СГУГиТ
СИБИРСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ГЕОСИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЙ

Учредитель федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Сибирский
государственный университет геосистем
и технологий» (СГУГиТ)

Вестник СГУГиТ

Научный журнал
Издается с 1996 г.
Выходит 6 раз в год

Том 26, № 4, 2021

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

- М. А. Алтынцев, Каркокли Хамид Маджид Сабер.* Методика автоматизированного уравнивания данных мобильного лазерного сканирования 5
- Б. Т. Мазуров, Т. В. Лобанова, Т. Е. Елишина, Д. А. Абжапарова.* Оценка современной геодинамической ситуации Таштагольского железорудного месторождения 24

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

- В. А. Бударова, Н. Г. Мартынова, А. В. Шереметинский.* Содержание и практика формирования цифрового информационного пространства автотранспортной инфраструктуры 32
- И. А. Керчев, Е. С. Волкова, М. А. Мельник.* Возможности ГИС для изучения процессов распространения уссурийского полиграфа в пихтовых лесах Сибири 44
- К. С. Лебедева, П. Ю. Бугаков.* Разработка методики создания геоинформационной системы для анализа велоинфраструктуры в г. Новосибирске 55
- И. Д. Махатков.* Индекс полевого обследования территории при среднемасштабном картографировании 65
- Т. С. Молокина, А. А. Колесников.* Анализ состояния и перспективы развития визуализации пространственных данных 73
- Л. К. Радченко, Г. П. Мартынов.* Картографический аспект познания окружающей действительности 83

Главный редактор

Д. т. н., проф.
Карпик Александр Петрович

Заместители главного редактора:

Д. т. н., проф. Д. В. Лисицкий
Д. т. н., проф. Г. А. Уставич

Редакционная коллегия:

Д. т. н., проф. В. С. Айрапетян
Д. б. н. К. С. Байков
К. т. н., проф. Г. Гиенко (США)
Д. т. н., проф. С. Златанова
(Нидерланды)
Д. т. н., доц. А. В. Комиссаров
Д. т. н., проф. М. Конечны (Чехия)
Д. ф.-м. н., проф. С. М. Копейкин
(США)
Д. б. н., проф. Ю. В. Кравцов
К. ф.-м. н., доц. Е. Левин (США)
Д. т. н., проф. Е. М. Мазурова
Акад. РАН Н. П. Похиленко
Д. ф.-м. н., проф. О. А. Романовский
Д. т. н., проф. А. П. Сизов
Д. г. н., проф. В. С. Тикунов
Д. ф.-м. н., проф. В. Ю. Тимофеев
Д. т. н., проф. А. С. Толстиков
Д. т. н., проф. Л. К. Трубина
Д. т. н., доц. В. С. Хорошилов
Д. т. н., проф. Ю. В. Чугуй
Д. т. н., проф. Д. А. Шаповалов
Акад. РАН М. И. Эпов
Д. т. н., проф. Р. Ягер (Германия)

До 2015 г. журнал выходил
под названием «Вестник СГГА»

С 2017 г. нумерация журнала
включает номер тома
(порядковый номер года издания)
и номер выпуска в текущем году

© СГУГиТ, 2021

Журнал зарегистрирован
Федеральной службой
по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций –
свидетельство ПИ № ФС 77-62654
от 10 августа 2015 г.

Журнал входит в Перечень
рецензируемых научных
изданий, в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций
на соискание ученой степени
кандидата и доктора наук

Журнал включен
в Российский индекс
научного цитирования (РИНЦ)

**Подписные индексы
в каталогах:**

«Пресса России» – 43809
Электронный каталог
«Российская периодика»
(www.ideg.ru) – 43809э

Технический редактор журнала
А. В. Конева

Адрес редакции и издателя:
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 10
E-mail: vestnik@snga.ru
Тел. (383)361-06-55
http://vestnik.snga.ru

Перевод на английский язык
Д. В. Романова

Редакторы:
Е. К. Деханова
О. В. Георгиевская
Ю. С. Мерзликина

Компьютерная верстка
Н. Ю. Леоновой

Свободная цена.

Дата выхода в свет 26.08.2021.
Формат 60 × 84 1/8.
Усл. печ. л. 20,23.
Тираж 1000 экз. Заказ 105.

Редакционно-издательский
отдел СГУГиТ
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в картопечатной
лаборатории СГУГиТ
630108, Новосибирск,
ул. Плахотного, 8.

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

- С. А. Атаманов.* Разработка методологии кадастровой деятельности 94
- С. А. Григорьев.* Достоверность сведений ЕГРН и ее критерии 100
- К. С. Исабекова, С. М. Кудеринов, Н. А. Кудеринова.* Учет влияния розы ветров при межевании земель, прилегающих к угольному месторождению «Каражыра» 108
- А. Ю. Мельничук, Е. В. Антоненко.* Влияние загрязненности приземного слоя атмосферы на кадастровую стоимость земельных участков под индивидуальное жилищное строительство в границах природных территорий федеральной трассы «Таврида» 124
- В. А. Павлова, Е. А. Степанова, Е. Л. Уварова.* Оптимизация землепользования малых форм хозяйствования 136

МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

- Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, Д. А. Баранников, И. А. Мезенцев, Д. В. Бирюков.* Совершенствование методики метрологической аттестации тахеометров и светодальномеров 146

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ

- И. В. Минин, О. В. Минин.* Детекторы миллиметрового и терагерцового излучения 160

SSUGT
SIBERIAN STATE
UNIVERSITY OF GEOSYSTEMS
AND TECHNOLOGIES

Founder Federal State Budgetary
Educational Institution of Higher Education
"Siberian State University
of Geosystems and Technologies"

Vestnik SSUGT

Scientific journal
Published since 1996
Issued 6 times a year

Volume 26(4), 2021

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4

Editor-in-Chief:

D. Sc. (Eng.), Prof. Karpik A. P.

Depute Editor-in-Chief:

D. Sc. (Eng.), Prof. D. V. Lisitsky

D. Sc. (Eng.), Prof. G. A. Ustavich

Editorial team:

D. Sc. (Eng.), Prof. V. S. Ajrapetyan

D. Sc. (Biol.) K. S. Baikov

Ph. D. (Eng.), Prof. G. Gienko (USA)

D. Sc. (Eng.), Prof. S. Zlatanova
(Netherlands)

D. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

A. V. Komissarov

D. Sc. (Eng.), Prof. M. Konečný
(Czech Republic)

D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.

S. M. Kopeikin (USA)

D. Sc. (Biol.), Prof. Yu. V. Kravtsov

Ph. D. (Phys.-Math.), Assoc. Prof.

E. Levin (USA)

D. Sc. (Eng.), Prof. E. M. Mazurova

Member of RAS N. P. Pokhilenko

D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.

