнивая результаты расчетов индексов с полевыми данными, можно выбрать индекс, максимально точно отражающий исследуемое свойство, существенно повышая точность результатов при последующей обработке.

Космическое ДЗЗ предоставляет исследователям и практикам в области сельскохозяйственного производства широкие возможности для оперативного мониторинга состояния растений и принятия срочных мер по корректировке условий их роста. Свидетельством этому являются перечисленные выше индексы, характеризующие состояние растений. Однако, космическое ДЗЗ имеет ряд существенных недостатков. Самым важным из них является высокая стоимость услуг, оплата которых посильна кредитоспособным отраслям экономики (геологоразведка, добыча нефти и газа, строительство и прокладка энергетических коммуникаций), а нынешнее сельское хозяйство России не обладает, и в ближайшем будущем не будет способным оплачивать такие услуги, хотя очень нуждается в них. Другим недостатком является ограниченная сеть станций ДЗЗ, географическая удаленность их от пользователей такими услугами и большая зависимость предоставления оперативной информации от погодных условий. Облачное небо может перечеркнуть все начатую работу по оперативному контролю состояния растений на полях. В течение одной пасмурной недели могут произойти такие изменения на полях, последствия которых уже будет невозможно компенсировать никакими агротехническими мероприятиями. К таким явлениям относятся «зеленый пожар» и переувлажнение, поражение растений бо-

лезнями и вредителями, масштабное проявление эрозии почв.

Перечисленные недостатки спутникового ДЗЗ устраняются применением легких летательных аппаратов и мобильными отрядами специалистов. Применяя такие летательные аппараты как дельтапланы, парапланы, беспилотные летательные аппараты, гелиевые шары можно оперативно получать аэроснимки и осуществлять оптическое ДЗЗ небольших по площади землепользований, вплоть до усадебных территорий, обслуживать которые региональные центры космической информации воздерживаются. При этом получают снимки с большей четкостью, а спектры поглощения световой энергии регистрируются более уверенно. При обработке получаемой информации используется тот же программный комплекс ENVI, позволяющий рассчитывать до 27 вегетационных индексов, используемых для оценки состояния растительности, содержания пигментов, азота, углерода, воды. По снимкам, где есть только красная и ближняя инфракрасная спектральные зоны, программа предложит рассчитать два индекса – NDVI и RVI. При работе с гиперспектральными оптическими генераторами и детекторами можно рассчитать все 27 индексов.

Оптическое ДЗЗ с помощью малых летательных аппаратов можно осуществлять при любой облачности неба, исключая дождь, грозу и сильные порыва ветра (более 10 м/сек.).

Опыт применения малых летательных аппаратов позволяет Научно-образовательному центру Российского университета дружбы народов оперативно откликаться на запросы малых землепользователей по ДЗЗ их территорий и оперативной оценке агрохимических свойств почв и уровней минерального питания. Детальное полевое обследование почв, растительного покрова и одновременное определение вегетационных индексов дают хороший материал для выработки более надежных диагностических критериев, которые найдут применение в последующей масштабной работе по оптическому ДЗЗ.

Научно-образовательный центр Российского университета дружбы народов

«Центр мониторинга использования и оценки земельных ресурсов и объектов окружающей среды», располагающий самым современным аналитическим оборудованием, успешно выполняет следующие работы:

- Получение с помощью малых летательных аппаратов точных крупномасштабных карт землепользования. При этом не исключается возможность использования услуг региональных центров космической информации. Это
- Уточнение генезиса почв.
- Определение границ основных почв и почвенных разностей с точным ГЛОНАСС/GPS позиционированием.
- Определение актуального плодородия почв и грунтов по таким показателям как: гранулометрический состав, реакция среды, емкость поглощения, степень насыщенности основаниями, содержание воднорастворимых солей, гумуса, доступных форм азота, фосфора, калия, магния, серы, бора, меди, цинка и других элементов. Классификация территорий по свойствам почв и растительного покрова и степени пригодности для ведения сельскохозяйственного производства или иного вида пользования.
- Получение геопространственных данных для кадастровой оценки и учета используемых земель.
- Оценка гидрологических условий и планирование использования водных ресурсов.
- Анализ и оценка используемых систем землепользования.
- Определение специализации сельскохозяйственного производства.
- Выделение земель, нарушенных хозяйственной деятельностью и нуждающиеся в реабилитации.
- Топографическое картирование.
- Осуществление постоянного мониторинга состояния и целевого использования земельных и растительных ресурсов.
- Разработка рациональных способов земледелания с учетом почвенно-экологических характеристик конкретных территорий.

Комплексная оценка свойств почв и растительного покрова, мониторинг процессов производится на стационарных точках, что позволят более продуктивно использовать результаты дистанционного зондирования земли и полевых исследований объектов окружающей среды.

Конечной целью всей работы являются производство по запросу землепользователей электронных почвенных, топографических и других тематических карт на обследованных территориях, кадастровая оценка земель и выработка рекомендаций по использованию земель и водных ресурсов.

Литература

1. Антонов В.Н., Сладких Л.А. Мониторинг состояния посевов и прогнозирование урожайности яровой пшеницы по данным ДЗЗ. *Геоматика* №3. 2009.
2. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. *Космические системы дистанционного зондирования Земли*. - М.: Издательство А и Б, 2003. - 296 с.
3. Кравцова В.И. *Космические методы исследования почв*. М.: Аспект Пресс, 2005. 190 с.
4. А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина. *Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы*. *Геоматика* №3. 2009.
5. Evrendilek Fatih, Onder Gulbeyaz. *Deriving Vegetation Dynamics of Natural Terrestrial Ecosystems from MODIS NDVI/EVI Data over Turkey*, www.mdpi.org/sensors
6. Muchoney D., Borak J., Chi, J., Friedl M., Gopal S., Hpdges J., Mjrrrow, N., and Strahler A., 2000, *Application of the MODIS global supervised classification model for vegetation and land cover mapping of Central America*. *International. Journal of Remote Sensing*, 21, 1115–1138.
7. Nagendra, H., 2001, *Using remote sensing to assess biodiversity*. *International. Journal of Remote Sensing*, 22, 2377–2400.
8. NDVI – теория и практика. <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>.
9. Tucker, C.J. (1979) 'Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation', *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
10. Tucker, C. J., Holben, B. N., Elgin, J. H., and McMurtrey (1981), *Remote sensing of total dry matter accumulation in winter wheat*, *Remote Sens. Environ.*, 11:171.
11. Walter-Shea, E. A., Privette, J. L., Cornell, D., Mesarch, M. A., and Hays, C. J. (1997), *Relations between spectral vegetation indices and leaf area and absorbed radiation in alfalfa*, *Remote Sens. Environ.*, 61:162-177.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ОРТОФОТОПЛАНОВ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

IMPROVEMENT TECHNOLOGY OF CREATION ORTOPHOTOPLANS OF LINEAR OBJECTS



Варварина Е.А. / Varvarina E.A.

ассистент кафедры аэрофотогеодезии Государственного Университета по Землеустройству, ведущий специалист отдела развития ОАО «ОПИН» / assistant to chair airphoto-geodesy, State University Of Land Use Planning, The leading expert of department of development OPIN

e-mail: varvarinakatya@rambler.ru



Гаврилова Л.А. / Gavrilova L.A.

кандидат технических наук, доцент кафедры аэрофотогеодезии Государственного Университета по Землеустройству / Ph.D., the senior lecturer of chair airphotogeodesy, State University Of Land Use Planning

e-mail: wernjer@gmail.com

Аннотация. В работе рассмотрена технологическая схема создания ортофотоплана на линейный объект и предложено ее совершенствование на стадии планово-высотной привязки. Также представлено описание экспериментальных работ по уравниванию сети фототриангуляции с использованием координат центров фотографирования и различного числа наземных опорных точек.

Ключевые слова: Фотограмметрия, ортофотоплан, ортофототрансформирование, фототриангуляция, использование координат центров фотографирования, планово-высотная привязка, внешнее ориентирование фотограмметрической модели, линейные объекты.

Abstract. In work the technological scheme of creation ortophotoplans on linear object is considered and its perfection at a stage of an according to plan-high-rise binding is offered. Also the description of experimental works on equalizing of a network of a phototriangulation with use of coordinates of the centers of photographing and various number of land reference points is presented.

Keywords: Photogrammetry, ortofotoplan, ortophototransformation, a photo triangulation, use of coordinates of the centers of photographing, an according to plan-high-rise binding, external orientation photogrammetric models, linear objects.

В настоящее время в связи с широким внедрением в картографическое производство цифровых технологий планово-картографической основой для создания топографических, земельно-кадастровых и других картографических документов являются ортофотопланы. Технология создания орто-

фотоплана включает этап планово-высотной привязки снимков. Альтернативой планово-высотной подготовки снимков может являться использование координат центров фотографирования (КЦФ), получаемых с помощью спутникового GPS-приемника, установленного на борту летательного аппарата.

В данной работе рассмотрены особенности технологии создания ортофотопланов линейных объектов по материалам одномаршрутной аэрофотосъемки.

Суть экспериментальных работ заключалась в анализе уравнивания сети фототриангуляции с использованием координат центров фотогафрирования.

На ЦФС «ТАЛКА» были выполнены работы по развитию одномаршрутной фототриангуляции, на территорию автодороги по трассе Володарск-Дзержинск Дзержинского района Нижегородской области. Маршрут включал 20 снимков. Аэрофотосъемка была выполнена камерой LMK с фокусным рас-

стоянием 305,170 мм. Масштаб снимков 1/12 000. Также на борту самолета был установлен GPS-приемник, с помощью которого были определены КЦФ каждого снимка. Координаты 4 опорных точек определены GPS-приемником JAVAD с точностью 0,02 м. Схема расположения опорных точек представлена на рисунке 2.

Аэрофотоснимки были сканированы с линейным разрешением 12 мкм на фотограмметрическом сканере DeltaScan-10. Внутреннее ориентирование было выполнено с точностью 6 мкм, что составляет половину величины пикселя сканирования.

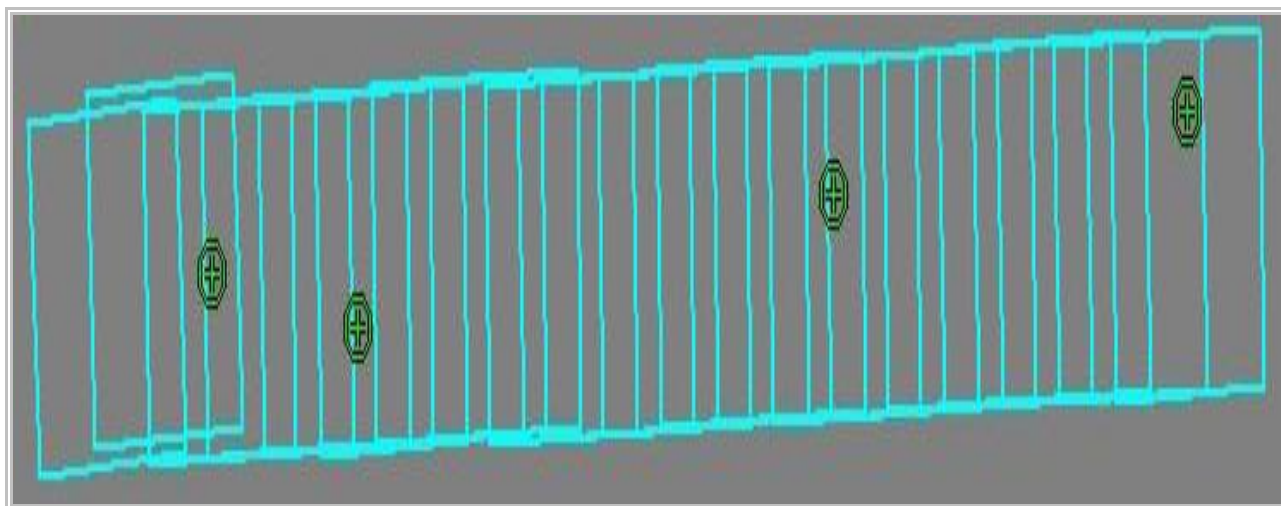


Рис.2.

Развитие фототриангуляции в ЦФС «Талка» производится способом независимых моделей. Точность взаимного ориентирования каждой стереопары не превышает 12 мкм, что соответствует удвоенной точности внутреннего ориентирования. Поскольку при проведении АФС с определением КЦФ из семи элементов внешнего ориентирования единой фотограмметрической модели возможно определить линейные элементы, продольный

$$\begin{aligned} X^r &= X_o^r + (a_1 X^M + a_2 Y^M + a_3 Z^M) t; \\ Y^r &= Y_o^r + (b_1 X^M + b_2 Y^M + b_3 Z^M) t; \\ Z^r &= Z_o^r + (c_1 X^M + c_2 Y^M + c_3 Z^M) t, \end{aligned} \quad (1)$$

На изложенном выше предположении и был построен эксперимент.

угол наклона модели, угол ее разворота и масштабный коэффициент. Таким образом, наземные опорные точки необходимы для определения поперечного угла наклона модели. Так как одна опорная точка дает три уравнения связи геодезических и фотограмметрических координат вида (1), то одной опорной точки достаточно для нахождения поперечного угла наклона маршрута с оценкой точности.

Эксперимент состоял в построении маршрутной фототриангуляции с использованием одной опорной точки и КЦФ всех снимков маршрута. Контроль построенной фототриангуляционной сети осуществлен по 30 контрольным точкам, равномерно распределенным по всему маршруту. Далее в таблицах приведены результаты эксперимента. Каждая таблица включает в себя исходные координаты

ты контрольных точек, координаты этих точек при уравнивании фототриангуляции с использованием КЦФ и одной опорной точки (рассмотрено 4 варианта выбора опорной точки) и расхождения координат. Также по ре-

зультатам эксперимента была составлена сводная таблица максимальных отклонений и СКП по каждому варианту эксперимента (табл.1) на опорных и контрольных точках.

Таблица 1.

Точки	СКП			Максимальное отклонение		
	М _X , м	М _Y , м	М _Z , м	Max ΔX, м	Max ΔY, м	Max ΔZ, м
Опорные точки				0,51	0,45	1,2
Контрольные точки	0,49	0,44	0,90	0,75	0,75	1,96

Предварительно была составлена таблица точностей для планов различных масштабов и допустимых погрешностей по определению плановых и высотных координат опорных и контрольных точек в этих масштабах (таблица 2). По инструкции по фотограмметрическим работам для создания цифровых карт и планов остаточные расхождения в плановых координатах опорных точек должны быть не более (2):

$$M_{xy} = 0,2\text{мм} \cdot M_{\text{созд}}, \quad (2)$$

где $M_{\text{созд}}$ - знаменатель масштаба создаваемого плана.

Остаточные расхождения в высотных координатах опорных точек должны быть не более:

$$M_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,3\text{мм} \cdot f \cdot M_{\text{созд}}}{r}, \quad (3)$$

где $M_{\text{созд}}$ - знаменатель масштаба создаваемого плана, r – расстояние от точки надира до угла рабочей площади снимка, f - фокусное расстояние АФА.

Для контрольных точек СКП определения плановых координат должна быть не более:

$$M_{xy} = 0,3\text{мм} \cdot M_{\text{созд}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{созд}}$ - знаменатель масштаба создаваемого плана.