O. A. Romanovskij

D. Sc. (Eng.), Prof. A. P. Sizov

D. Sc. (Geogr.), Prof. V. S. Tikunov

D. Sc. (Phys.-Math.), Prof.

V. Yu. Timofeev

D. Sc. (Eng.), Prof. A. S. Tolstikov

D. Sc. (Eng.), Prof. L. K. Trubina

D. Sc. (Eng.), Assoc. Prof.

V. S. Horoshilov

D. Sc. (Eng.), Prof. Yu. V. Chugui

D. Sc. (Eng.), Prof. D. A. Shapovalov

Member of RAS M. I. Epov

D. Sc. (Eng.), Prof. R. Jäger (Germany)

Before 2015 journal

was published under the name

«Vestnik SSGA»

Starting from 2017 numbering of the volume refers to the number of years the journal has been circulated. The number of the issue refers to how many times the journal was published during the year

© SSUGT, 2021

CONTENTS

GEODESY AND MINE SURVEY

- M. A. Altyntsev, Karkokli Hamid Majid Saber.* Technique of Automatic Mobile Laser Scanning Data Adjustment 5
- B. T. Mazurov, T. V. Lobanova, T. E. Elshina, D. A. Abzhaparova.* Assessment of the Modern Geodynamic Situation at Tashtagol Iron Ore Deposit 24

CARTOGRAPHY AND GEOINFORMATICS

- V. A. Budarova, N. G. Martynova, A. V. Sheremetinsky.* Content and Practice of Digital Information Space Creation for Autotransport Infrastructure 32
- I. A. Kerchev, E. S. Volkova, M. A. Melnik.* Possibilities of GIS for Studying the Processes of Distribution of the Ussuriysk Polygraph in the Fir Forests of Siberia..... 44
- K. S. Lebedeva, P. Yu. Bugakov.* Development of Methodology for Building a Geoinformation System for Analysis of Novosibirsk Cycling Infrastructure 55
- I. D. Makhatkov.* Index of Field Survey of the Territory for Medium-Scale Mapping..... 65
- T. S. Molokina, A. A. Kolesnikov.* Analysis of the State and Trends of Spatial Data Visualization 73
- L. K. Radchenko, G. P. Martynov.* Cartographic Aspect of Environmental Cognition of Reality 83

LAND MANAGEMENT, CADASTRE AND LAND MONITORING

- S. A. Atamanov.* Development of Methodology for Cadastral Activity 94
- S. A. Grigorev.* The Accuracy of the Information the EGRN, the Criteria of Accuracy User Data Reliability Criteria..... 100

Registration certificate

The journal is registered in the Federal Service for Supervision of Communications Information Technology, and Mass Media – Certificate
PI No. 77-62654 of August 10, 2015

The journal is included in the List of refereed scientific journals, recommended by HAC for publishing the scientific results of dissertations in candidacy for a degree of Candidate or Doctor of Science degree

Journal included in Russian Science Citation Index (RSCI)

Subscription indexes in catalogues:

«Russian press» – 43809
Electronic catalogue
«Russian periodicals»
(www.ideg.ru) – 43809

Layout editor of journal

A. V. Koneva

Editors office and publisher address:

630108, Novosibirsk,
10 Plakhotnogo St.
E-mail: vestnik@snga.ru
Phone: (383)361-06-55
http://vestnik.snga.ru

English translation

D. V. Romanov

Editors:

E. K. Dehanova
O. V. Georgievskaya
Yu. S. Merzlikina

Desktop publishing

N. Yu. Leonova

Free price

Issue data 26.08.2021.
Format 60 × 84 1/8.
Conv. pr. sheets 20,23.
Circulation 1000 copies.
Order 105.

Printing and publication
department SSUGT
630108, Novosibirsk,
10 Plakhotnogo St.

Printed in map printing
laboratory SSUGT

630108, Novosibirsk,
8 Plakhotnogo St.

K. S. Issabekova, S. M. Kuderinov, N. A. Kuderinova.
Taking into Account the Influence of Wind Rose During
the Division of Lands, Adjacent to the "Karazhyra" Coal
Deposit 108

A. Yu. Melnichuk, E. V. Antonenko. Influence of the Sur-
face Atmospheric Layer Pollution on the Cadastral Cost
of Land Plots for Private Housing Construction Within
the Boundaries of the Federal Road "Tavrida" Territories 124

V. A. Pavlova, E. A. Stepanova, E. L. Uvarova. Optimi-
zation of Small-Scale Land Use 136

METROLOGY AND METROLOGICAL SUPPORT

*G. A. Ustavich, N. S. Kosarev, D. A. Barannikov,
I. A. Mezentsev, D. V. Birukov.* Improving the Methodol-
ogy for Metrological Certification of Total Stations and
Light Range Finders 146

**OPTICAL AND ELECTRONIC DEVICES
AND COMPLEXES**

I. V. Minin, O. V. Minin. Millimeter and Terahertz Radi-
ation Detector 160

ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

УДК 681.5:528.721.221.6

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-5-23

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УРАВНИВАНИЯ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Максим Александрович Алтынцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (952)915-29-80, e-mail: mnbcv@mail.ru

Каркокли Хамид Маджид Сабер

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)173-41-25, e-mail: enghamid72@yahoo.com

Уравнивание является основным этапом предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования (МЛС). В результате этого этапа формируется единый массив точек лазерных отражений (ТЛО) в требуемой системе координат. Современное программное обеспечение, поставляемое в комплекте с соответствующим съемочным комплексом, способно выполнить в автоматическом режиме большинство этапов уравнивания данных МЛС, полученных для территорий с различным характером застройки. При достаточном количестве вертикально расположенных плоских объектов, таких как стены зданий, алгоритмы, заложенные в программное обеспечение, обеспечивают высокую точность взаимного уравнивания, которое заключается в вычислении и применении поправок к позиции траекторий, полученных при повторном сканировании одного и того же участка местности. Этап внешнего уравнивания, заключающийся в трансформировании массива ТЛО по измеренным более высокоточными методами геодезической съемки координатам опорных точек, также может быть осуществлен автоматически при соблюдении правил размещения этих точек с целью их автоматического распознавания. Точность автоматического взаимного уравнивания может существенно снижаться при практически полном отсутствии плоских вертикальных объектов. В этом случае требуется осуществлять разработку дополнительных методик уравнивания, способных использовать не только плоские объекты большой площади, но и вертикальные объекты другого характера, такие как дорожные знаки и опорные сооружения. В статье предложена комплексная методика уравнивания данных МЛС, способная для территорий с недостаточным количеством плоских вертикальных объектов использовать информацию о положении дорожных знаков и опорных сооружений. Выполнена оценка точности как взаимного уравнивания данных МЛС по предложенной методике, так и внешнего. Обоснован выбор необходимой плотности размещения опорных точек для территорий с различным характером застройки.