СКП определения высотных координат контрольных точек должна быть не более:

$$M_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,3\text{мм} \cdot f \cdot M_{\text{созд}}}{r} * 1,5, \quad (5)$$

где $M_{\text{созд}}$ - знаменатель масштаба создаваемого плана, r - расстояние от точки надира до самой удаленной точки снимка, f - фокусное расстояние АФА

Таблица 2

Знаменатель масштаба плана	Опорные точки		Контрольные точки	
	М _{XY} , м	М _Z , м	М _{XY} , м	М _Z , м
1000	0,20	0,50	0,30	1,50
2000	0,40	0,8	0,60	1,5
2500	0,50	1,40	0,75	2,10
5000	1,00	2,80	1,50	4,20
10000	2,00	5,50	3,00	8,25

Проанализировав данные, приведенные в табл. 2 и 1, можно сделать вывод о том, какому крупнейшему масштабу создаваемого плана соответствует развитая фототриангуляция. Очевидно, что в случае уравнивания фототриангуляции с использованием КЦФ и одной опорной точки, точность будет соответствовать масштабу 1/2500 и мельче. При этом

не имеет значения, как относительно оси маршрута и относительно центра тяжести маршрута будет располагаться наземная опорная точка. Также в данной работе рассмотрим вариант уравнивания фототриангуляции с использованием КЦФ и двух опорных точек, предполагая, что точность фототриангуляции увеличится. По результатам экспе-

римента была составлена сводная таблица максимальных отклонений и СКП по каждому

варианту эксперимента (табл. 3) на опорных и контрольных точках.

Таблица 3

	СКП			Максимальное отклонение		
	М _X , м	М _Y , м	М _Z , м	MaxΔX, м	MaxΔY, м	MaxΔZ, м
Опорные точки				0,036	0,123	0,067
Контрольные точки	0,286	0,314	1,043	0,610	0,605	1,664

СКП, вычисленные для контрольных точек, не превосходят допустимых значений при создании ортофотопланов масштаба 1/2000 (табл.2). Результаты проведенных экспериментов позволяют сделать следующие выводы:

- при построении ортофотопланов на линейные объекты аэрофотосъемку целесообразно проводить с определением координат центров фотографирования;

- внешнее ориентирование фототриангуляционной сети с определенными в полете координатами центров фотографирования, но без наземных опорных точек производить не представляется возможным;

- уравнивание фототриангуляционной сети с использованием координат центров фотографирования и одной опорной точки позволяет создавать ортофотопланы масштаба 1 / 2500 и мельче по снимкам, полученным в масштабе 1: 12 000 с указанными выше параметрами (фокусное расстояние и апертура сканирования). При этом расположение опорной точки относительно центра тяжести маршрута и относительно оси маршрута не имеет значения;

- уравнивание фототриангуляционной сети с использованием координат центров фотографирования и двух опорных точек позволяет создавать ортофотопланы масштаба 1 / 2000 и мельче по снимкам, полученным в масштабе 1: 12 000 с указанными выше параметрами (фокусное расстояние и апертура сканирования). Взаимное расположение

опорных точек, а также их положение относительно центра тяжести маршрута и относительно оси маршрута не имеет значения;

- проложение оси маршрута вдоль оси линейного объекта позволит создавать ортофотопланы более крупного масштаба

$$M_z = \frac{1}{2} \cdot \frac{0,3\text{мм} \cdot f \cdot M_{\text{созд}}}{r},$$

где $M_{\text{созд}}$ - знаменатель масштаба создаваемого плана; r – расстояние от точки надира до угла рабочей площади снимка, f – фокусное расстояние АФА.

В этом случае размер рабочей площади снимка может быть уменьшен, а следовательно, уменьшено r . При том же значении M_z , масштаб создаваемого плана может быть крупнее.

В табл.4 представлена экономическая эффективность трудозатрат, рассчитанная по формуле:

$$\zeta = (1 - \nu/\eta) \cdot 100\% \quad (6)$$

где ζ – экономическая эффективность трудозатрат, ν - предлагаемое количество опорных точек, η - рекомендуемое количество опорных точек.

Из приведенных расчетов видно, что экономическая эффективность трудозатрат на плано-высотную подготовку снимков превышает 50 %.

Таблица 4

Параметры	Масштаб создаваемого ортофотоплана	
	1/2500	1/2000
Рекомендуемое число опорных точек	4	5
Число опорных точек, доказанное экспериментально	1	2
Экономическая эффективность	75 %	60%

Список литературы

1. «Трудовой кодекс Российской Федерации», Москва, «Ось – 89», 2005г.
2. Денисенко Г. Ф., «Охрана труда», Москва, Высшая школа, 1985г.
3. Минаев Г. А., Шатько Н. И. «Техника безопасности на топографо-геодезических работах», Москва, Геоиздат, 1962г.
4. «Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов», Москва, ЦНИИГАуК, 2002г.
5. А.И. Обиралов, А.Н. Лимонов, Л.А. Гаврилова «Фотограмметрия и дистанционное зондирование» Колосс, Москва 2006 г.

УДК 528.7

КАЛИБРОВКА НЕМЕТРИЧЕСКИХ МАЛОФОРМАТНЫХ КАМЕР С ЦЕЛЬЮ ПРИМЕНЕНИЯ ИХ ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ФОТОГРАММЕТРИИ

CALIBRATION THE NON METRIC SMALL FORMAT CAMERAS FOR THEREOF USE FOR THE DECISION OF SOME PROBLEMS PHOTOGRAMMETRY



Лазарева Н.С. / Lazareva N.S.

инженер-геодезист по специальности «Прикладная геодезия»

/ Engineer Surveyor of Applied Geodesy specialty

e-mail: nadeshdaISL@yandex.ru

Аннотация. В настоящее время цифровые неметрические камеры стали применяться для решения некоторых задач фотограмметрии. Ключевым моментом использования таких камер для фотограмметрических измерений является выполнение их калибровки, для чего целесообразно использовать бесплатный программный комплекс, разработанный сотрудниками лаборатории компьютерной графики и мультимедиа МГУ. Основная цель проведенных исследований — разработка методики калибровки цифровых неметрических камер с использованием данного программного комплекса, которая позволит получать параметры фотоаппаратов для последующего применения их для проведения фотограмметрических измерений.

Ключевые слова: калибровка, неметрические камеры, фотограмметрические измерения, объемный калибровочный полигон, мобильный тестовый объект, уравнения коллинеарности, наземная топографическая съемка, обмерные черте-

жи, элементы внутреннего ориентирования, дисторсия объектива.

Abstract. Digital cameras non-metric now began to be applied to solve some problems of photogrammetry. Calibration non-metric of digital cameras — the main point in using these cameras for photogrammetric measurements. To solve this problem it is expedient to use a free software package developed by the laboratory staff of computer graphics and multimedia MSU. The main objective of studies - to develop a method of digital gauge nonmetric camera that uses the software package that will receive the parameters of cameras for photogrammetric measurements.

Keywords: calibration, non-metric cameras, photogrammetric measurement, volumetric calibration stand, a mobile test object, the collinearity equations, topographical surveying with a close range, drawings are compiled from measurements, the elements of inner orientation, lens distortion.

В настоящее время для решения некоторых задач фотограмметрии стали применяться неметрические малоформатные камеры.

Относительно недорогие бытовые цифровые аппараты обладают хорошими радиометрическими характеристиками и позволяют полу-

чать цветные изображения, минуя фотохимический лабораторный процесс, и загружать их непосредственно в компьютер. Это и стало причиной стремления использовать такие фотоаппараты для измерительных целей.

Для фотограмметрических измерений с помощью бытовых камер необходимо выполнять их калибровку с целью получения элементов внутреннего ориентирования (фокусного расстояния и положения главной точки) и параметров дисторсии объектива.

На сегодняшний день имеется достаточно большое количество публикаций, посвященных этому вопросу. Авторами работ предлагаются различные подходы к выполнению калибровки неметрических малоформатных камер. Все подходы к решению задачи калибровки современных бытовых камер можно разделить на две основные группы: методы самокалибровки и методы непосредственно калибровки с использованием тестового объекта или калибровочного полигона.

Достаточно подробно суть предлагаемых методик самокалибровки и сравнительный анализ различных подходов изложены в работе Куркова В.М. «Методы учета систематических искажения аэроснимка. Самокалибровка».

«Суть аналитического метода самокалибровки,- как отмечает Курков В.М., - в учете систематических искажении координат аэроснимка в процессе уравнивания сети фототриангуляции, построенной по способу связок. В основе способа лежат уравнения коллинеарности. Сущность способа состоит в том, что одновременно определяются поправки к приближенным элементам внешнего ориентирования, координатам точек местности, элементам внутреннего ориентирования и суммарные поправки к координатам точек за влияние всех источников систематических ошибок». [3]

Положительным моментом методик самокалибровки является отсутствие необходимости создавать калибровочный полигон, т. к. все измерения производятся по полевым снимкам, для которых подбирается аппроксимационная модель, призванная исключить систематические ошибки из координат точек, измеренных на снимках. Но при этом способам самокалибровки присущ ряд недостатков.

Основная проблема — невозможность подбора универсальной аппроксимирующей функции не только для снимков, сделанных различными аппаратами, но и, порой, для снимков, сделанных конкретной съёмочной системой. [3]

Кроме того, подобранный полином порой не позволяет учесть сложный характер распределения систематических погрешностей в координатах по полю снимка, несимметричность этого распределения.

Более эффективным и надежным является способ калибровки по классической схеме с использованием тестового калибровочного полигона. Лабораторный полигон используется компанией Vexel для калибровки широкоформатных цифровых аэрофотоаппаратов UltracamX [6]. Калибровка бытовых цифровых фотоаппаратов с использованием тестового лабораторного полигона производится в ДОННТУ, для чего в одном из учебных кабинетов создан плоский калибровочный стенд. Для отыскания параметров калибровки камеры используется программа BlockMSG из программного комплекса DONETSKFOTO, разработанная профессором С.Г.Могильным [1].

В МИИГАИК для определения геометрических характеристик различных камер используется объемный тест-объект, состоящий более чем из 100 точек, а также специальная программа для определения параметров внутреннего ориентирования и дисторсии объектива [4].

Метод калибровки по объемному тест-объекту предлагают Р.Н.Гельман и А.Л.Дунц. Метод описан в статье «Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией». Лабораторный способ основан на съемке с близкого расстояния тест-объекта и измерения на снимке в ручном режиме пиксельных координат точек. Дальнейшая обработка результатов измерений основывается на уравнениях коллинеарности [2].

Предлагаемые методики калибровок основаны на сравнении эталонных и действительных параметров. Измерения по снимкам с изображениями тестового полигона позволяют учесть сложный характер распределения систематических ошибок. Вычисления, основанные на применении уравнений коллинеар-

ности логичны и понятны. Использование объемного тестового полигона позволяет провести полную калибровку аппарата, в результате которой станут известны элементы внутреннего ориентирования камеры и параметры дисторсии объектива, необходимые для последующих фотограмметрических измерений по снимкам, сделанным бытовым фотоаппаратом. Но подобные методики подразумевают построение дорогостоящего высокоточного калибровочного полигона и наличие программного комплекса, позволяющего автоматизировать процесс получения неизвестных параметров. При отсутствии последнего, калибровка станет неоправданно длительным и трудозатратным процессом. Увеличение трудозатрат приведет к увеличению стоимости проводимых работ, а это делает бессмысленным использование неметрических камер вместо специализированной аппаратуры, т. к. применение бытовых фотоаппаратов для измерительных целей подразумевает упрощение и понижение стоимости проводимых работ. Именно трудоемкость проводимых работ, необходимость иметь оборудованную лабораторию со стабильными марками, координаты которых определены с высокой точностью, составляли основную проблему способов лабораторной калибровки. В 2005 году эта проблема стала разрешима благодаря появлению программного комплекса GML Camera Calibration Toolbox v 0.4. Авторы программы — сотрудники лаборатории компьютерной графики и мультимедиа при факультете ВМК МГУ — Велижев Александр и Вежнев Владимир. Программа является бесплатной. Она позволяет в автоматическом режиме вычислять внутренние параметры камер. Программа может использовать файлы форматов *.jpg, *.tiff, *.png, что позволяет использовать достаточно большой круг снимков со стандартными разрешениями. Результатами обработки снимков являются элементы внутреннего и внешнего ориентирования и коэффициенты дисторсии. [7]

Для выполнения калибровки требуется использовать достаточно простой в изготов-

лении мобильный калибровочный шаблон, представляющий собой шахматную текстуру, нанесенную на ровную поверхность (рис.1). Важен размер клетки рисунка, так как программа плохо распознаёт слишком мелкие клетки. Создатели программы рекомендуют делать клетки рисунка не менее 30 мм.

Также при изготовлении тест-объекта необходимо принять следующие рекомендации, указанные разработчиками [7]:

- 1) Белого пространства (рис.2) между наружной рамкой и границей объекта должно быть по ширине не менее одного квадрата.
- 2) Все квадраты должны быть чётко видны.
- 3) Желательно использовать при работе штатив.
- 4) Делать не менее 25 снимков в съёмочной серии.
- 5) При съёмке объекта стремиться заполнить его изображениями всю матрицу камеры.
- 6) Сохранять постоянный угол наклона плоскости матрицы камеры относительно плоскости тест-объекта.

В результате проведения практических работ было выявлено, что рекомендаций, данных авторами недостаточно для успешного выполнения калибровки камеры. Поэтому по результатам проведенных экспериментов были составлены дополнения к существующим рекомендациям.

Как заявлено в инструкции по применению программы [7], при съёмке объекта необходимо стремиться заполнить его изображениями всю матрицу камеры (рис.3). Это необходимо для того, чтобы в итоге, опознанные на каждом снимке точки, находящиеся в углах схождения белых и черных квадратов (будем для удобства в дальнейшем называть их «опорными точками»), покрывали в совокупности равномерно всю площадь матрицы (рис.4). Кроме того, необходимо сохранять постоянный угол наклона плоскости матрицы камеры относительно плоскости тест-объекта. Для выполнения этих условий, авторы программного комплекса предлагают вариант съёмки, показанный на рис.5.

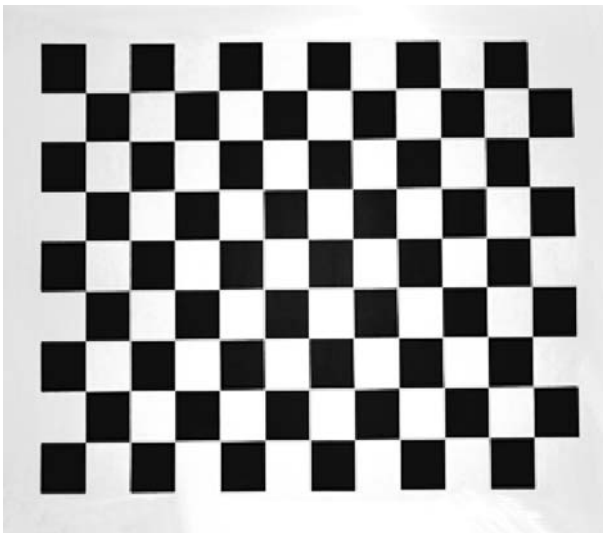


Рис. 1. Вид калибровочного шаблона

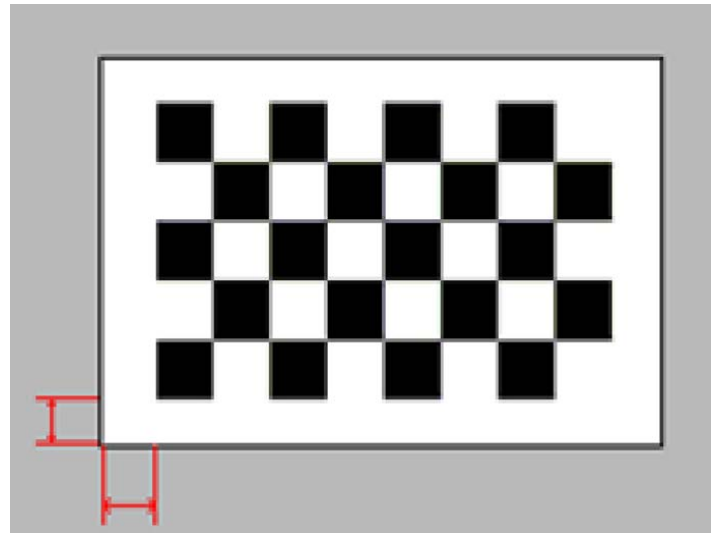


Рис. 2.