Ключевые слова: мобильное лазерное сканирование, уравнивание данных, вертикальные объекты, опорные точки, оценка точности

Введение

Мобильное лазерное сканирование представляет собой один из самых современных методов геодезической съемки. В процессе

движения транспортного средства, на которое установлена система МЛС, осуществляется запись данных об окружающем пространстве. Результатами совместной обработки информации, полученной с помощью

входящего в состав системы МЛС оборудования, такого как приемники глобальных навигационных спутниковых систем, инерциальная навигационная система, цифровые камеры, лазерные сканеры, блок управления, являются траектория движения, цифровые фотографии и массив ТЛО. Технология МЛС может применяться для решения различных производственных задач, связанных со съемкой местности. На основе полученных данных создают топографические планы территорий, трехмерные модели зданий и сооружений, выполняют построение продольных и поперечных профилей автомобильных дорог, выявляют дефекты дорожного полотна и других объектов. Технология МЛС характеризуется высокой точностью и скоростью сбора данных, степень автоматизации их обработки находится на достойном уровне [1, 2].

В большинстве случаев для получения данных МЛС в достаточном объеме необходимо осуществить многократное сканирование одной и той же местности. Повторное сканирование позволяет повысить плотность данных, что положительно сказывается на результатах создания конечной продукции, но в то же время вызывает проблему дублирования массивов ТЛО в зонах перекрытия. Требуется выполнять уравнивание массивов ТЛО относительно друг друга. То, насколько сильно расходятся отдельные массивы точек в зонах перекрытия, зависит от качества приема спутникового сигнала, погодных условий, характеристик съемочной системы и от того, насколько далеко удаляется в процессе сканирования съемочная система от базовой станции [3].

Необходимо дополнительно учитывать, что дублирование данных может возникать и при сканировании только в одном направлении. Такая ситуация обуславливается тем, что элементы взаимного ориентирования лазерных сканеров рассчитаны с низкой точностью. Так как в состав системы МЛС, как правило, входят два двумерных лазерных сканера, то дублирование образуется между полученными ими массивами точек. Расчет точных значений элементов взаимного ориентирования лазерных сканеров обычно выполняется в процессе калибровки системы МЛС в результате тестовых заездов [4, 5]. Для съемочных систем, в которых лазерные сканеры

жестко связаны между собой с помощью специального крепежа, элементы взаимного ориентирования не меняются при повторной установке системы МЛС на транспортное средство. Калибровочная процедура осуществляется единожды на заводе-изготовителе. Если сканеры не имеют жесткой связи, калибровочную процедуру необходимо осуществлять каждый раз заново при новой установке. В [1] приведен пример методики расчета параметров калибровки.

Помимо повышения плотности, повторное сканирование приводит к увеличению итоговой, внешней, точности данных. При большом количестве повторных проездов взаимное уравнивание данных лазерного сканирования позволяет увеличить точность положения массива ТЛО во внешней системе координат. Для достижения еще большей точности применяют опорные точки, координаты которых измеряют другими геодезическими методами. При выборе плотности размещения опорных точек, кроме приведенных выше условий, влияющих на точность уравнивания массивов ТЛО, необходимо руководствоваться требованиями точности создания определенной конечной продукции [6].

В настоящее время основной задачей всех исследований, выполняемых в рамках вопроса уравнивания массивов ТЛО, является повышение степени автоматизации данного процесса при минимальном объеме полевых работ, связанных с созданием планово-высотного обоснования (ПВО) для МЛС.

Разработка методик уравнивания

Уравнивание массивов ТЛО является одним из основных этапов предварительной обработки данных МЛС. До уравнивания массивов точек должны быть выполнены следующие стадии предварительной обработки [7]:

- уравнивание точек траекторий, записанных с помощью спутниковых антенн системы МЛС, относительно базовых станций;
- ориентация и сгущение траектории, при котором уравненная траектория дополняется множеством промежуточных точек;
- генерация массивов точек за счет совместной обработки уравненной траектории

и дальномерных расстояний, измеренных лазерными сканерами.

Эти стадии предварительной обработки выполняются в специализированных программных комплексах (ПК), поставляемых вместе с системой МЛС. Алгоритмы, заложенные в таких ПК, полностью автоматически уравнивают траектории и генерируют массивы точек.

Задача автоматизации уравнивания сгенерированных массивов точек является более сложной. Она решается различными способами. В большинстве ПК от компаний-производителей лазерных сканеров стадия автоматического взаимного уравнивания осуществляется путем поиска плоских участков массива точек. Уравнивание высотного положения выполняется по горизонтальным плоскостям, а планового – по вертикальным. Вписывание горизонтальных плоскостей, как правило, осуществляется в точки поверхности земли, и сложностей взаимного уравнивания высотного положения не возникает на любых территориях. В свою очередь, автоматическое уравнивание планового положения с высокой точностью возможна только в случае съемки территорий с присутствием плоских вертикальных объектов, таких как стены зданий. Для достижения максимальной точности автоматического взаимного уравнивания, сканирование рекомендуется осуществлять в различных направлениях, выполняя движение вокруг строений и сооружений [8]. Поиск поправок в положение массивов точек обычно осуществляется с помощью итеративного алгоритма ближайших точек ICP или его модификаций [1]. Методики уравнивая в ПК от компаний-производителей лазерных сканеров подобны тем, что описаны в [9–11].

Чтобы повысить точность автоматического уравнивания массивов ТЛО, выполняемого в ПК от компаний-производителей лазерных сканеров, часто разрабатываются дополнительные программные модули и специальные методики обработки данных. В [3] приведен пример такой разработки, которая заключается в предварительном разделении сырых данных в виде траекторий и массивов точек, полученных мобильными лазерными сканерами от фирмы Riegl, на короткие

участки с продольными перекрытиями с помощью специального программного модуля. В зонах продольных перекрытий данные МЛС повторяются. Подготовленные участки загружаются и уравниваются в ПК Riprocess, входящий в комплект поставки системы МЛС. Предварительно выполненное разделение данных позволяет добиться более точного взаимного уравнивания траекторий и массивов ТЛО. Описанная методика уравнивания позволяет конкурировать даже с такими, которые используют более дорогостоящее специализированное программное обеспечение, такое как TerraSolid. Применение TerraSolid предполагает дополнительное уравнивание данных после стандартной обработки в Riprocess или другом подобном ПК.

Недостатком применения ПК от компаний-производителей лазерных сканеров зачастую является закрытый программный код и относительно небольшое количество инструментов. В случае сложных внешних условий сканирования не всегда удастся добиться максимальной точности автоматического взаимного уравнивания, используя предложенные инструменты. Например, если плоские вертикальные объекты в массиве точек практически отсутствуют, что характерно для загородных территорий, или съемка осуществлялась только в прямолинейном направлении, точность взаимного уравнивания в плановом положении может оказаться на низком уровне. Тогда требуется выполнять интерактивный набор связующих точек, используя отдельные мелкие объекты, такие как опорные сооружения, светодорожные знаки и т. п. Также для набора связующих точек могут применяться углы прерывистой дорожной разметки [8, 12].

В последнее время разрабатываются алгоритмы, позволяющие автоматически идентифицировать отдельные мелкие объекты с целью взаимного уравнивания. Реализация подобных алгоритмов осуществляется с применением различных языков программирования в виде отдельных программных модулей. TerraSolid представляет собой набор таких модулей, запускаемых из ПК MicroStation. TerraSolid включает большое количество инструментов, параметры которых можно гибко настраивать под решение определенной задачи.