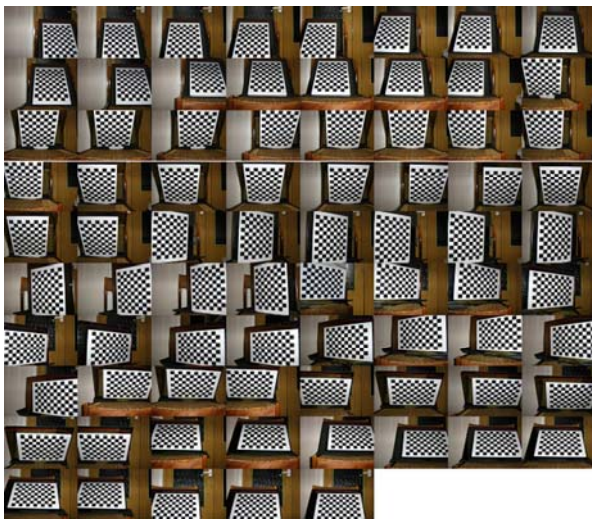


Рис. 3. Съемочная серия

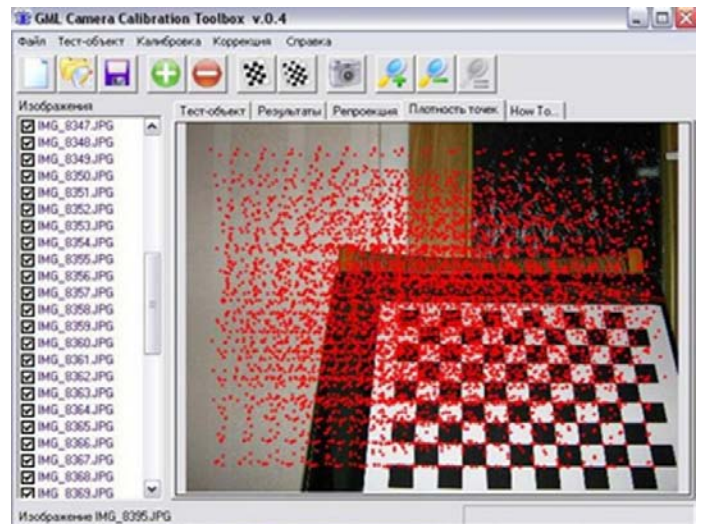


Рис. 4 — Плотность точек

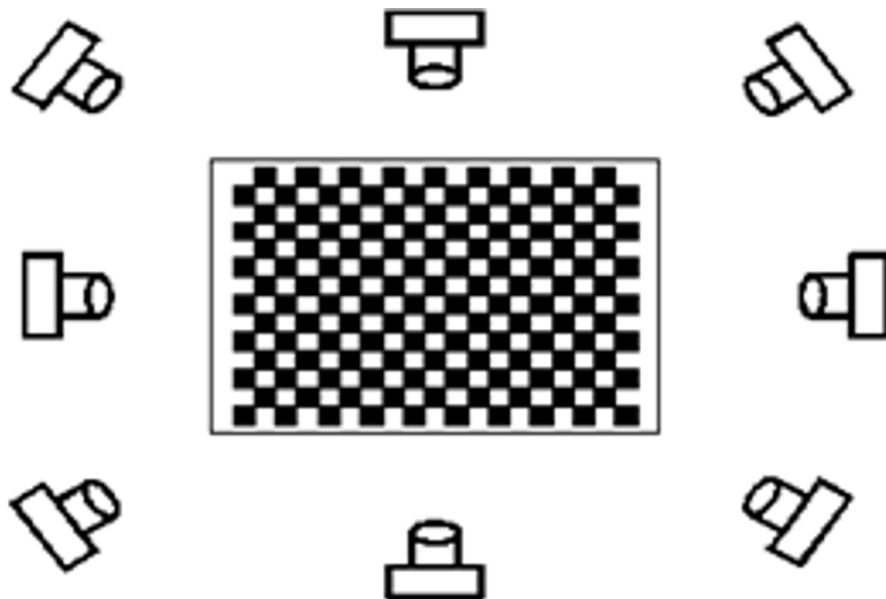


Рис. 5. Позиции фотографирования

В результате проведения подобной серии съемки, в программе будут обрабатываться варианты снимков объекта, показанные на рис. 6. Опытным путем было установлено, что на снимках типа б, г, д, е, ж, з, представленных на рисунке 6, тест-объект не распознается программой в ходе автоматического поиска опорных точек, и снимки такого типа отбраковываются при обработке.

Таким образом, для обработки остается два варианта экспозиции объекта, чего недостаточно для правильного функционирования программы по замечанию самих авторов [7].

Это указывает, скорее всего, на то, что программа производит поиск «опорных точек» по способу построчного распознавания: при обработке снимка на нем распознается правый нижний угол тест-объекта с белым

квадратом, и, по идеальным известным координатам положения точек, определяются области их поиска по строкам и столбцам. Это предположения основывается на том, что программой не распознаются изображения объекта, развернутые относительно рамок снимка под значительным углом. Поэтому при проведении калибровки аппаратов была использована иная методика съемки (рис. 7), в целом отвечающая требованиям, указанным авторами программного комплекса.

При этом было выполнено основное требование съемки: сохранялся постоянным угол наклона объекта к плоскости матрицы камеры, а съемочная серия состояла при этом из снимков с восьмью различными позициями объекта.

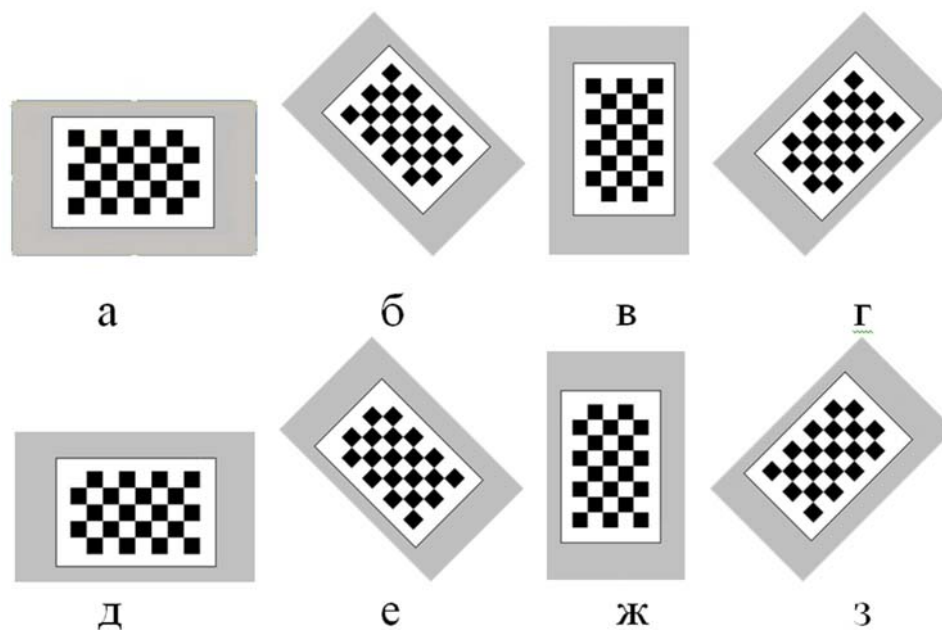


Рис. 6. Расположение изображения тест-объекта относительно рамок снимка

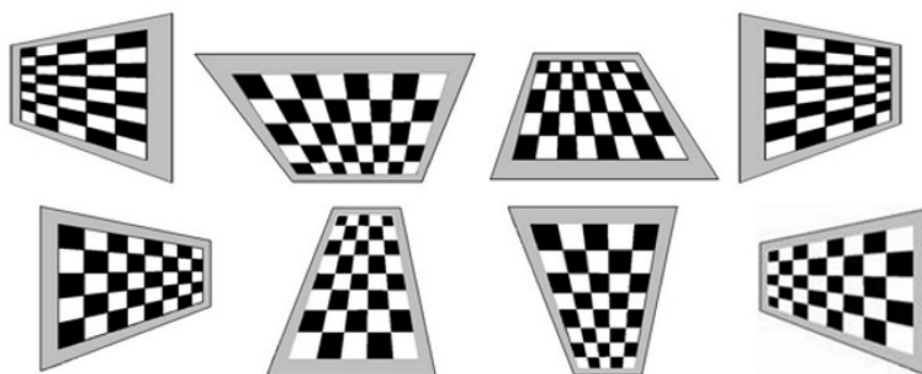


Рис. 7. Экспозиции объекта

Создатели программы рекомендуют перемещать объект относительно камеры для полного заполнения его изображения матрицы аппарата. При выполнении работы было выявлено, что удобнее и практичнее тест объект устанавливать и закреплять под определенным углом, а перемещать саму камеру со штативом (штатив с двумя цилинд-

рическими уровнями для фотокамер) в плоскостях, параллельных стенду.

Опытным путем было выявлено, что программа при автоматическом поиске точек бракует снимки с изображением шахматного рисунка, расположенным под углом к плоскости снимка менее 5° (на рис. 8 показаны углы наклона тест-объекта).

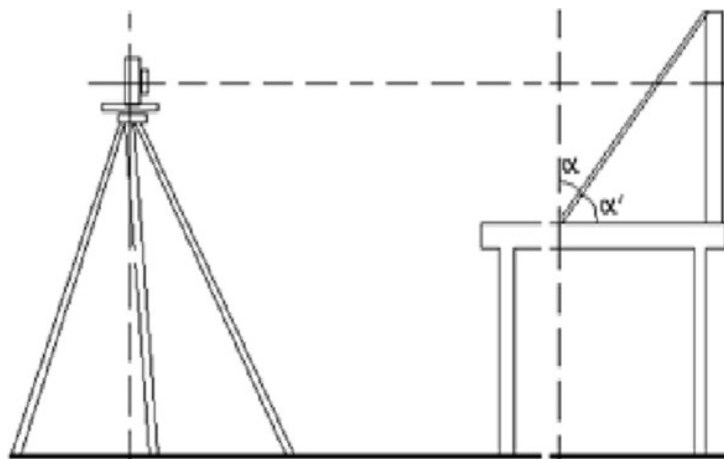


Рис. 8. Угол наклона тест-объекта

В результате выполненных работ были составлены следующие рекомендации, в дополнение к существующим, по выполнению калибровки цифровых фотоаппаратов с применением программного комплекса GML Camera Calibration Toolbox v 0.4:

- 1) клетки текстуры должны быть четкими и яркими;
- 2) шахматный рисунок должен быть нанесен с максимальной точностью, так чтобы клетки имели одинаковый, заранее определенный размер, а любые отклонения от эталонного размера были столь незначительными, чтобы это не влияло на качество работы программы, т.к. программный комплекс не предусматривает ввод фактической величины клетки тест-объекта, или ввода поправок за отклонение размера клеток от номинальной величины, и объект по умолчанию рассматривается как идеальный;
- 3) съемка должна производиться в хорошо освещенном помещении, желательно дневным светом. Лучшие результаты также дает фотографирование со вспышкой;
- 4) перед выполнением съемки аппарат необходимо перевести в ручной режим съемки

и, по возможности, отключить дополнительные автоматические настройки (например «интеллектуальное увеличение снимков»), которые, вероятно, вносят коррективы в полученное изображение, особенно, если эти исправления производятся за счет каких-либо пиксельных пересчетов;

- 5) необходимо отключить автофокусировку в исследуемом аппарате и, если это возможно, установить фокусирование «на бесконечность» (или установить то фокусное расстояние, которое впоследствии будет применяться для работы);
- 6) для более точной установки аппарата желательно использовать штатив с уровнями для фото- и видеокамер;
- 7) желательно установить тест-объект на ровной горизонтальной поверхности с возможностью надежной фиксации угла наклона или разворота;
- 8) необходимо менять экспозиции объекта, сохраняя постоянным значение угла наклона плоскости объекта к плоскости снимка.

При одной экспозиции необходимо, чтобы из трех возможных углов наклона и разворота плоскости объекта относительно плоскости

снимка, в идеале только один из углов наклона отличался от нуля (при этом плоскость объекта не может быть развернута относительно рамок снимка). Если у объекта угол наклона и разворота приблизительно одинаковые или оба угла наклона имеют сопоставимые значения, отличные от нуля, калибровка при таких условиях не даст истинных результатов.

С использованием данного программного комплекса в ходе исследовательских работ калибровались две бытовые камеры Canon PowerShot A 410 и Sony Caber-Shot W 210, имеющие стандартную оптику среднего класса, с характеристиками объективов, присущими большинству современных неметрических съёмочных систем. Аппараты позволяют выполнять съёмку при полных ручных установках, отключая автоматическую фокусировку. Обе камеры имеют встроенный стабилизатор. Различные варианты проведенных съёмок с использованием указанных фотоаппаратов позволили получить стабильные в пределах нескольких пикселей значения элементов внутреннего ориентирования. Значения коэффициентов дисторсии варьируются от съёмки к съёмке в пределах десятитысяч-

ных пикселя, что связано с меньшей, субпиксельной, разрядностью самих величин.

По итогам проведенных опытов можно заявить о возможности калибровки неметрического фотоаппарата с использованием программного комплекса GML Camera calibration Toolbox v 0.4. Для того чтобы сделать выводы о качестве полученных результатов, необходимо было произвести их оценку точности. Для этого был выполнен ряд съёмок в одинаковых условиях. Исследовались те же фотоаппараты: Canon PowerShot A 410 с разрешением матрицы 3,2 мпкс и Sony Caber-Shot W 210, с разрешением матрицы - 12,1 мпкс, - при двух фиксированных установках предельного фокусного расстояния объектива каждый. Для аппарата фирмы Canon и аппарата фирмы Sony было выполнено по 10 съёмочных серий для каждой из двух фиксированных установок предельных фокусных расстояний. Съёмка производилась при стабильном угле наклона объекта в одинаковых условиях при 8 позициях объекта в одной серии.

Все съёмочные серии обрабатывались в программе GML Camera Calibration toolbox v 0,4. Полученные значения оценивались по формуле Бесселя. Результаты проведенных работы представлены в табл. 1.

Таблица 1

Элементы внутреннего ориентирования и коэффициенты дисторсии

	Canon PowerShot A410				Sony Caber-Shot W 210			
	f max	fмм	5,4	mf(мкм)	4,4	fмм	5,35	mf(мкм)
fpix		2505	mf(pix)	2	fpix	3542	mf(pix)	5
x		1022	mx(pix)	2	x	1986	mx(pix)	5
y		747	my(pix)	1	y	1533	my(pix)	5
k1		-0,128	mk1(pix)	±0,002	k1	-0,204	mk1(pix)	±0,002
k2		+0,059	mk2(pix)	±0,009	k2	+0,187	mk2(pix)	±0,004
t1		+0,0001	mt1(pix)	±0,0001	t1	+0,0008	mt1(pix)	±0,0003
t2		-0,001	mt2(pix)	±0,001	t2	-0,0005	mt2(pix)	±0,0002
f min	fмм	17,3	mfмм	28,6	fмм	21,4	mfмм	17,1
	fpix	7760	mf(pix)	13	fpix	13054	mf(pix)	11
	x	1010	mx(pix)	8	x	1008	mx(pix)	8
	y	810	my(pix)	6	y	808	my(pix)	6
	k1	-0,018	mk1(pix)	±0,005	k1	+1,105	mk1(pix)	±0,008
	k2	-0,9	mk2(pix)	±0,2	k2	-6,70	mk2(pix)	±0,38
	t1	-0,0010	mt1(pix)	±0,0002	t1	+0,008	mt1(pix)	±0,001
	t2	-0,0044	mt2(pix)	±0,0002	t2	-0,005	mt2(pix)	±0,001

По полученным данным для приближенных расчетов можно вычислить для каждого из калиброванных фотоаппаратов размер пикселя в микрометрах.

Так для фотоаппарата Canon PowerShot A 410 на объективе фотоаппарата указаны предельные фокусные расстояния: 5,4 мм и 17,3 мм. Их значения в пикселях, полученные в результате калибровки – 2505 pix и 7763 pix, соответственно. Тогда можно составить пропорцию:

$$\frac{1\text{pix}}{f\text{pix}} = \frac{x_{\text{мм}}}{f_{\text{мм}}} \quad (1)$$

Используя оба предельных фокусных расстояния и подставляя их значения в пикселях и миллиметрах в уравнение (1), получим $1\text{ pix} = 2,2\text{ мкм}$.

Аналогично рассчитывался размер пикселя для фотоаппарата Sony Cyber-Shot W 210. На объективе фотоаппарата указаны предельные фокусные расстояния: 5,35 мм и 21,4 мм. Их значения в пикселях, полученные в результате калибровки – 3542 pix и 13054 pix, соответственно. Тогда можно составить пропорцию (1), и получить в результате $1\text{ pix} = 1,55\text{ мкм}$. По итогам проведенной оценки точности возможно утверждать, что для камеры Canon PowerShot A410 элементы внутреннего ориентирования (ЭВНО) получены со средней квадратической ошибкой не превышающей СКП измерения координат точек на снимках. Кроме того, указанная точность получения ЭВНО для камеры фирмы Canon соответствует точности определения ЭВНО метрических камер (как правило 2 — 5 мкм). На основе этого, можно сделать вывод о возможной достаточно высокой точности определения элементов внутреннего ориентирования с использованием программного комплекса GML Camera Calibration Toolbox v 0.4. и о целесообразности применения данного комплекса для полной калибровки бытовых цифровых камер. Но при этом необходимо учесть, что программный комплекс GML Camere Callibration Toolbox v 0.4 создавался

не для решения задач фотограмметрии; авторы программы не раскрывают те алгоритмы, которые заложены в процесс вычисления параметров камеры и в процесс исправления с их использованием снимков за дисторсию. Кроме того, в протоколах программы, содержащих элементы внутреннего ориентирования и коэффициенты дисторсии, указаны точности определения этих параметров, и согласно представляемым данным, значения ошибок – субпиксельные величины, — тогда как по результатам оценки точности получаемых величин по отклонениям от среднего (по формуле Бесселя) опытным путем были получены средние квадратические погрешности определения величин в пределах нескольких пикселей. В связи с этим необходимо было провести калибровку испытываемых камер по иной, альтернативной программе, с целью подтверждения или опровержения полученных результатов. Для этого был создан объемный калибровочный полигон ГУЗ-12 (в аудитории 12 кафедры аэрофотогеодезии ГУЗа), представляющий собой 190 закоординированных марок (рис. 9) с СКП положения марки $m_p = 5\text{ мм}$. Полигон позволяет обеспечить различие координат по удаленности в 3 м при максимальном удалении от средней плоскости полигона в 7м.

Определение элементов внутреннего и внешнего ориентирования и параметров дисторсии по результатам измерений изображений опорных точек на цифровых снимках основано на совместном решении системы уравнений, которые составляются для каждой измеренной на цифровом снимке точки тест-объекта. Эти уравнения имеют вид:

$$\begin{aligned} x_{\text{выч}} - (x_{\text{изм}} + V) &= 0; \\ z_{\text{выч}} - (z_{\text{изм}} + V) &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

или, выражая вычисленные координаты изображения с использованием уравнений коллинеарности:

$$\begin{aligned} x_0 + f \frac{a_1(X^r - X_s^r) + a_2(Y^r - Y_s^r) + a_3(Z^r - Z_s^r)}{b_1(X^r - X_s^r) + b_2(Y^r - Y_s^r) + b_3(Z^r - Z_s^r)} - (x_{\text{изм}} + dx) &= 0; \\ x_0 + f \frac{a_1(X^r - X_s^r) + a_2(Y^r - Y_s^r) + a_3(Z^r - Z_s^r)}{b_1(X^r - X_s^r) + b_2(Y^r - Y_s^r) + b_3(Z^r - Z_s^r)} - (x_{\text{изм}} + dx) &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где dx, dz — поправки в измеренные на снимке координаты x, z изображения точки тест-объекта за дисторсию объектива:

$$\begin{aligned} dx &= (x - x_0)(r^2 k_1 + r^4 k_2) + \\ &+ [r^2 + 2(x - x_0)^2] p_1 + 2[(x - x_0)(z - z_0)] p_2; \quad (4) \\ dz &= (z - z_0)(r^2 k_1 + r^4 k_2) + \\ &+ 2[(x - x_0)(z - z_0)] p_1 + [r^2 + 2(z - z_0)^2] p_2, \end{aligned}$$

в которых k_1, k_2 — коэффициенты радиальной дисторсии; p_1, p_2 — коэффициенты тангенциальной дисторсии объектива, r — радиус-вектор точки:

$$r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2}. \quad (5)$$

Для решения уравнений вида (3) необходимо располагать геодезическими координатами марок и координатами изображений опорных точек, измеренными на цифровых снимках. Последние предварительно необходимо исправить за дисторсию. Для этого, используя уравнения вида (4), с помощью которых вычисляются поправки в координаты, измеренные на снимках.

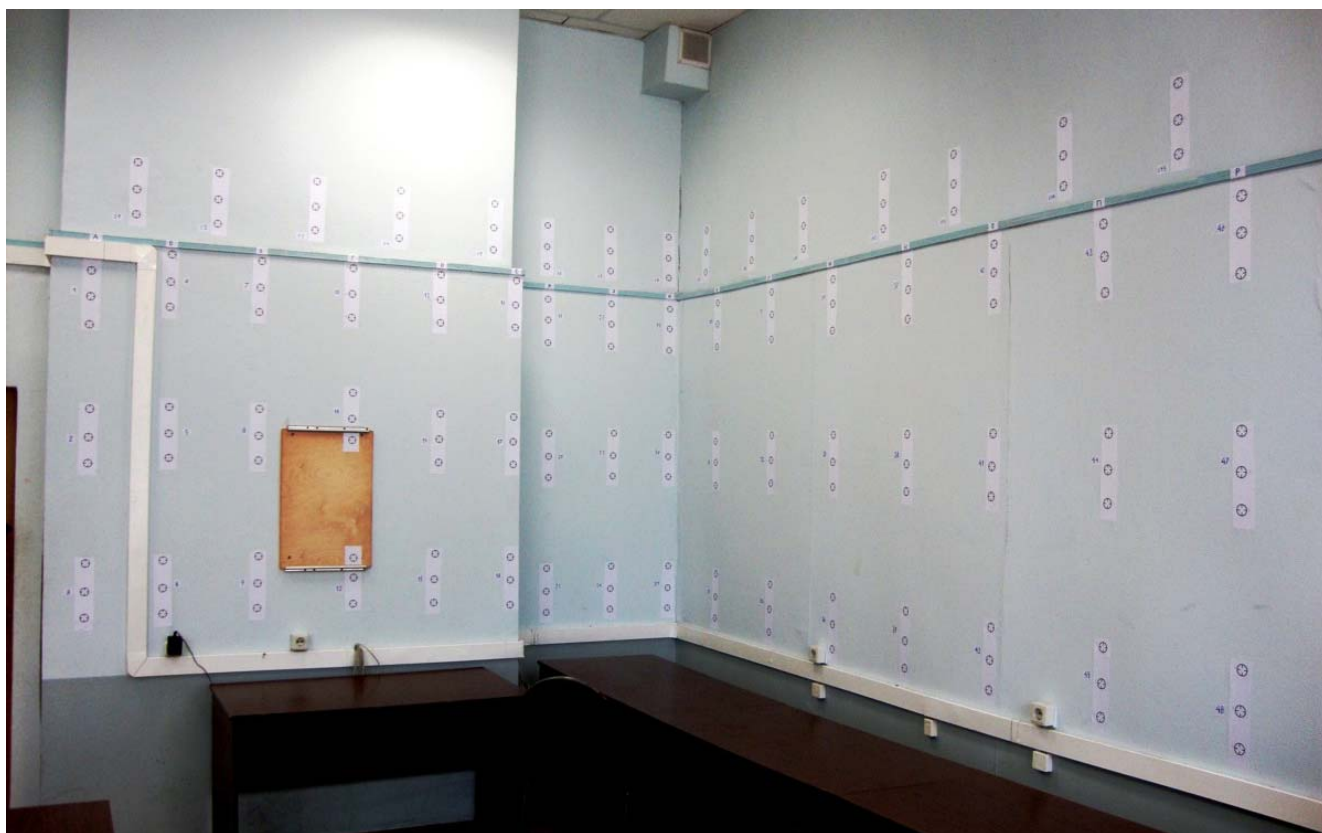


Рис. 9. Полигон ГУЗ-12

Для калибровки по альтернативной методике был выбран аппарат Canon PowerShot A 410, как обладающей объективом с меньшей дисторсией.

Для упрощения вычислений сначала были рассчитаны поправки за дисторсию объектива в координаты точек, измеренные на снимках. После проведения ряда приближений были получены окончательные значения, позволяющие вычислить геодезические координаты марок тестового полигона с точностью не хуже точности определения этих координат геодезическим методом. Поэтому

координаты, измеренные на неисправленных снимках камеры Canon PowerShot A 410 на ЦФС «Талка» в системе координат снимка и исправленные в результате пересчетов, возможно считать свободными от дисторсии. Эти координаты в дальнейшем использовались для вычисления ЭВО и ЭВНО изображений.

Связь координат точек полигона и изображений марок на снимках выражается уравнениями коллинеарности для наземной съемки:

$$\begin{aligned}
 X^G &= X_S^G + (Y^G - Y_S^G) \frac{a_1(x - x_0) + a_2f + a_3(z - z_0)}{b_1(x - x_0) + b_2f + b_3(z - z_0)}, \\
 Z^G &= Z_S^G + (Y^G - Y_S^G) \frac{c_1(x - x_0) + c_2f + c_3(z - z_0)}{b_1(x - x_0) + b_2f + b_3(z - z_0)}.
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

Неизвестными в данном случае будут являться пятнадцать элементов данных уравнений: X_S^G, Y_S^G, Z_S^G , - геодезические координаты центра фотографирования; a_i, b_i, c_i - направляющие косинусы функции угловых элементов внешнего ориентирования; x_0, z_0, f - элементы внутреннего ориентирования. Известными будут выступать геодезические координаты марок полигона X^G, Y^G, Z^G , и координаты изображений марок, измеренные на снимке x и z . Можно пойти классическим путем и составить уравнения поправок, продифференцировав уравнения (6) относительно пятнадцати неизвестных. В результате получатся громоздкие выражения, вычисление которых является весьма трудоёмким. В целях упрощения вычислений возможно воспользоваться функцией «Поиска решений» в Excel стандартного пакета Office. Модуль «Поиск решения» направлен на оптимизацию вычислений и позволяет находить решения нелинейных уравнений, используя их в прямом виде. Очевидно, что для определения пятнадцати неизвестных не нужно будет составлять дифференциальные уравнения. Дос-

таточно правильно установить целевую функцию и ограничения.

В результате решения системы уравнений в программируемом калькуляторе Excel, получаем поправки к приближенным значениям ЭВО и ЭВНО, и, затем, сами значения. Таким образом были найдены элементы внешнего и внутреннего ориентирования по левому и правому снимкам стереопары с изображениями объемного калибровочного полигона ГУЗ-12, сделанным аппаратом Canon PowerShot A 410. Для нахождения неизвестных использовались координаты 18 точек, максимально близких к краю снимка. В результате получены значения искомых элементов, представленные в табл.2.

Элементы внешнего ориентирования, полученные в результате развития фототриангуляции на ЦФС «Талка» и элементы внутреннего ориентирования, полученные в результате калибровки с использованием программного комплекса GML Camera Calibration Toolbox v 0.4, имеют значения, представленные в табл.3.

Сравнение результатов калибровок по двум методикам представлено в табл.4.

Таблица 2

Элементы внешнего и внутреннего ориентирования, полученные с использованием модуля «Поиск решения» в Excel

Левый снимок			Правый снимок				
	$x_0 = -1,999$	$z_0 = 21,000$	$f = 2505,000$		$x_0 = -1,999$	$z_0 = 21,000$	$f = 2505,000$
	$X_s = 12,845$	$Y_s = 50,831$	$Z_s = 99,160$		$X_s = 12,167$	$Y_s = 52,191$	$Z_s = 99,132$
Направляющие косинусы, как функции углов наклона и разворота снимков							
	1	2	3		1	2	3
a	-0,410725403	0,912158408	0,016216887	a	-0,382092605	0,923971810	0,005502470
b	0,912004570	0,410373095	-0,012336039	b	0,924482117	0,382142034	-0,014978065
c	0,019877427	-0,004567943	1,000000000	c	0,025738116	0,021810906	0,999404153

Таблица 3

Элементы внешнего и внутреннего ориентирования, полученные в результате калибровки и развития фототриангуляции на ЦФС «Талка»

Левый снимок			Правый снимок				
	$x_0 = -2$	$z_0 = 21$	$f = 2505$	$x_0 = -2$	$z_0 = 21$	$f = 2505$	
	$X_s = 12,863$	$Y_s = 50,843$	$Z_s = 99,161$	$X_s = 12,162$	$Y_s = 52,195$	$Z_s = 99,141$	
Направляющие косинусы, как функции углов наклона и разворота снимков							
	1	2	3	1	2	3	
a	-0,410814247	0,911707783	0,016295726	a	-0,38165598	0,923943180	0,005503556
b	0,911573422	0,410654617	-0,012316805	b	0,924183478	0,381909164	-0,014953538
c	0,019916859	-0,004535757	0,999791351	c	0,025840084	0,021780514	0,99965094

Таблица 4

Расхождения в полученных разными способами ЭВО и ЭВНО

левый снимок				правый снимок		
Δx_0	Δz_0	Δf		Δx_0	Δz_0	Δf
0,001	0	0		0,001	0	0
ΔX_s	ΔY_s	ΔZ_s		ΔX_s	ΔY_s	ΔZ_s
-0,018	-0,012	-0,001		0,005	0,004	-0,009
$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$		$\Delta 1$	$\Delta 2$	$\Delta 3$
8,88E-05	0,000451	-7,9E-05	Δa	-0,00044	2,86E-05	-1,1E-06
0,000431	-0,00028	-1,9E-05	Δb	0,000299	0,000233	-2,5E-05
-3,9E-05	-3,2E-05	0,000209	Δc	-0,0001	3,04E-05	-0,00025

На основании расчетов, приведенных в табл. 4, можно сделать вывод, что значения линейных ЭВО, найденных при помощи «Поиска решений» (табл.2) отличаются от ЭВО, полученных из фототриангуляции (табл.3) в пределах двух сантиметров (ограничение поправок в линейные ЭВО : ± 5 см). Угловые ЭВО различаются в пределах нескольких единиц в степени 10^{-4} , что даст различие в ЭВО в пределах нескольких минут. При этом элементы внутреннего ориентирования, найденные «Поиском решений» практически не отличаются от элементов, полученных в результате калибровки при помощи комплекса GML Camera Calibration toolbox v 0.4.