В [13] приведена одна из методик автоматического уравнивания на основе идентификации объектов дорожной инфраструктуры, опорных сооружений и прерывистой дорожной разметки. Предложенная методика апробирована на примере результатов сканирования городских территорий. На первом этапе идентифицируются все мелкие объекты. Затем они разделяются по группам. Это необходимо, чтобы, например, отделить группы объектов городской инфраструктуры от растительности, которая из-за неоднородной структуры оказывает отрицательное влияние на точность идентификации мелких объектов. Недостатком методики является необходимость применения данных аэрофотосъемки с пилотируемых или беспилотных летательных аппаратов для автоматической классификации мелких объектов на группы. В противном случае большинство найденных групп объектов можно идентифицировать только интерактивно.

Для автоматической идентификации групп объектов без применения результатов аэрофотосъемки может быть использован метод классификации с обучением. Данный метод реализован во многих ПК обработки данных дистанционного зондирования Земли. Он также используется в TerraSolid [14]. Согласно этому методу классификации, сначала выполняется автоматическое разделение массива ТЛО на отдельные группы по определенным признакам. Затем осуществляется создание обучающих выборок, включающих различные группы объектов сканируемой территории. Формируется библиотека эталонов, в которой каждой группе назначается свой класс. В конце эталоны сравниваются со всеми неидентифицированными группами объектов массива ТЛО. Каждой группе массива присваивается тот класс эталона, к которому он наиболее близок. Недостатком метода является то, что результат классификации сильно зависит от плотности массива ТЛО, от количества повторных циклов сканирования территории и от того, с какой стороны идентифицируемого объекта выполнено сканирование. Также сам процесс создания библиотеки эталонов занимает длительное время [14].

Выполнив взаимное уравнивание массива ТЛО, приступают к внешнему. Во время

внешнего уравнивания данные МЛС трансформируются в местную систему координат из универсально-поперечной проекции Меркатора, первоначально применяемой при обработке сырых данных геодезических измерений. Трансформирование может быть выполнено по известным координатам пунктов съёмочного обоснования, на которых размещались базовые станции. Чтобы оценить точность трансформированных данных МЛС в известной внешней системе координат, а также повысить ее, применяют координаты опорных и контрольных точек, измеряемых вдоль траектории сканирования с помощью другого геодезического оборудования, такого как спутниковые приемники, тахеометры и нивелиры [15]. Без опорных данных точность уравненного массива ТЛО обычно не превышает 5 см в плановом и высотном положении при качественном спутниковом сигнале. Такой точности можно добиться при съемке территорий за пределами городской застройки с условием соблюдения ряда требований по созданию ПВО [16, 17]. В [18, 19] описаны такие требования для систем МЛС от фирмы Riegl:

- длины линий между базовой станцией ГНСС и системой МЛС не должны превышать 30 км в случае, если применяется только одна станция. В противном случае необходимо использовать сеть базовых станций;
- сеть может содержать от 4 до 50 базовых станций;
- длины базовых линий сети не должны превышать 70 км;
- система МЛС не должна покидать полигон, образованный сетью базовых станций.

Данные требования применимы и для большинства других коммерческих систем МЛС, использующих инерциальные навигационные системы (ИНС) от фирмы Arplanix. Это связано с применением единого программного обеспечения POSPac MMS для уравнивания точек траекторий на основе совместной обработки данных спутниковых наблюдений и полученных с помощью ИНС.

Размещение опорных точек и измерение их координат геодезическим оборудованием – это трудоемкий процесс. Чтобы сократить затрачиваемое на него время, необходимо

представлять, какое влияние оказывают внешние условия съемки на точность массива ТЛО во внешней системе координат. Если вдоль траектории съемки находится большое количество высотных объектов, качество приема спутникового сигнала значительно снижается, и требуется размещать большое число опорных точек. В [20] показано, что в случае полной потери спутникового сигнала более, чем на 30 секунд, точность данных МЛС снижается в несколько раз, особенно при скорости перемещения системы МЛС более, чем 40 км/ч. На таких участках предложено с помощью краски размещать опорные точки на покрытии дороги каждые 400 м. На этапе камеральной обработки в массиве ТЛО интерактивно идентифицируют опорные точки и определяют их координаты. На основе разностей координат, полученных при МЛС и при измерениях другим геодезическим оборудованием, выполняют внешнее уравнивание.

Задача определения координат опорных точек в массиве ТЛО может быть решена автоматическим способом. Для этого опорные точки размещают на дорожном покрытии по определенным шаблонам, формам, которые должны быть известны программному обеспечению. Размещенные по известным шаблонам опорные точки снижают время камеральной обработки, но значительно его увеличивают при выполнении полевых работ.

В качестве источника опорных точек могут выступать результаты аэрофотосъемки. В [21] предложена методика автоматического уравнивания данных МЛС на основе аэрофотоснимков, полученных с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Основная идея методики заключается в том, что на городских территориях с высотной застройкой БПЛА обеспечивают более высокую точность измерений, чем системы МЛС, так как в воздухе качество приема спутникового сигнала лучше. В качестве опорных точек предлагается использовать дорожную разметку, которая может быть автоматически идентифицирована как по данным МЛС, так и по результатам съемки с помощью БПЛА. Для этого данные МЛС представляются в виде растрового изображения с интерполированными значениями интенсивности, и вы-

полняются извлечение контуров разметки из обоих видов данных с помощью детектора углов Харриса, поиск соответствий на основе шаблонов границ разметки и уравнивание. Методика позволяет добиться точности уравнивания массивов ТЛО порядка 6–10 см при распознавании опорных точек каждые 100–200 м, но не уравнивает траектории. В [6, 22] применяется усовершенствованная методика, которая уравнивает не только массивы ТЛО, но и траектории.

Для автоматического внешнего уравнивания, как и взаимного, могут быть также применены объекты городской инфраструктуры [13].

Недостатком всех методик автоматического уравнивания по данным аэрофотосъемки является их узкая специализация, так как на всех территориях без высотных объектов точность данных МЛС выше. Кроме этого, аэрофотосъемка в большинстве ситуаций является лишним и трудоемким процессом.

Таким образом, к настоящему времени уже было разработано большое число методик автоматического взаимного и внешнего уравнивания данных МЛС. Но, чтобы добиться высокой точности, требуется перед этапом уравнивания осуществлять ряд циклов предварительной обработки, занимающих длительное время, а также выполнить большой объем дополнительных полевых измерений. Как правило, предлагаемые методики адаптированы для определенного характера застройки территории. Если для территорий с высотной застройкой точность автоматического уравнивания будет на высоком уровне, то для участков местности с минимальным количеством различных объектов и сооружений она может резко снижаться. Исходить в этом случае следует из цели лазерного сканирования, требований к точности создания конечной продукции. Решение о необходимости дополнительных полевых измерений для повышения точности исходных данных МЛС и их количестве стоит принимать, исходя из характера сканируемого участка местности. При разработке новых методик автоматического уравнивания следует опираться на комплексный подход, позволивший бы учесть большинство особенностей снимаемой территории и задаваемых пара-

метров сканирования с минимальным объемом дополнительных полевых работ.