На основании этого можно заключить, что программный комплекс GML Camera Calibration toolbox v 0.4 является рабочим аппаратом, с помощью которого возможно получать элементы внутреннего ориентирования с достаточно высокой точностью. Кроме того, программный комплекс позволяет исправлять цифровые изображения за влияние

дисторсии объектива. В случае, когда дисторсия не слишком велика, изображения освобождаются от её влияния практически полностью. Исправление координат за дисторсию по второй методике (с использованием объемного полигона) – довольно трудоемкий процесс, подразумевающий вычисление индивидуальных коэффициентов дисторсии для каждого снимка (т. к. опытным путем было установлено, что коэффициенты дисторсии для снимков, сделанных одной съёмочной системой, не инвариантны). Тогда как исправление снимков в программном комплексе GML дает результаты не хуже, чем методика с использованием полигона ГУЗ-12, но позволяет одновременно в автоматическом режиме скорректировать все изображение.

Поэтому можно утверждать, что GML Camera Calibration toolbox v 0.4 вполне целесообразно применять для калибровки бытовых неметрических камер, с целью использования последних для нужд геодезии и архитектуры.

Целесообразность применения программного комплекса GML для полной калибровки и последующего исправления снимков за дисторсию подтверждают также данные, приведенные в табл.5, которая содержит результаты следующего этапа работ. Следующим этапом работ являлось проведение оценки точности получаемых по бытовым снимкам координат. Для этого были получены стереопары на полигон ГУЗ-12, которые в дальнейшем обрабатывались на ЦФС Талка. При развитии фототриангуляции по стереопарам,

использовались ЭВНО, полученные в результате калибровки, а стереопары состояли из снимков, исправленных за дисторсию в программном комплексе GML Calibration. Точность оценивалась по отклонениям координат, полученных в результате развития фототриангуляции от координат марок, полученных в результате тахеометрической съемки. Оцененная таким образом средняя квадратическая погрешность координат по исправленным снимкам составила порядка 6 мм (табл.5) для обоих фотоаппаратов.

Таблица 5

Оценка точности геодезических координат (по результатам обработки на ЦФС «Талка»)

Canon PowerShot A 410						Sony Caber-Shot W 210					
Снимки исправлены за дисторсию						Снимки исправлены за дисторсию					
mх(мм)	4,89	mm (мм)	0,03	mp	6,2	mх (мм)	28	mm (мм)	2	mp	30
my(мм)	3,38	mm (мм)	0,02	(мм)		my (мм)	8,9	mm (мм)	0,6	(мм)	
mz (мм)	1,72	mm (мм)	0,01			mz (мм)	6,5	mm (мм)	0,4		

Необходимо отметить, что по стереопарам вычислялись все три геодезические координаты X, Y, Z марок.

Для разработки технических проектов реставрации крупных архитектурных ансамблей обмерные чертежи составляются в масштабах 1:100 и 1:200. Для выполнения обмерных работ на стадии рабочих чертежей планы сооружений составляются в масштабах 1:20, 1:50. [5]

Точность обмерных чертежей указанных масштабов обеспечивается определением координат точек с погрешностью 5-20 мм, что соответствует той точности, которую возможно получить камерой среднего класса, откалиброванной с помощью мобильного тест-объекта и программного комплекса GML Camera Calibration Toolbox v 0.4. Поэтому можно утверждать, что обмерные чертежи архитектурных сооружений и археологических памятников целесообразно составлять с использованием цифровых бытовых малоформатных камер, что значительно удешевит и облегчит проводимые работы. Наиболее проблемный до сегодняшнего дня вопрос, – вопрос калибровки неметрических камер и исправления искаженных дисторсией изображений, - успешно и эффективно решается с помощью простого в исполнении тестового

объекта и бесплатного софта GML Camera Calibration Toolbox v 0.4.

Список литературы

1. Сагайдак Д.И. Исследование и калибровка цифровых камер / Портал магистров ДонНТУ
2. Гельман Р.Н., Дуңц А.Л. Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией // Геодезия и картография. М., 2002. - №7, с.23-31.
3. Курков В.М. Методы учета систематических искажения аэроснимка. Самокалибровка. // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. М., 1980. - №6. с.75-79
4. Михайлов А. П., Чибуничев А.Г., Курков В.М. Применение цифровых неметрических камер и лазерных сканеров для решения задач фотограмметрии
5. Руководство по применению фотограмметрических методов для составления обмерных чертежей инженерных сооружений / Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве ПНИИИС Госстроя СССР. М., 1984.
6. Richard Ladstädter, Michael Gruber Geometric aspects concerning the photogrammetric workflow of the digital aerial camera ULRTACAMx.
7. V.Vezhnevets, A.Velizhev GML C++Camera Calibration Toolbox, 2005 (<http://research.graphicon.ru/calibration/gml-c++-camera-calibration-toolbox.html>).

УДК 631.67

РЕЖИМ ОРОШЕНИЯ ЗЕМЛЯНИКИ ПРИ ДОЖДЕВАНИИ И КАПЕЛЬНОМ ПОЛИВЕ

MODE OF THE IRRIGATION OF WILD STRAWBERRY AT OVERHEAD IRRIGATION AND DROP WATERING



Шуравилин А.В. / Shuravilin A.V.

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры почвоведения и земледелия Российского университета дружбы народов / Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Soil Science and Agriculture of the Russian Peoples' Friendship University

e-mail:



Храбров М.Ю. / Khrabrov M.Yu.

Доктор сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией технологий орошения ВНИИ гидротехники и мелиорации им. А.Н.Костякова / Doctor of Agricultural Sciences, Head of Laboratory of irrigation technology, A.N. Kostiakov's All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Reclamation.

e-mail: hrabrov@vniigim.ru

Аннотация. Дана сравнительная оценка режимов орошения земляники дождеванием и капельным способом. В зависимости от естественной влагообеспеченности определены число и сроки поливов, поливные и оросительные нормы и распределение поливов по месяцам вегетации. Установлено, что при капельном орошении поливные нормы в три раза, а оросительные – в 1,4-1,9 раза меньше чем при дождевании. Отмечено, что наибольшее число поливов и наибольший объем оросительной воды приходится на фазу роста и созревания ягод земляники.

Ключевые слова: Капельное орошение, дождевание, капельницы, поливные трубопроводы, режим орошения, поливная норма, оросительная норма, число поливов, затраты

Abstract. The comparative estimation of modes of an irrigation of wild strawberry is given by overhead irrigation and drop way. Depending on natural moisture the number and terms of waterings, irrigation both irrigating norms and distribution of waterings on months of vegetation are defined. It is established that at a drop irrigation irrigation norms three times, and irrigating – in 1,4-1,9 times it is less than at overhead irrigation. It is noticed that the greatest number of waterings and the greatest volume of irrigating water is necessary on a growth phase and maturing of berries of wild strawberry.

Keywords: A drop irrigation, overhead irrigation, droppers, irrigation pipelines, an irrigation mode, irrigation norm, irrigating norm, number of waterings, expenses.

Капельное орошение – способ орошения, при котором увлажнение почвы осуществляется в зоне максимального развития корневой системы растений, что обеспечивает ее хорошую аэрацию. При этом способе вода равномерно падающими каплями пода-

ется непрерывно к каждому растению на протяжении всего вегетационного периода в количестве, соответствующем водопотреблению данной культуры.

Капельное орошение по сравнению с другими способами орошения имеет ряд

преимуществ: экономное расходование воды (в 1,5-2 раза меньше) и повышение урожайности культур на 20-50%. Однако ввиду высокой стоимости системы капельного орошения применяют при возделывании высококоротельных многолетних насаждений (сады, виноградники, ягодники) и ограниченных водных ресурсах.

Поливную норму m рассчитывают по формуле:

$$m = 100d_w \alpha \cdot a_{hn} (FC - \lambda \cdot FC), \quad (1)$$

где d_w - глубина расчетного слоя, м; α - плотность почвы, т/м³; $a_{hn} = 0,15-1,0$ - доля площади питания растений, подлежащих увлажнению в зависимости от природной зоны; FC - наименьшая влагоемкость, % массы абсолютно сухой почвы; λ - коэффициент предполивной влажности почвы, соответствующей нижней границе оптимального увлажнения, в долях единицы; a_{hn} можно определить по формуле:

$$a_{hn} = (na_{n1}) / (b_1 b_2), \quad (2)$$

где n - число водовыпусков под одним растением; a_{n1} - площадь увлажнения одним микроводовыпуском, м²; b_1 и b_2 - соответственно расстояния между деревьями в ряду и между их рядами.

Продолжительность полива определяют при отсутствии фильтрационных потерь в нижележащие горизонты в зависимости от расчетной глубины увлажнения и скорости впитывания воды в почву. Поливы производят нормой, соответствующей количеству воды, израсходованной полем в предшествующие сутки, то есть поливная норма (мм):

$$m = ET_{crop} k_{bio} k_{rat} \Delta t, \quad (3)$$

где ET_{crop} - суточная эвапотранспирация, мм; k_{bio} - биологический коэффициент, учитывающий роль растений в расходовании воды; k_{rat} - отношение увлажняемой площади к общей площади участка; Δt - межполивной период, сут.

Режим капельного орошения следует рассчитывать по году 95%-ной обеспеченности дефицита водопотребления для наи-

более напряженного года в температурном отношении. Суммарное водопотребление (м³/га) вычисляют по формуле с учетом технологии несплошного (локального) увлажнения площади поля

$$\sum_1^i ET_{crop} = k_{al} k \sum_1^i d_{ha}, \quad (4)$$

где k_{al} - коэффициент, учитывающий локальную площадь увлажнения, определяемый по зависимости

$$k_{al} = \frac{1}{\sqrt{1+(1-f)^2}}, \quad (5)$$

где f - показатель относительной увлажненности участка орошения; k - коэффициент пропорциональности, учитывающий биологические фазы развития растений и их особенности; $\sum d_{ha}$ - сумма дефицитов влажности воздуха за расчетный период наиболее напряженного в температурном отношении года.

Наши исследования проводились в совхозе им. Ленина Московской области на дерново-подзолистых средне- и тяжелосуглинистых почвах. Капельная система использовалась в опыте с 2008 г.

Основной задачей технологии проведения поливов является непрерывное поддержание оптимального количества влаги в корнеобитаемом слое почвы, которое зависит от биологических особенностей культуры, от физических и водно-физических свойств почвы, от способов полива и региона орошения. В зависимости от климатических, почвенных и гидрогеологических условий параметры режима орошения существенно изменяются.

При определении оросительных норм учитывались метеорологические условия конкретного года. Поливные нормы определялись нижним порогом влажности почвы - не менее 70% НВ, при котором протекают наиболее благоприятно биологические процессы в почве. После каждого полива влажность почвы равнялась верхнему пределу оптимальной влажности, т.е. 100% НВ, а в дальнейшем она постепенно понижалась до допустимого нижнего предела, при котором сохраняется высокая продуктивность расте-

ний. Суммарный расход влаги орошаемым полем на испарение с поверхности почвы и транспирацию растений в период их вегетации компенсировался поливами и выпадающими атмосферными осадками. Определяющими факторами водного режима почв являются атмосферные осадки, орошение и суммарное испарение.

При возделывании земляники даже небольшие засушливые периоды резко снижают ее продуктивность. В период роста и созревания земляники снижение влажности почвы только в течение одних суток приводит к заметному усыханию ягод. В зависимости от способа орошения заметно изменялся режим орошения земляники. При поливе дождеванием и увлажнении корнеобитаемого слоя почвы 0-30 см расчетные поливные нормы в зависимости от предполивной влажности почвы изменялись в пределах 101-304 м³/га, а при капельном орошении, с учетом объема увлажнения и площади питания растений (коэффициент учитывающий долю площади и неполноты увлажнения, а также неравномерность увлажнения контура по глубине по нашим данным в среднем составил 0,3) – 30,3-91,2 м³/га

Потери воды в атмосфере во влажные годы составляли в среднем 7% от поливной нормы нетто, а в аномально сухом 2010 г – 13,3%.

В 2008 г. поливы проводились в период с 15 мая по 23 августа. Оросительный период при этом составил 100 дней, а межполивные интервалы изменялись в пределах 7-14 дней. Количество поливов и их распределение определялось особенностями выпадения атмосферных осадков в течение периода вегетации. Поливы были проведены в фазы цветения и формирования завязей (4 полива), роста и созревания ягод (4 полива) и два полива в фазу закладки цветочных почек. В 2009 г было проведено 7 поливов дождеванием поливными нормами нетто 180-200 м³/га. Оросительный период продолжался 99 дней с 18 мая по 25 августа с межполивными интервалами 12 – 20 дней в зависимости от распределения осадков. Из общего количества поливов по два полива было проведено в фазы цветения и формирования завязей, роста и созревания ягод и в

период закладки цветочных почек. Один полив был проведен в фазу формирования усов. В третий год возделывания земляники (2010 г) за период вегетации было приведено 23 полива дождеванием. В первый период вегетации при обычных для данной зоны погодных условий до 16 июня было проведено всего 3 полива, а в последующий жаркий без дождевой период вегетации (до 31 августа) – 20 поливов. К поливам земляники приступили при снижении влажности почвы 80% НВ. Поливные нормы нетто при дождевании в 2010 г изменялись в пределах 170-290 м³/га и они рассчитывались на увлажнение корнеобитаемого слоя почвы 0-30 см до наименьшей влагоемкости. В аномально жаркий период поливы дождеванием проводились через 3-5 дней, а в начальный период вегетации через 9-21 день. Оросительная норма в 2010 г. составила 5280 м³/га. Наибольшее количество поливов было проведено в фазу роста и созревания ягод (11 поливов) и подано 2590 м³/га оросительной воды или 49,1% от оросительной нормы. Большой объем оросительной воды за 7 поливов было подано в фазу закладки цветочных почек – 1580 м³/га или 29,9% от оросительной нормы. В период формирования усов было проведено 3 полива с объемом поданной воды 760 м³/га, что составляет 14,4% от оросительной нормы. Наименьшее количество оросительной воды было подано в начале вегетации, в цветение и формирование завязей (350 м³/га или 6,6% от оросительной нормы). Распределение оросительной воды по месяцам вегетации при дождевании приведено на рис.1-2.

При капельном орошении распределение оросительной воды в зависимости от естественно влагообеспеченности года сохранялось аналогично поливу дождеванием. Детально режим орошения земляники рассматривается при схеме расположения поливного трубопровода на глубине 5см от поверхности земли и расположении капельниц через 33 см. Количество поливов, поливные и оросительные нормы при капельном орошении земляники изменялись в зависимости от погодных условий вегетационного периода и расположения капельниц на трубопроводе при среднем расходе капельниц

1,25 л/час. Так, при расположении капельниц на поливном трубопроводе через 33 см во влажные по естественной влагообеспеченности годы за период вегетации земляники было проведено 19 поливов в 2008 г и 18 поливов в 2009 г, а в острозасушливом 2010 г – 66 поливов. Общая оросительная норма в 2008 г. составила 960 м³/га и была меньше, чем при дождевании в 1,85 раза. В течение вегетации поливы распределялись примерно равномерно. По фазам развития растений земляники поливы распределялись неравномерно и их проведение зависело от количества выпадающих осадков. Во влажном 2008 г. наибольший объем оросительной воды был подан в фазу «роста и созревания ягод».