Исходные данные

Для разработки методики уравнивания данных МЛС были использованы результаты съемок двух территорий:

- автомобильная дорога Талакан – Витим протяженностью 160 км;
- участок улицы проспект Дзержинского г. Новосибирска протяженностью 1 км.

По характеру застройки эти две территории противоположны друг другу. В пределах автомобильной дороги практически не было строений, она была окружена высокой расти-

тельностью. Среднее расстояние от дороги до деревьев составляло порядка 20 м, а их высота не превышала 30 м. Периодически встречались мелкие объекты в виде дорожных знаков и опорных сооружений. Вторым участком включал высокие здания и большое количество разнообразных объектов городской инфраструктуры.

Прежде чем выполнить сканирование автомобильной дороги, было создано съемочное обоснование из шести пунктов (рис. 1). Координаты пунктов НГДУ и ДНС были известны, на них располагались постоянно действующие базовые станции. Координаты пунктов В1–В3, D20 измерялись от пунктов государственной геодезической сети посредством спутниковых наблюдений.

Рис. 1. Участки трассы Талакан – Витим

Сканирование выполнялось с помощью системы Riegl VMX-250 со средней скоростью 40 км/ч в прямом и обратном направлениях последовательно по участкам. Частота зондирующих импульсов задавалась 600 кГц, а частота сканирования – 200 Гц. Во время съемки каждого участка запускался сбор данных только на одной ближайшей базовой станции. Максимальное удаление от базовой станции не превысило 15 км, что в 2 раза меньше допустимого расстояния, заявленного в [19] для систем МЛС с инерциальными системами от фирмы ApplePix при съемке от одной станции. На рис. 1 каждым участком съемки помечен отдельным цветом. В начале сканировались участки от постоянно действующих базовых станций. Затем выполнялась съемка участка вокруг базовой станции В1. Далее спутниковый приемник переносился

поочередно на пункты D20, В2 и В3. По сравнению с методом создания спутниковой сети съемка по участкам позволила сократить время, затрачиваемое на установку спутниковых приемников на базовых станциях и их количество до одного. Создание сети базовых станций требует большого количества исполнителей, так как подразумевает одновременный сбор данных на станциях в процессе сканирования.

Это значительно увеличивает подготовительное время и снижает безопасность для исполнителей при съемке малонаселенных отдаленных территорий. Метод создания сети базовых станций наиболее актуален при возможности выполнить сканирование за один день. На рис. 2, а показан фрагмент результата сканирования с отображением массива ТЛО по высоте с видом сверху.

Рис. 2. Результаты МЛС:

а) участок трассы Талакан – Витим; б) участок улицы проспект Дзержинского

МЛС улиц г. Новосибирска осуществлялось от одной постоянно действующей станции NSKW. На рис. 2, б показан фрагмент результатов сканирования улиц протяженностью 1 км. Черным цветом показаны траектории сканирования.

Методика взаимного уравнивания данных МЛС

Первоначально все данные МЛС автоматически обрабатывались и уравнивались в программном обеспечении системы МЛС Riegl VMX-250: POSPac MMS и Riprocess. Так как базовые станции на каждом участке автомобильной дороги не запускались одновременно, в POSPac точки траекторий каждого участка трассы были уравнены независимо. Уравненные траектории и сырые данные лазерных сканеров загружались в ПК Riprocess, где выполнялся расчет координат точек массива. Затем осуществлялось автоматическое взаимное уравнивание массивов ТЛО для каждого участка съемки отдельно.

Массивы ТЛО, полученные методом МЛС, состоят из набора сканерных линий. Каждая сканерная линия имеет свои элементы внешнего ориентирования. Алгоритм уравнивания, заложенный в Riprocess, позволяет с высокой точностью на основе межмаршрутного перекрытия рассчитать поправки в угловые эле-

менты внешнего ориентирования каждой сканерной линии. Точность расчета линейных элементов будет зависеть от исходного качества данных и количества вертикальных плоских объектов вокруг траектории съемки.

Чтобы оценить точность взаимного уравнивания данных МЛС всех участков съемки совместно, и, в случае присутствия больших значений ошибок, выполнить дополнительное уравнивание, массивы ТЛО и траектории и импортировались в ПК TerraSolid, где выполнялась их совместная обработка с учетом анализа зон перекрытия между участками. До начала уравнивания осуществлялись такие стандартные этапы, как разделение траекторий на фрагменты согласно направлению движения, присвоение каждой ТЛО номера фрагмента траектории, с которой точка была получена, удаление лишних точек, полученных во время остановки движения, выделение в отдельный класс точек, полученных в момент поворотов [8]. Затем по алгоритмам, описанным в [14], выполнялась фильтрация, заключающаяся в удалении находящихся ниже поверхности земли или в воздухе ложных точек.

Для уравнивания данных МЛС была разработана следующая методика, все этапы которой выполняются автоматически для каждого фрагмента траектории отдельно.

1. Определение границ поиска поправок в линейные элементы внешнего ориентирова-

ния сканерных линий. Для определения ошибок высотного положения используется внутренняя зона, заключенная между траекториями съемки прямого и обратного направлений, а планового – зоны, заключенные между траекториями и внешними границами. Внешняя граница задается путем параллельного копирования траекторий на определенное расстояние, которое выбирается, исходя из местоположения различных объектов дорожной инфраструктуры, их количества и присутствия растительности. Контур внешней границы редактируются в зависимости от присутствия объектов.

2. Классификация точек истинной земли по алгоритму Аксельсона [23].

3. Перенос точек истинной земли, расположенных между траекториями съемки, в класс дорожного покрытия.

4. Автоматический поиск соответственных линий, вписанных в точки дорожного покрытия противоположных маршрутов лазерного сканирования, каждые 10 м вдоль направления движения.

На рис. 3 приведен фрагмент результата поиска линий длиной 2 м с видом сверху, отображенных зеленым цветом. Показаны траектории движения, а область поиска заштрихована. Красным и синим цветом отображены ТЛО противоположных маршрутов.

Рис. 3. Пример результата поиска соответственных линий

5. Поиск по соответственным линиям локальных поправок в высотное положение точек траекторий и ТЛО с помощью одномерного фильтра Гаусса [24]:

$$G(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

где x – расстояние вдоль траектории сканирования, в пределах которого выполняется сглаживание;

σ – стандартное отклонение распределения Гаусса.

Было определено, что для уравнивания высотного положения данных МЛС следует задавать $x = 50$ м.

В табл. 1 приведены ошибки высотного положения маршрутов для всей территории трассы Талакан – Витим, рассчитанные по разнице положения соответственных линий.