Во влажном 2009 г за период вегетации земляники при капельном орошении для поддержания оптимального режима предполивной влажности почвы было проведено 18 поливов в период с 18 мая по 24 августа поливными нормами 33-57 м³/га с оросительной нормой 872 м³/га. По сравнению с поливом дождеванием оросительная норма была меньше на 488 м³/га или на 35,9% (в 1,56 раза). В 2009 г наибольший объем оросительной воды был подан в июне и июле в основном в фазу роста и созревания ягод. В этот период поливы проводились через 3-5 дней.

В 2010 г, в первый период вегетации земляники капельные поливы проводились через 3-14 дней до 20 июня. Затем, с наступлением очень жаркой погоды до 25 августа поливы проводились ежедневно или через день. Всего за май – август 2010 г было проведено 66 поливов при снижении влажности почвы до 80% НВ поливными нормами 43-68 м³/га, рассчитанными на увлажнение корнеобитаемого слоя почвы 0-30 см.

Оросительная норма при этом составила 3865 м³/га и была меньше чем при поливе дождеванием на 1415 м³/га или на 28,8% (в 1,37 раза).

Наибольшее количество оросительной воды и большее число поливов было подано в фазу роста и созревания ягод – про-

ведено 32 полива и подано 1908 м³/га оросительной воды, что составляет 49,9% от оросительной нормы.

Таким образом, при капельном орошении оросительная норма во влажные годы составляла 872-960 м³/га, а в сухом году увеличилась в 4,0-4,4 раза и достигла 3865 м³/га. Во все годы исследований наибольшее число поливов и наибольший объем оросительной воды приходится на фазу роста и созревания ягод.

Расчет экономической эффективности капельного орошения приведены для земляники первого и второго года плодоношения. Учитывая, что в 2008 г производственный урожай не был получен, анализ экономической эффективности был проведен по результатам работ по капельному орошению земляники за 2009-2010 г.г. с учетом производственных затрат 2008 г. Полученные данные свидетельствуют о том, что капельное орошение земляники является экономически выгодным мероприятием, по сравнению с поливом дождеванием. Себестоимость земляники в 2009-2010 г.г. при капельном орошении была в 1,8-2,5 раза меньше, по сравнению с поливом дождеванием, а чистый доход был получен больше в 2,0-3,6 раза в зависимости от параметров капельного орошения. Если в контроле (полив дождеванием) чистый доход прибыль в 2009 г составил 282,8 тыс. рублей, то при капельном орошении он увеличился до 608,8-1025,3 тыс.рублей, а в 2010г – с 405,5 до 798,7-1196,9 тыс.рублей.

В совхозе им. Ленина Московской области базовое оборудование для капельного орошения было приобретено в Израиле. Затраты на его приобретение составили 3640 дол/га, или 109200 руб./га. Дополнительно были закуплены отечественные пластмассовые трубопроводы низкого давления в качестве магистральных и распределительных трубопроводов на сумму 7800 руб/га. При этом общие капитальные затраты на 1 га капельного орошения составили 117000 руб./га, капитальные затраты окупаются в первый же год плодоношения земляники.

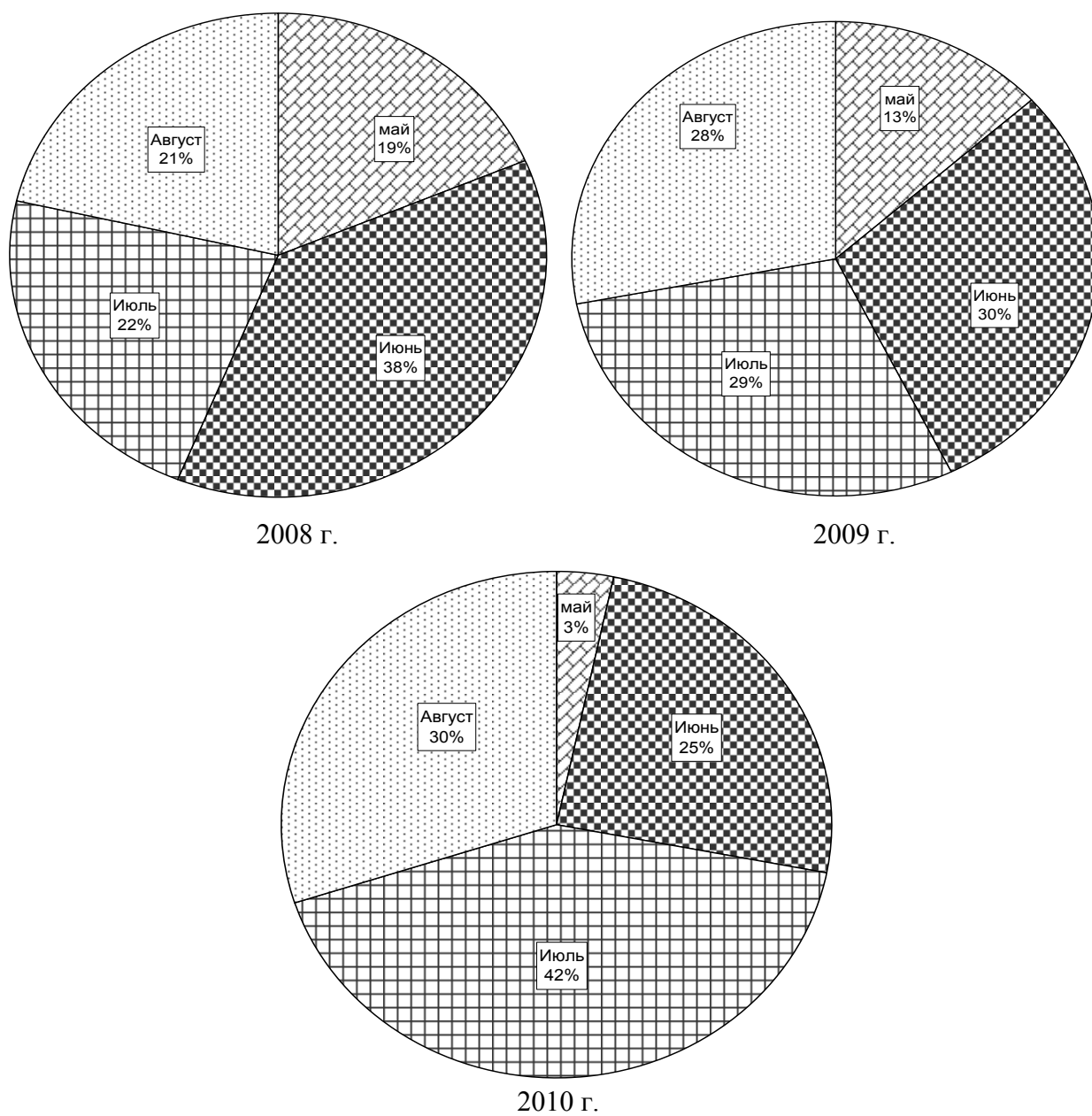


Рис.1. Распределение поливной воды по месяцам вегетации земляники при дождевании по годам исследования в % от оросительной нормы

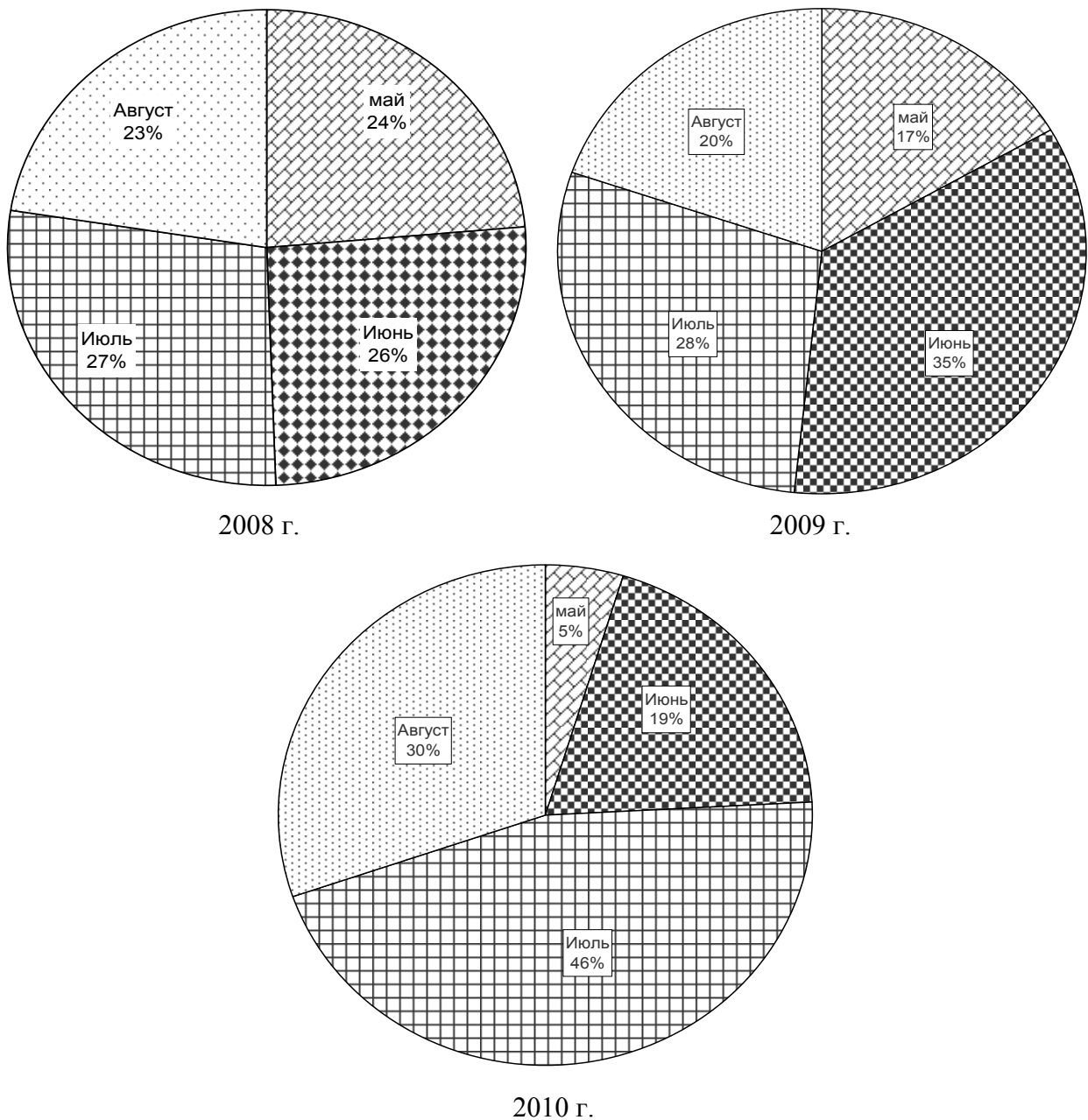


Рис. 2. Распределение поливной воды по месяцам вегетации земляники при капельном орошении по годам исследования в % от оросительной нормы

КАПЕЛЬНЫЕ ОРОШЕНИЕ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР В НЕПАЛЕ**DRIP IRRIGATION OF VEGETABLE CROPS IN NEPAL****Бхандари Башьял Бимала / Bhandari Bashyal Bimala**

Аспирант кафедры почвоведения и земледелия Российского университета дружбы народов / Graduate of Soil Science and Agriculture of the Russian Peoples' Friendship University

e-mail: jornal@geo-science.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования по влиянию минеральных удобрений на режим орошения, водопотреблением продуктивность репчатого лука на аллювиальных почвах Непала. Установлено, что с повышением порога предполивной влажности почвы и доз минеральных удобрений лука повышается.

Ключевые слова: Лук репчатый, капельное орошение межфазные периоды минеральные удобрения, водопотребление, урожайность.

Abstract. Results of research of mineral fertilizers' influence on the irrigation mode, by water consumption on efficiency of onions in alluvial soils of Nepal. It is established that with raising threshold level of preirrigation humidity of soil and doses of mineral fertilizers of onions increases.

Keywords: Onions, drip irrigation, inter-phase periods, mineral fertilizers, water consumption, productivity.

В настоящее время в Непале при выращивании овощных культур на орошаемых землях широкое распространение получил поверхностный способ полива по бороздам. На некоторых крупных сельскохозяйственных предприятиях ограничено применяется дождевание с использованием различных поливных машин и дождевальная техника. Малообъемные способы орошения в стране практически не используются из-за их отсутствия. Внедрение в практику орошаемого овощеводства малообъемных сберегающих, почвозащитных экологически безопасных технологий позволит сэкономить водные, энергетические и другие виды минеральных ресурсов страны и повысить продуктивность орошаемого поля.

Капельное орошение, создавая условия оптимального снабжения растений водой и питательными веществами, оказывает положительное влияние на их рост и

развитие, что приводит к существенному увеличению урожаев валовой и особенно товарной продукции (1-5).

В Непале капельный способ орошения при возделывании овощных культур используется без научного обоснования. Не установлено влияние капельного орошения на урожайность лука в зависимости от технологии полива. Не выявлены закономерности водопотребления и формирования водного режима почвы, не разработаны оптимальные элементы режима орошения и доз внесения минеральных удобрений. В связи с этим, целью наших исследований является разработка оптимального режима капельного орошения и доз внесения минеральных удобрений при возделывании лука в условиях Непала.

Особенности природно-климатических условий Непала позволяют получать урожай репчатого лука не менее

трех раз за год. По климатическим условиям в Непале выделяются два сезона, которые существенно отличаются по влаго-теплообеспеченности. Первый сезон теплый и влажный продолжительностью 6 месяцев, с мая по октябрь. Средняя температура сезона составляет 23,5°C а количество атмосферных осадков в сумме равно 1300мм. В этот период сельскохозяйственные культуры, за исключением риса, возделываются без орошения. Во второй умеренно теплый и сухой сезон года, который продолжается с ноября по апрель, средняя температура воздуха составляет 21°C а сумма осадков-79 мм. В сухой умеренно теплый сезон сельскохозяйственные культуры возделываются только при орошении. В этот период года особенно перспективно использование капельного орошения при возделывании овощных культур, и в частности лука.

На равнинном поле Терай т.е. на сравнительно равнинных участках в основном размещены все сельскохозяйственные культуры Непала. В горной местности, на нижних склонах хребтов на небольших по размерам территориях активно практикуется террасное земледелие, в целях расширения пахотных земель.

Наши исследования проводились в Юго-западном Непале. В пределах равнинной полосы Терай, в междуречья рек Тйнау, Рохини Нади. Опытный участок расположен на водоразделе на расстоянии 6км от русла реки Рохини Нади на землях крестьянского (фермерского) хозяйства, «Упстарт». Для данного района он является типичным по геоморфологическим, геологическим, гидрологическим и другим природным условиям.

Почва опытного участка аллювиальная с заметно выраженной слоистостью профиля, различиями в плотности сложения и гранулометрическом составе. В профиле почвы имеются незначительные карбонатные новообразования в виде точек и прожилок. Гумусовый горизонт имеет серый цвет. Содержание гумуса в верхнем пахотном слое 0-30см составляет 1,75%. Согласно градации гумусированности (Зонн С.В., 1986) рассматриваемые почвы можно отнести к обеспеченным органическим веществом, хо-

тя подобные субтропические аллювиальные почвы Азии содержат гумуса существенно больше, в пределах 2-5% от почвенной массы. В изучаемых почвах распределение гумуса по профилю равномерное, но с некоторым убыванием к низу. Общее содержание азота в верхнем пахотном горизонте 0-30см низкое и в среднем составляет 0,11% (менее 0,2%). Верхний слой почвы характеризуется щелочной реакцией, $pH_{\text{воды}}$ в слое 0-30см составляет 8,4.

Почва характеризуется достаточно высокой поглотительной способностью. Емкость катионного обмена (ЕКО) в верхнем слое почвы (0-30см) составляет 30,6 мг экв/100г. При этом содержание обменного кальция составляет 80-90% от суммы, а обменного магния -10-15%. Почва низко и слабо обеспечена питательными веществами. Содержание подвижного фосфора составляет 2-3мг/100г, а обменного калия 6-9мг/100г.

По гранулометрическому составу почва опытного участка среднесуглинистая. Плотность сложения почвы в слое 0-20 см составляет 1,25 г/см³, в нижних слоях отмечается увеличение плотности сложения до 1,40-1,45г/см³.

Опыт по возделыванию лука при капельном орошении заложен по двухфакторной схеме. Фактор А- режим предполивной влажности почвы, Фактор В- дозы минеральных удобрений.

В схеме опыта по фактору А изучались три режима предполивной влажности почвы 90-80-70%, 80-80-70% и 80-70-60% НВ (наименьшей влагоемкости) в расчетном слое почвы 0,3--0,4-0,4м. соответственно межфазным периодам посев-начало образования луковиц, начало образования луковиц - начало полегания и начало полегания -уборка.

Схемой опыта по фактору „ В" было предусмотрено также три режима питания. Согласно нормативом, с учетом наличия питательных веществ в слое почвы 0-30 см, принятым в Непале по внесению минимальных удобрений под урожай лука 40т/га, принимается $N_{85} P_{80} K_{45}$ д.в. При этом к периоду уборки содержание их может снижаться примерно до низкого уровня: $N_{\text{гр}}-2,5\text{мг}/100\text{г}$, $P_2O_5-1,5\text{мг}/100$ и $K_2O-3,5 \text{ мг}/100\text{г}$. Две другие дозы минерального питания рассчитыва-

лись на урожайность 60 и 80т/га по выносу питательных веществ, который принимался 5; 3; 5 кг/га на 1т лука соответственно по азоту легкогидролизуемому, подвижному фос-

фору и обменному калию и составляли N₁₈₅ P₁₄₀ K₁₄₅ (для получения 60^т/га лука) и N₂₈₅ P₂₀₀ K₂₄₅ (для получения 80^т/га лука). Двухфакторная схема опыта приведена в табл.1.

Таблица 1
Схема полевого опыта при капельном орошении лука-репки в 2010-2011г.

Номер варианта	Режим передполивной влажности почвы по периодам вегетации, % НВ			Дозы питательных элементов, кг/га		
	Посев-начало образования луковиц	Начало образования луковиц-начало полегания	Начало полегания-уборка	N	P	K
1	90	80	70	85	80	45
2	90	80	70	185	140	145
3	90	80	70	285	200	245
4	80	80	70	85	80	45
5	80	80	70	185	140	145
6	80	80	70	285	200	245
7	80	70	60	85	80	45
8	80	70	60	185	140	145
9	80	70	60	285	200	245

Варианты опыта расположены систематически, повторность опыта трехкратная. Размер каждой учетной площади единичной делянки, включающей сочетание двух исследуемых факторов составлялся 48м², а одной учетной делянки -9,6м².

Закладка и проведение полевых исследований осуществлялись в соответствии с требованиями методики опытного дела (6). В процессе исследований проводились учеты и анализы почв. Отбор почвенных образцов проводили по всем вариантам опыта. Наблюдения за влажностью почвы осуществлялось на динамических площадках по методике А.А.Роде. Влажность определяли термостатно - весовым методом и по тензиометрам. Суммарные водопотребление определялось методом водного баланса и по испарометру. Учет поливной воды проводился по продолжительности полива (по расходу капельниц) и по расходомеру, а контроль осуществлялся по мерным цилиндрам с учетом напора воды в поливных трубопроводах. Поливная норма рассчитывалась на увлажнение активного слоя почвы 30-40-40 см с учетом продолжительности межфазных периодов по фазам развития и площади увлажнении. Учет урожая лука

проводился вручную по каждой делянке с разделением по крупности фракций. Экспериментальные данные были обработаны методами математической статистики.

Предшественником лука в опыте являлся рис. Для лука очень большое значение имеет высокое качество подготовки почвы. Нет другой овощной культуры более требовательной к обработке почвы, чем лук. Это объясняется слаборазвитой и поверхностно расположенной корневой системой и очень медленным ростом растений в первый период после посева.

После уборки риса проводилось лушение стерни в 2 следа дисковыми боронами на глубину 0,06-0,08 м. Затем проводилось вспашка тракторным плугом с оборотом пласта. После вспашки проводилось покровное боронование в 2 следа. Перед посевом была проведена предпосевная культивация и легкое уплотнение почвы катками. Семена высевали тракторной овощной сеялкой через 2-3 см на глубину 1,5-2,0 см. При выращивании лука-репки ширина междурядий должна составлять 15-20см. Нами принята схема посева – шестистрочная лента с расстоянием между рядами 16см, и шириной захвата 80см и между строками 70см с об-

шей шириной полосы 1,5 м. До посева опытной участок был обработан гербицидом сплошного действия «Стомп» нормой 5 л/га

При появлении 1–2 настоящих листьев лук прорывали, оставляя расстояния между растениями 6–10 см. Расход семян при посеве сеялками точного высева составлял в пределах 4–5 кг/га (примерно 1 мил семян на 1 га). Уход за посевами включал две культивации, обработку почвы против вредителей и болезней. При этом использовали различные препараты для борьбы с вредителями: Золон, Конфидор, Актара, и другие. В течение вегетационного периода проводили поливы согласно схемы опыта с одновременным внесением удобрений. Уборка лука проводилась вручную. Сначала лук выдерживался и складывался в валки. Валки лука подсыхали в течение нескольких дней. Далее ботва обрезается и лук затаривается в мешки и реализуется с поля.

В опыте использовалась Израильская система капельного орошения GALLILEO со средним расходом капельниц 0,8 л/час при автоматизированном назначении сроков полива с помощью тензиометров или эвапарометра по влажности почвы или дефициту водопотребления. Одним из трудоемких процессов является тщательная укладка поливных трубопроводов, так как эта работа осуществляется вручную. Особо важно отметить, что капельные трубопроводы необходимо закреплять к поверхности почвы штырями длиной 0,20 м через каждые 20 м во избежание сноса трубки с места полива под действием ветра. Поливные трубопроводы размещены по поверхности земли через 48 см друг от друга. На трубопроводе капельницы расположены через 25 см. Расстояния между растениями в ряду составляли 6–10 см. При расстоянии между рядами растений 16 см, ширина строки составляла 80 см, а между строками 70 см с общим размером полосы 1,5 м. Опытный участок размещен на участке 1 га (196,08 м*51 м). Длина капельных трубопроводов составляла 196 м, а их количество – 68 штук. По ширине опытного участка было размещено 34 полосы по 1,5 м. На каждой полосе при ширине строчки 80 см было уложено 2 поливных трубопровода через 48 см друг от друга. На каждом

поливном трубопроводе размешено 784 капельницы через 25 см, а всего капельниц 53312 штук на 1 га. При среднем расходе капельницы 0,8 л за 1 час на 1 га будет подано 42,65 м³ воды.

В дельнейшем приступают к монтажу фильтра и раскладка гибких магистрального и распределительного трубопроводов; производится установка соединительных ниппелей, кранов, задвижек, манометров. Последним этапом работы является соединение системы капельного орошения с фильтровальной установкой (фильтры грубой очистки и доочистки) рядом с которой находится вертикальная скважина. Грунтовая вода для орошения откачивается из скважины насосом. Очень важно периодически осуществлять промывку капельной системы с целью очистки труб и капельниц от илистых частиц и других веществ, приводящих к быстрому износу труб и к их разрушению. При промывке использовался 0,6% раствор ортофосфорной или хлорной кислоты.

Технология капельного орошения и технологические схемы размещения капельных линий изменяются в зависимости от возделываемой культуры, почвенно-климатических и рельефных условий и многих других факторов. Исследования проводились в долине Катманду в 150 км к югу столицы Непала. Режим орошения лука подерживался на оптимальном уровне в течение вегетационных периодов. По обеспеченности дефицита водного баланса для лука первый год исследований характеризовался как сухой. Как известно, составляющими баланса водопотребления у сельскохозяйственных культур, в том числе овощей, являются: расход воды из почвы, атмосферные осадки, оросительная норма и подпитка грунтовых вод, если они залегают на глубине 1,5–2,0 м. Водопотребление лука, как за вегетационный период так и по фазам вегетации определялось главным образом напряженностью метеорологических факторов. При проведении исследований условно были приняты три основных межфазных периода вегетации лука. Первый период „посев – начало образования луковиц“ продолжительностью 46 суток с 1 ноября по 16 декабря со среднесуточной температура воздуха 22,6°С.

Второй период „начало образования лукович- начало полегания" продолжительностью 56 суток с 17 декабря по 10 февраля. Среднесуточная температура воздуха за этот период составляет 18,5°С. Продолжительность третьего межфазного периода „ начало полегания - уборка " составляла 48 суток с

11 февраля до 31 марта при среднесуточной температура воздуха 23,3°С.

В зависимости от продолжительности межфазного периода, среднесуточной температуры воздуха и режима предполивной влажности почвы изменялось количество поливов и объём оросительной воды (табл.2).

Таблица 2

Режим орошения лука по межфазным периодам (данные за 2010/2011г)

Межфазный период	Продолжительность фазы, сут	Среднесуточная T_{cp} , °С	Режим предполивной влажности почвы, % НВ	Число поливов	Объём оросительной воды, м ³ /га	Средняя полива норма, м ³ /га
Посев – начало образования лукович	46	22,6	90-80-70	22	1160	52,7
			80-80-70	16	1040	65
			80-70-60	15	990	66
Начало образования лукович – начало полегания	56	18,5	90-80-70	16	2026	12,6
			80-80-70	15	1950	130
			80-70-60	11	1881	171
Начало полегания – уборка	48	23,3	90-80-70	11	2299	209
			80-80-70	10	2260	226
			80-70-60	6	1464	241
За период вегетации лука	150	21,4	90-80-70	19	5485	111,9
			80-80-70	41	5250	128,0
			80-70-60	32	4335	135,5

В первый межфазный период было проведено от 15 до 22 поливов со средней поливной нормой 52,7-66 м³/га, во второй период соответственно 11-16 и 126,6-171 м³/га, а в третий - 6-11 поливов по поливной нормой 209-244 м³/га. Для поддержания влажности почвы в диапазоне 90-80-70 % НВ потребовалось провести 49 поливов. Средней поливной нормой 111,9 м³/га при оросительной норме 5485 м³/га. При снижении порога предполивной влажности почвы до 80-80-70% НВ. Число поливов уменьшилось до 41 а оросительная норма - на 235 м³/га. Наименьшая величина оросительной нормы была получена при режиме влажности почвы 80-70-60 % .Здесь было проведено наименьшее число поливов (32) оросительного воды (4335 м³/га) за вегетации).

В результате проведенных исследований (табл.3) установлено, что самый высокий расход воды за вегетацию был на варианте с предполивным порогом влажности почвы 90-80-70 % НВ и составил 5699 м³/га при среднесуточном водопотреблении-38,0 м³/га. Снижение порога предполивной влажности почвы до 80-80-70% НВ приводит к уменьшению суммарного и среднесуточного водопотребления лука соответственно до 5498 и 36,7 м³/га. Наименьший расход воды за период вегетации был зафиксирован при поддержании предполивной влажности почвы на уровне 80-70-60% НВ.(4606 м³/га) при среднесуточном расходе 30,7 м³/га). Следовательно с увеличением режима предполивной влажности почвы улучшаются условия водоснабжения растений лука.

Анализ водного баланса показывает, что основная доля суммарного водопотребления лука (более 94%) приходится на оросительную норму.

В зависимости от режима орошения и доз внесения минеральных удобрений изменялась урожайность лука и коэффициент водопотребления (табл.4).

Таблица 3

Водный баланс и водопотребление лука (данные за 2010/2011г)

Межфазные Периоды	Продолжительность фазы, сут	Ср.сут. Т _{ср} , °С	Режим влажности почвы, % НВ	Расход воды из почвы, м ³ /га	Осадки, мм	Оросительная вода, м ³ /га	Водопотребление, м ³ /га	
							Суммарное	Суточное
Посев – начало образования луковиц	46	22,6	90-80-70	22	0	1160	1201	26,1
			80-80-70	16	0	1040	1087	23,6
			80-70-60	15	0	990	1038	22,6
Начало образования луковиц – начало полегания	56	18,5	90-80-70	16	106	2026	2154	38,5
			80-80-70	15	106	1950	2087	37,3
			80-70-60	11	106	1881	2026	36,2
Начало полегания – уборка	48	23,3	90-80-70	11	0	2299	2344	48,8
			80-80-70	10	0	2260	2324	32,1
			80-70-60	6	0	1464	1542	38,0
Вегетационный период лука	150	21,4	90-80-70	19	106	5485	5699	36,7
			80-80-70	41	106	5250	5498	30,7
			80-70-60	32	106	4335	4606	135,5

Таблица 4

Урожайность лука (т/га) и коэффициент водопотребления (м³/т) в зависимости от режимов капельного орошения (данные за 2010/2011г.)

Номер варианта	Режим предполивной влажности почвы по межфазным периодам, % НВ	Дозы минеральных удобрений, кг/га по д.в.	Урожайность лука, т/га	Коэффициент водопотребления, м ³ /т
1	90-80-70	N ₈₅ P ₈₀ K ₄₅	36,6	143,9
2	90-80-70	N ₁₈₅ P ₁₄₀ K ₁₄₅	60,1	94,8
3	90-80-70	N ₂₈₅ P ₂₄₀ K ₂₄₅	78,7	72,4
4	80-80-70	N ₈₅ P ₈₀ K ₄₅	37,1	148,2
5	80-80-70	N ₁₈₅ P ₁₄₀ K ₁₄₅	57,2	96,1
6	80-80-70	N ₂₈₅ P ₂₄₀ K ₂₄₅	73,8	74,5
7	80-70-60	N ₈₅ P ₈₀ K ₄₅	34,1	135,1
8	80-70-60	N ₁₈₅ P ₁₄₀ K ₁₄₅	53,7	85,8
9	80-70-60	N ₂₈₅ P ₂₄₀ K ₂₄₅	70,1	65,7
НСР ₀₅ по фактору А			2,34	-
НСР ₀₅ по фактору В			13,1	
НСР ₀₅ для частных средних			14,7	

Наиболее высокая урожайность лука была получена на варианте с высоким режимом предполивной влажности почвы (90-80-70% НВ) и при внесении повышенной дозы минеральных удобрений N₂₈₅ P₂₀₀ K₂₄₅ (78,7

т/ га). При меньшей дозе внесения удобрений (N₈₅ P₈₀ K₄₅) и аналогичном режиме орошения урожайность уменьшилась почти в два раза (39,6 т/ га). При понижении режима предполивной влажности почвы и доз

внесения минеральных удобрений наблюдалось снижение урожайности лука.

В зависимости от режима увлажнения почвы и минерального питания изменялся расход влаги на формирование единицы урожая. Наиболее продуктивного оросительную воду используют растения лука при внесении повышенных доз минеральных удобрений, где коэффициент водопотребления был самый низкий (65,7-74,5 м³/г).

Таким образом, при капельном орошении репчатого лука наибольшая продуктивность обеспечивается при поддержании на посевах предполивного порога влажности почвы 90-80-70% НВ в слое почвы 30-40-40 см и дозе внесения минеральных удобрений на 1 га из расчета N₂₈₅ P₂₀₀ K₂₄₅ д.в.