Таблица 1

Оценка точности данных МЛС до взаимного уравнивания

Ошибки	Соответственные точки и линии		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,038	0,049	0,023
Средняя квадратическая ошибка	0,046	0,056	0,048
Максимальная ошибка	0,068	0,084	0,297

6. Применение локальных поправок к высотному положению траекторий, массива ТЛО и к файлу соответственных линий. В табл. 2 приведены результаты оценки точности взаимного уравнивания данных МЛС после применения поправок в высотное положение.

Таблица 2

Оценка точности взаимного уравнивания данных МЛС

Ошибки	Соответственные точки и линии		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,009	0,005	0,003
Средняя квадратическая ошибка	0,013	0,008	0,010
Максимальная ошибка	0,033	0,025	0,046

7. Вычисление высоты от уровня земли для каждой точки ТЛО.

8. Разделение всего массива ТЛО на два уровня по высоте от истинной земли: 0–1 м, > 1 м.

9. Перенос всех точек, у которых количество отражений за один импульс больше одного, во временный класс.

10. Вычисление нормалей в каждой ТЛО при помощи метода главных компонент за счет анализа расположения соседних точек [25]. Нормали необходимы для работы далее описываемых алгоритмов поиска групп точек и деревьев.

11. Поиск групп точек по уровню «> 1 м» на основе вычисления расстояния между соседними точками. Группы формируются из близлежащих к друг другу точек. Задается минимальное количество точек для создания группы – 20 [14].

12. Перенос групп точек, попавших в зону между траекториями и внешними границами, в отдельный класс мелких вертикальных объектов.

13. Перенос групп точек из класса мелких вертикальных объектов в класс растительности с помощью алгоритма классификации деревьев ПК TerraSolid, который анализирует кроны деревьев. Для работы алгоритма задаются параметры минимальной высоты групп над уровнем истинной земли и их минимального диаметра. Чтобы проанализировать все точки класса вертикальных объектов на предмет их принадлежности к растительности, задается любое значение минимальной высоты, меньшее 1 м, и небольшое значение диаметра. В итоге для обоих параметров были заданы значения, равные 0,2 м.

14. Перенос групп точек, у которых максимальное значение высоты меньше 2,1 м, из класса вертикальных объектов в класс растительности. Значение 2,1 м было выбрано по причине того, что минимальная высота дорожных знаков и столбов, расположенных вокруг дороги, превосходит его.

15. Перенос групп точек, у которых максимальное значение высоты больше 13 м, из класса вертикальных объектов в класс растительности. Данное значение было выбрано исходя из максимальной высоты опорных сооружений. Таким образом, в классе вертикальных объектов остаются группы точек, максимальная высота которых над землей располагается в диапазоне 2,1–13 м.

16. Для каждой точки класса вертикальных объектов вычисляется расчет попарных

евклидовых расстояний на плоскости XU до каждой точки класса растительности. В случае, если значение расстояния оказывается меньше порогового, то точка переносится в класс растительности. Условие изменения класса точки можно записать в виде

$$\sqrt{(X_i - X_j)^2 + (Y_i - Y_j)^2} \leq D, \quad (2)$$

где D – пороговое значение евклидова расстояния между точками класса вертикальных объектов и класса растительности;

X_i, Y_i – координаты точки класса вертикальных объектов;

X_j, Y_j – координаты точки класса растительности.

17. Перенос точек из класса вертикальных объектов в класс растительности при условии, что в пределах области массива ТЛО объемом 0,512 м³ оказывается меньше двух точек класса вертикальных объектов.

18. Перенос точек, у которых значение высоты над землей больше 6 м, из класса вертикальных объектов во временный класс. Это позволяет исключить из дальнейшей обработки высотные части объектов. Например, исключить провода линий электропередачи (ЛЭП), так как в большинстве случаев они оказываются в одной группе с опорой и вносят большие ошибки в результаты поиска соответственных точек.

19. Автоматический поиск соответственных линий по плоским вертикально расположенным объектам массива ТЛО всех классов при следующих параметрах: длина линии – 0,3 м; глубина сечения ТЛО – 0,1 м; максимальный угол наклона линии – 10°.

Соответственные линии позволяют выполнить взаимное уравнивание массивов ТЛО при наличии большого количества стен зданий. Если такие объекты отсутствуют на территории съемки, соответственные линии могут быть найдены на больших табличках дорожных знаков, но точность взаимного уравнивания в этом случае только по автоматически найденным соответственным линиям будет низкой.

20. Автоматический поиск соответственных точек между точками класса вертикаль-

ных объектов противоположных маршрутов лазерного сканирования.

На рис. 4 показан пример результатов поиска соответственных точек на одном из участков трассы, а на рис. 5 – поперечное сечение этого участка. Для территории трассы Талакан – Витим внешняя граница поиска смещалась от траекторий сканирования на 10 м. Это было обусловлено наличием большого количества растительности и тем, что

в отведенную зону попадали все дорожные знаки. На участках трассы, где параллельно рядом проходила ЛЭП, зона смещалась за нее, но не далее, чем на 40 м. Было определено, что при сканировании системой Riegl VMX-250 с указанными ранее параметрами съемки плотности получаемых данных МЛС на большем расстоянии от траектории недостаточно, чтобы идентифицировать соответственные точки в зоне межмаршрутного перекрытия.

Рис. 4. Пример данных МЛС и результаты поиска соответственных точек

Расстояние поиска может быть увеличено в случае снижения средней скорости движения системы МЛС.

На рис. 4 красным цветом показан результат поиска соответственных точек. Точки, найденные на объектах дорожной инфраструктуры и опорных сооружений, практически всегда верно показывают ошибки взаимного положения массивов ТЛО. Те из них, которые оказались на растительности, могут

верно показывать ошибки только частично. Оранжевыми большими окружностями отмечены три точки, найденные на вершинах кустарниковой растительности. Одна из трех точек показывает неверную ошибку взаимного положения. Зелеными окружностями показаны две опоры ЛЭП, на которых не было найдено соответственных точек. Причиной этому мог послужить большой наклон опор ЛЭП.

Рис. 5. Поперечное сечение фрагмента данных МЛС

21. Интерактивный анализ результатов поиска соответственных точек на участках с их низкой плотностью – менее, чем три точки на 100 м. Удаление неверно найденных соответственных точек.

На рис. 6 показан пример результата поиска соответственных точек и линий по ТЛО от дорожного знака. Ошибка положения массивов ТЛО по соответственным точкам составляла 0,075 м, а по соответственным линиям – 0,035 м. В случае применения только соответственных линий ошибка взаимного положения не была бы устранена полностью, так как они определяют двоиные данные только в одной плоскости. Кроме этого, соответственные линии не ищутся на дорожных знаках с небольшими табличками, такими как пикетажные столбы, и на опорах.

вила 0,075 м, а по соответственным линиям – 0,035 м. В случае применения только соответственных линий ошибка взаимного положения не была бы устранена полностью, так как они определяют двоиные данные только в одной плоскости. Кроме этого, соответственные линии не ищутся на дорожных знаках с небольшими табличками, такими как пикетажные столбы, и на опорах.