Литература

1. Бородычев В.В. *современные технологии капельного орошения овощных культур: научное издание. Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», Волгоград 2010.-241с.*
2. Бородычев В.В., Казаченко В.С. *режим орошения и продуктивность репчатого лука. - Мелиорация и водное хозяйство.-2011.- № 2.с. 31-33.*
3. Щедрин В.Н., Кулыгин В.А. *особенности водопотребления овощных культур по периодам вегетации при орошении.- Мелиорация и водное хозяйство.-2011.- № 2-с.-28-31.*
4. Шуравилин А.В. *Технология капельного орошения земляники на дерново-подзолистых почвах Московской области. / Шуравилин А.В. Ляшко М.У., Аишаф Елсайед Махмуд Елсайед.// Землеустройство, кадастр и мониторинг земель.2010.- №8.-с.59-64.*
5. Шуравилин А.В., Кибика А.И. *Мелиорация. Учебное пособие.-М.: икф «ЭКМОС», 2006.-944с.*
6. Доспехов Б. А. *Методика полевого опыта // Б. А. Доспехов. – М.: Агрпромиздат, 1985.– 351 с.*

ЕВГЕНИЮ МИХАЙЛОВИЧУ ЧЕПУРИНУ – 60 ЛЕТ

6 февраля Евгению Михайловичу Чепурину, кандидату экономических наук, профессору кафедры землеустройства, проректору по учебно-методической работе Государственного университета по землеустройству, исполнилось 60 лет.

Евгений Михайлович родился 6 февраля 1951 года в городе Москве.

В 1973 году с отличием окончил Московский институт инженеров землеустройства (МИИЗ) по специальности «Землеустройство», получив квалификацию инженера-землеустроителя, в 1979 году аспирантуру по кафедре землеустроительного проектирования, в 1989 году защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Формирование сырьевых зон сахарных заводов и землеустройство свеклосеющих хозяйств (на материалах АПК Орловской области)». В 1991 году Е.М.Чепурину присвоено учёное звание доцента.

В 1973-1975 гг. Е.М.Чепурин – инженер, младший научный сотрудник научно-исследовательского сектора, в 1976-1992 гг. – ассистент, старший преподаватель, доцент кафедры землеустроительного проектирования, в 1992-1993 гг. – главный специалист от-

дела. В 1985-1991 гг. Евгений Михайлович – заместитель декана заочного факультета., в 1991-1992 гг. – декан землеустроительного факультета. Евгений Михайлович является высококвалифицированным профессиональным педагогом. В период работы на кафедре землеустроительного проектирования выполнял все виды учебной работы по дисциплинам «Землеустроительное проектирование», «Научные основы землеустройства», «Экономико-математические методы и моделирования в землеустройстве»: читал лекции, проводил семинары, практические и лабораторные занятия, руководил курсовым и дипломным проектированием, производственной и преддипломной практикой студентов, осуществлял приём зачётов и экзаменов, участвовал в работе Государственных экзаменационных комиссий (ГЭК) по приёму государственных экзаменов и защите дипломных проектов. Под его руководством студентами подготовлено и защищено 108 дипломных проектов на реальных производственных объектах. В настоящее время продолжает заниматься профессиональной педагогической деятельностью.

Научно-исследовательская работа посвящена решению актуальных проблем со-

временного российского общества – оптимизации использования земли и территориальной организации производства на основе разработки и формирования системы внебюджетного инвестирования в жилищной сфере.

В период осуществления Продовольственной Программы СССР (1982-1990 г.г.) в составе творческого коллектива учёных кафедры земпроектирования, разработал научно-методические основы и экспериментальный проект организации территории подсобного хозяйства Управления строительства “Березникихимстрой” Пермской области, который прошёл практическую апробацию, а также провёл большую работу по составлению проектов совершенствования севооборотов в хозяйствах Зарайского района Московской области. В условиях перехода экономики страны на рыночные отношения в 1992 году включён в работу по поиску новых способов решения острой жилищной проблемы. Является одним из авторов Московской городской Программы “Жилище на 1995-2005 годы (1994г.), а также одним из ведущих разработчиков первых в России моделей внебюджетного финансирования и организации процесса инвестирования жилищного строительства “Фьючерсинвест”, “Комбиинвест”, “Рентантный залог” и других, предусматривающих щадящие для граждан механизмы рассрочек оплаты приобретаемого строительства (1992 г.).

В 1993-2002 гг. Е.М.Чепурин – Руководитель Центра целевых программ, в 2002-2007 гг. – сотрудник Открытого Акционерного общества “Корпорация “Жилищная инициатива”. Итоги работы ОАО “Корпорация Жилищная инициатива” по осуществлению социальных жилищных программ в Северо-Восточном, Восточном, Юго-Восточном и Южном округах г. Москвы на основе базовой модели “Комбиинвест” в 1998 году одобрены Министерством РФ и рекомендованы для использования во всех регионах России. Она успешно применяется в ряде крупных российских городов.

Работая в ОАО “Корпорация Жилищная инициатива” Евгений Михайлович выступал и как организатор, и как докладчик на Всероссийских и региональных семинарах и конференциях по вопросам ипотеки, внебю-

джетного инвестирования строительства жилья и риэлтерской деятельности, на которых повышали квалификацию руководители и ведущие специалисты органов исполнительной власти субъектов РФ в области экономики и организации строительства, работники банков, риэлтерских и страховых компаний.

Е.М.Чепуриным подготовлено более 50 научных и учебно-методических работ общим объёмом 36,4 печатных листа. В соавторстве с учёными кафедры земпроектирования им впервые в СССР в системе Высшего землеустроительного образования подготовлены и изданы “Практикум по экономико-математические методы и моделирование в землеустройстве” (1991г.) и методические указания и задания для выполнения расчётно-графических работ по дисциплине “Экономико-математические методы моделирование в землеустройстве” по специальности “Землеустройство” (1987 г.) В соавторстве с учёными и специалистами ОАО “Корпорация Жилищная инициатива” им впервые в России издан Справочник риэлтора (1994г.), выдержавший несколько изданий и служивший практическим пособием. На научно-методическую разработку по системе инвестирования строительства жилых домов “Комбиинвест” и “Программу организационно-финансового обеспечения строительства жилья по городскому заказу” получены авторские свидетельства Российского Авторского Общества.

В 2004 году Е.М.Чепурин избран членом-корреспондентом Российской Академии естественных наук по Секции научных проблем агропромышленного комплекса. За заслуги в развитии землеустроительного образования, науке и поддержке традиций межевой школы решением Учёного Совета Государственного университета по землеустройству награждён медалью Константиновского Почётного Знака. В 2007 году большой личный вклад в развитие строительной отрасли, многолетний добросовестный труд и успешное выполнение производственных заданий приказом министра регионального развития РФ присвоено звание “Ветеран труда”.

В 2007-2011 гг. Евгений Михайлович – декан факультета Городского кадастра Государственного университета по землеустрой-

ву, за время работы на этой должности внес большой вклад в развитие факультета, открыл магистратуру по направлению «Геодезия». Стал одним из соавторов третьего поколения государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению «Землеустройство и кадастры».

С 2011 года – Евгений Михайлович Чепурин – проректор по учебно-методической работе Государственного университета по землеустройству, заместитель председателя Учебно-методического объединения вузов

Российской Федерации по образованию в области землеустройства и кадастров. В том же году Е.М.Чепурин вошел в Редакционный совет нашего журнала.

Редакция Международного научно-технического и производственного журнала «Науки о Земле» от всей души поздравляет Евгения Михайловича с юбилеем, желает ему многих лет жизни, крепкого стабильного здоровья, отличного настроения, большого счастья, дальнейших успехов в педагогической, научной и административной деятельности.

ВЛАДИМИРУ ИВАНОВИЧУ КАФТАНУ – 60 ЛЕТ



5 июня 2011 года Владимир Иванович Кафтан, доктор технических наук, известный в России и зарубежом ученый-геодезист, празднует шестидесятилетие со дня рождения, сороколетие трудовой деятельности и двадцатилетие работы в Центральном научно-исследовательском институте геодезии, аэро съемки и картографии им. Ф.Н.Красовского (ЦНИИГАиК).

Владимир Иванович родился 5 июня 1951 года в семье служащего.

В 1971 году окончил Московский топографический политехникум по специальности техник-геодезист. По распределению работал в полевых экспедициях Московского аэрогеодезического предприятия, параллельно обучаясь на заочном отделении Московского института инженеров геодезии, аэро съемки и картографии (ныне МГУиК).

В 1978 году Владимир Иванович успешно окончил институт, получив квалифи-

кацию инженера-геодезиста по специальности «Прикладная геодезия».

Во время своей трудовой деятельности Владимир Иванович занимался восстановлением пунктов государственной геодезической сети, камеральной обработкой результатов геодезических измерений. Возглавил координационную группу по уравниванию астрономо-геодезической сети.

В 1985-1988 годах обучался в заочной аспирантуре ЦНИИГАиК. В 1988 году успешно защитил диссертацию «Математико-статистический анализ геодезических наблюдений за движениями земной поверхности» на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В 1990-1995 годах Владимир Иванович работал старшим научным сотрудником ЦНИИГАиК. В 1995 году его перевели в центральный аппарат министерства по чрезвычайным ситуациям Российской Федерации.

В 1997 году вернулся в ЦНИИГАиК на должность заведующего лабораторией спутниковой геодезии и геодинамики, где и работает до сих пор. Основные направления научной работы: геодезические методы решения геодинимических задач, математическая обработка повторных геодезических измерений, анализ и интерпретация временных изменений геопространственных характеристик. Владимир Иванович является автором одного из наиболее точных прогнозов 23 солнечного цикла. По завершении четырехлетних отчетных периодов трижды являлся соавтором Национальных отчетов, представляемых на Ге-

неральную ассамблею Международной ассоциации геодезии, Комиссии «Современные движения земной коры». Владимир Иванович совмещает научную работу в ЦНИИГАиК с педагогической деятельностью в МГУГиК, дважды был председателем Государственной аттестационной комиссии в Государственном университете по землеустройству. Постоянно участвует в российских и зарубежных научных конференциях. Является членом редакционного совета Международного научно-технического и производственного журнала «Науки о Земле».

В 2003 году Владимир Иванович на заседании диссертационного совета Московского государственного университета путей сообщений защитил диссертацию «Временной анализ геопространственных данных: кинематические модели» на соискание ученой степени доктора технических наук.

Владимир Иванович награжден нагрудными знаками «Отличник геодезии и картографии» (1999) и «Почетный геодезист» (2001), является почетным выпускником Московского колледжа геодезии и картографии (2005). Является автором и соавтором более 100 научных публикаций.

Редакция Международного научно-технического и производственного журнала «Науки о Земле» от всей души поздравляет Владимира Ивановича с юбилеем, желает ему многих лет жизни, крепкого стабильного здоровья, отличного настроения, большого счастья, дальнейших успехов в научной и производственной деятельности.

50 ЛЕТ АГРАРНОМУ ФАКУЛЬТЕТУ РУДН

В 2011 году исполняется 50 лет со дня основания Аграрного факультета Российского университета дружбы народов. Факультет является одной из ведущих педагогических и научных школ, широко известной как в России, так и за рубежом.

Редакция нашего журнала от всей души поздравляет профессорско-преподавательский состав, сотрудников, студентов, аспирантов и магистрантов «Факультета

Жизни» со славным Юбилеем. Желаем дальнейшего процветания факультета, крепкого здоровья и большого счастья его прекрасному коллективу, новых достижений в педагогической и научной деятельности.

В следующем выпуске нашего журнала Вы сможете прочитать большое интервью декана Аграрного факультета д.с.-х.н., профессора Вадима Геннадьевича Плющикова.

МАРИЯ ИВАНОВНА ЮРКИНА
(1923-2010)



26.10.2010 г. на 87-ом году жизни скончалась Мария Ивановна Юркина.

Имя М.И. Юркиной – крупного учено-геодезиста нашей страны – широко известно во всем геодезическом мире прежде всего в области теоретической геодезии.

Родилась Мария Ивановна 4 декабря 1923 г. в Твери в семье Ивана Александровича и Марии Николаевны Юркиных. Отец М.И. Юркиной родился в крестьянской семье в деревне Полукарпове вблизи села Кузьминского, имел медицинское образование.

После арестов родителей М.И. Юркина жила с бабушкиными родными – сестрой Анной Николаевной и братьями Ильей и Михаилом Николаевичами Марковыми – инженерами-путейцами. Окончив в 1941 г. среднюю школу, М.И. Юркина сначала поступила на оптико-механический факультет, а затем, в октябре 1941 г. перешла на геодезический факультет по специальности астрономо-геодезия, где училась с интересом и старательно.

В октябре 1946 г. М.И. Юркина была принята инженером в штат ЦНИИГАиК, с 1948 г. – аспирантом, с 1950 г. – старшим инженером. В 1952 г. уволена по сокращению штатов. В 1953-55 гг. работала по договору в Институте научной информации. С 1955 г. работала в ЦНИИГАиКе младшим научным сотрудником, с 1960 г. – старшим научным сотрудником, с 1988 г. – старшим научным сотрудником-консультантом геодезического отдела ЦНИИГАиКа.

В 1951 г. М.И. Юркина защищает кандидатскую диссертацию, посвященную вычислению уклонений отвеса в горном районе Крыма по формулам Молоденского. В этом же году под руководством М.С. Молоденского защищает свою кандидатскую диссертацию Владимир Федорович Еремеев, становится старшим научным сотрудником и женится на Марии Ивановне. Увольнение в 1952 году, видимо, связано с тем, что анкетные данные Марии Ивановны не позволяли работникам отдела кадров считать её благонадёжной. После посмертной реабилитации родственников, Мария Ивановна продолжила работу в ЦНИИГАиКе.

М.С. Молоденский хлопотал за неё сначала в Геофизическом институте АН СССР, затем перед руководителем Главного управления геодезии и картографии А.Н. Барановым с просьбой сохранить её для науки. Пройдя школу политических репрессий, освоив новейшую научную школу М.С. Молоденского, М.И. Юркина прошла школу инсти-

тута научной информации, что помогло ей стать не только выдающимся ученым, но также большим знатоком научной литературы.

В 1976 г. Мария Ивановна защитила докторскую диссертацию на актуальную тему «Определение внешнего земного гравитационного поля через плотность простого слоя по наземным и спутниковым данным с топографическими поправками».

Премия имени Ф.Н. Красовского присуждена за «Цикл работ по развитию теоретических обоснований решений фундаментальных задач геодезии», выполненный доктором технических наук М.И. Юркиной в период с 1955 года по 2003 год совместно с кандидатом технических наук В.Ф. Еремеевым, работавшим в ЦНИИГАиК с 1937 г. по 1972 г.

М.И. Юркиной выполнены исследования по следующим фундаментальным научным направлениям теоретической геодезии:

- Исследование задачи Молоденского в эллипсоидальной системе координат.
- Теория высот в гравитационном поле Земли.
- Совместное определение гравитационного поля и движений земной коры по повторным определениям нивелирования и гравиметрии. Установление начала отсчета.
- Уточнение расчета нутации за смещение действующих сил с центра земной массы.

Талант, широкая эрудиция, настойчивость, огромная работоспособность, принципиальность и требовательность при проведении исследований позволили Марии Ивановне откликаться на самые важные запросы науки и практики. При своем сильном характере и ярко выраженной индивидуальности Мария Ивановна была очень скромным человеком, доброжелательной и любила работать в коллективе.

Память о Марии Ивановне Юркиной навсегда останется в наших сердцах, а её труды будут служить многим поколениям исследователей.