Рис. 6. Дорожный знак до уравнивания:
а) вид сверху; б) вид сбоку; в) вид сбоку 2

В табл. 1 приведены ошибки планового положения маршрутов для всей территории трассы Талакан – Витим, рассчитанные по разнице положения соответственных точек и линий.

22. Поиск локальных поправок в плановое положение точек траекторий и ТЛО с помощью одномерного фильтра Гаусса. Определено, что для уравнивания планового положения данных МЛС следует задавать $x = 100$ м.

На рис. 7 показан пример результатов применения локальных поправок. Двоение данных было устранено. Положение соответственных точек и линий оставлено без изменений.

На рис. 8 показаны результаты поиска соответственных точек на другом участке трассы, где объекты дорожной инфраструк-

туры присутствуют в минимальном количестве. Область поиска ограничена расстоянием 10 м по обе стороны от траекторий и содержит большое количество кустарниковой и травянистой растительности. Древесная растительность расположена за пределами анализируемой области. На приведенном участке оказалось только два дорожных знака. Разработанная методика идентификации вертикальных объектов для набора соответственных точек позволила обнаружить оба знака, но также была добавлена одна точка на вершине кустарника. Так как расстояния между соответственными точками значительно превышают 100 м, те из них, которые были идентифицированы неверно, должны быть интерактивно удалены.

Рис. 7. Дорожный знак после уравнивания:
а) вид сверху; б) вид сбоку; в) вид сбоку 2

Рис. 8. Второй пример данных МЛС и результаты поиска соответственных точек

Взаимное уравнивание данных МЛС на городскую территорию

Разработанная методика взаимного уравнивания данных МЛС может быть применена для любых по характеру застройки территорий. При обработке данных сканирования городских улиц будет идентифицировано большое количество соответственных линий, а для поиска соответственных точек при условии движения системы МЛС по правым крайним полосам дорог минимально заданной зоны в 10 м будет достаточно, чтобы идентифицировать большинство дорожных знаков.

Ранее было отмечено, что ПК Riprocess позволяет полностью автоматически выполнить

взаимное уравнивание на участках с большим количеством плоских вертикальных объектов. Поэтому экспорт данных МЛС городских улиц в дополнительное программное обеспечение с целью дальнейшего уравнивания нецелесообразен для большинства ситуаций. В противном случае применение разработанной методики взаимного уравнивания в ПК TerraSolid существенно увеличит время обработки.

На рис. 9, а показан пример данных МЛС на участок городской улицы с отмеченной черным цветом зоной поиска соответственных точек, а на рис. 9, б – поперечное сечение угла здания. Красным и зеленым цветом отмечены массивы ТЛО противоположных маршрутов после уравнивания в Riprocess. Максимальная ошибка совмещения проездов не превысила 0,01 м.

Рис. 9. Участок улицы:

а) вид сверху с зоной поиска соответственных точек; б) поперечное сечение стены здания

Таким образом, рекомендуется применять разработанную методику взаимного уравнивания для негородских территорий, где отсутствуют плоские вертикальные объекты. При ситуации, когда необходимо за один день выполнить сканирование территорий с различным характером застройки, следует останавливаться и перезапускать сбор данных, то есть делить траекторию на участки.

Деление траектории на участки может быть нецелесообразно, когда при съемке загородных территорий осуществляется краткосрочный въезд в город или другую застроенную территорию. В этом случае весь массив данных обрабатывается с применением разработанной методики. Большое количество вертикальных объектов застроенной территории позволяет сохранить высокую точность автоматиче-

ского взаимного уравнивания, выполненного в Riprocess. Особенностью поиска соответственных точек в TerraSolid является необходимость осуществления сканирования каждого вертикального объекта с одной стороны при движении в противоположных направлениях. Так всегда получается для всех объектов за пределами дороги. Если в зоне разделения движения противоположных направлений оказываются какие-либо объекты, то они сканируются с противоположных сторон. Массив точек этого объекта, полученного при сканировании в одном направлении, будет отличаться от массива, полученного при противоположном направлении. На рис. 10 показан пример неверно размещенных соответственных точек на столбе диаметра 0,10 м, находящегося в зоне разделения противоположных полос движения.

Рис. 10. Пример ошибочного результата поиска соответственных точек на столбе:

а) поперечное сечение; б) вид сверху

Фактическая ошибка взаимного положения массивов ТЛО в этом месте не превышает 0,01 м, хотя по автоматически найденным соответственным точкам ошибка составляет 0,076 м. По этой причине в разработанной методике не учитывается центральная зона дорог, расположенная между противоположными маршрутами сканирования.

Внешнее уравнивание данных МЛС

После взаимного ориентирования данных МЛС часто требуется выполнить их преобразование в местную систему координат. Зная координаты пунктов, на которых размещались базовые станции, в системе координат WGS-84 и в требуемой, выполняется расчет параметров преобразования, которые применяются для пересчета координат траекторий и массивов ТЛО. Преобразование данных МЛС выполнялось для трассы Талакан – Витим по координатам шести базовых станций. Оценка точности преобразования представлена в табл. 3. Для участка улицы проспект Дзержинского преобразование координат не выполнялось, данные были представлены в исходной системе – WGS-84.

Таблица 3

Оценка точности преобразования координат данных МЛС трассы Талакан – Витим в местную систему

Ошибки	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,001	0,001	0,030
Средняя квадратическая ошибка	0,001	0,001	0,034
Максимальная ошибка	0,001	0,001	0,06

Чтобы оценить точность внешнего ориентирования данных МЛС, вдоль автомобильной дороги каждый километр измерялись координаты опорных точек с помощью спутниковых приемников. Положения опорных точек на отмечались на местности. Они располагались на границе асфальтового покрытия напротив километровых столбов. Это позволило сократить время полевых работ, но снизило точность распознавания мест размещения опорных точек по массиву ТЛО. Использо-

зуя данный способ, невозможно достоверно оценить внешнюю точность массива ТЛО в плановом положении. Учитывая, что расстояние от границы асфальтового покрытия до километрового столба всегда было невелико, не превышало 2–3 м, точность распознавания опорных точек можно оценить на уровне первых значений сантиметров. Также этот способ размещения опорных точек было решено применять по причине первоначально высокой точности планового положения массива ТЛО на открытых участках местности для системы Rigel VMX-250, небольшого удаления в процессе лазерного сканирования от базовой станции и главной его цели – создание топографического плана масштаба 1 : 500 с высотой сечения рельефа 0,25 м. Точность высотного положения массива ТЛО исследуемой системы МЛС в среднем ниже. Но, в отличие от точности планового положения, для высотного она может быть достоверно оценена.

На рис. 11 показан пример размещения опорной точки, где красным цветом показан условный знак километрового столба, бирюзовыми параллельными линиями – граница асфальтового покрытия дороги, а желтой окружностью – расположение опорной точки.

Рис. 11. Пример размещения опорной точки

В табл. 4 приведены результаты оценки внешней точности массива ТЛО по измеренным спутниковым приемником точкам. Все точки были приняты в качестве контрольных. Полученная точность подходит для создания топографических планов масштаба 1 : 500 и мельче с высотой сечения рельефа 0,5 м [26]. При анализе результатов распределения оши-

бок было определено, что точность снижается при удалении от базовых станций. Наибольшие значения ошибок наблюдаются в зонах максимального удаления.

Таблица 4

Оценка точности данных МЛС по контрольным точкам, размещенным через 1 км, без опорных точек

Ошибки	Соответственные точки и линии		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,009	0,010	0,041
Средняя квадратическая ошибка	0,016	0,022	0,056
Максимальная ошибка	0,116	0,228	0,218

Для создания топографических планов с большей высотой сечения рельефа необходимо применять опорные точки. Для дальнейшей оценки точности количество опорных и контрольных точек комбинировалось. Выполнялось уравнивание данных МЛС при размещении опорных точек каждые 2, 4 и 8 км. В табл. 5 приведена оценка точности по контрольным точкам через 1 км при размещении опорных точек каждые 8 км.

Таблица 5

Оценка точности внешнего уравнивания данных МЛС по контрольным точкам через 1 км при размещении опорных точек через 8 км

Ошибки	Соответственные точки и линии		
	X, м	Y, м	Z, м
Средняя ошибка	0,018	0,016	0,028
Средняя квадратическая ошибка	0,028	0,020	0,033
Максимальная ошибка	0,170	0,110	0,170

Полученная точность оказалась на границе допуска для создания топографических планов с высотой сечения рельефа 0,25 м по значению максимальной ошибки для незастроенных территорий с хорошим качеством спутникового сигнала [26]. Также было определено, что опорные точки следует располагать на границах съемочного участка.

Заключение

Разработанная методика уравнивания данных МЛС позволяет значительно ускорить процесс полевой съемки и предварительной обработки ее результатов. Она учитывает различные внешние условия и степень застройки сканируемой территории.

Предложенная методика взаимного уравнивания позволяет практически полностью автоматизировать процесс поиска локальных поправок в линейные элементы взаимного ориентирования сканерных линий массива точек по межмаршрутному перекрытию путем фильтрации большинства ТЛО от растительности, влияющих на точность поиска соответственных точек на вертикальных объектах местности. Значения параметров алгоритмов, применяемых в рамках методики взаимного уравнивания, подходят для любых массивов ТЛО с плотностью не ниже той, которую имели исследуемые данные.

Результаты внешнего уравнивания данных МЛС системы Riegl VMX-250 показали, что для задачи создания топографических планов масштаба 1 : 500 с высотой сечения рельефа 0,5 м на незастроенные территории при хорошем качестве приема спутникового сигнала применение опорных точек обязательно при удалении от базовой станции не более, чем на 15 км. Для топографических планов с высотой сечения рельефа 0,25 м опорные точки необходимо располагать через 8 км.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Li Y., Bai Y., Wang M. A self-calibration method for boresight error of mobile mapping system // 2nd International Conference on Geoscience and Environmental Chemistry (ICGEC 2020). – 2020. – Vol. 206. – Article Number 03010. – P. 5.
2. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 121–139.
3. Рыльский И. А. Уравнивание данных лазерного сканирования в RIPROCESS // Вестник науки и образования. – 2020. – № 15-1(93). – С. 65–69.
4. Алтынцев М. А., Анцифиров Е. С. Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 90–95.
5. Комиссаров А. В., Алтынцев М. А. Метод активного дистанционного зондирования: лазерное сканирование : монография. – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. – 254 с.
6. Hussnain Z., Oude Elbernk S., Vosselman G. An automatic procedure for mobile laser scanning platform 6dof trajectory adjustment. ISPRS // International Archives of ISPRS. – 2018. – Vol. XLII-1. – P. 203–209.
7. Медведев В. И., Сарычев Д. С., Скворцов А. В. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – № 2 (3). – С. 67–74.
8. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142–149.
9. Ding W., Wang J., Rizos C., Kinlyside D. Improving adaptive Kalman estimation in GPS/INS integration // Journal of Navigation. – 2007. – Vol. 60 (03). – P. 517–529.
10. Levinson J., Montemerlo M., Thrun S. Map-Based Precision Vehicle Localization in Urban Environments // Conference: Robotics: Science and Systems III (June 27-30). – Atlanta, Georgia, USA : Georgia Institute of Technology, 2007. doi:10.15607/RSS.2007.III.016.
11. Zhao Y. GPS/IMU integrated system for land vehicle navigation based on MEMS. – Stockholm, Sweden : KTH Royal Institute of Technology, 2011. – 85 с.
12. Guan H., Li J., Yu Y., Wang C., Chapman M., Yang B. Using mobile laser scanning data for automated extraction of road markings // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2014. – Vol. 87. – P. 93–107.
13. Hu H., Sons M., Stiller C. Accurate global trajectory alignment using poles and road markings // IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV). – 2019. – arXiv:1903.10205v1. – P. 1186–1191.
14. TerraScan User Guide. – [Electronic resource]. – Mode of access : <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (дата обращения 28.04.2021).
15. Wu C.-T., Hsiao C.-Y., Chen C.-S. Improvement of LiDAR data accuracy using 12 parameter affine transformation // Journal of Chinese Soil and Water Conservation. – 2013. – Vol. 44 (4). – P. 293–301.
16. Wang Y., Chen Q., Zhu Q., Liu L., Li C., Zheng D. A survey of mobile laser scanning applications and key techniques over urban areas // Remote Sensing. – 2019. – Vol. 11(13). – P. 1540.
17. Wen C., Xia Y., Lian Y., Dai Y., Tan J., Wang C., Li J. Mobile laser scanning systems for GPS/GNSS-denied environment mapping // International Archives of ISPRS. – 2018. – Vol. XLII-1. – P. 457–460.
18. Hutton J., Roy E. The Applanix SmartBase software for improved robustness, accuracy, and productivity of mobile mapping and positioning [Electronic resource]. – Mode of access: <https://www.applanix.com/pdf/applanix%20smartbase.pdf> (дата обращения 24.04.2021).
19. Scherzinger, B., Hutton, J. Applanix In-Fusion technology explained [Electronic resource]. – Mode of access : https://www.applanix.com/pdf/Applanix_IN-Fusion.pdf (дата обращения 24.04.2021).
20. Schaer P., Vallet J. Trajectory adjustment of mobile laser scan data in GPS denied environments // International Archives of ISPRS. – 2016. – Vol. XL-3/W4. – P. 61–64.

21. Gao Y., Huang X., Zhang F., Fu Z., Yang C. Automatic geo-referencing mobile laser scanning data to UAV images // International Archives of ISPRS. – 2015. – Vol. XL-1/W4. – P. 41–46.
22. Hussnain Z., Oude Elbernk S., Vosselman G., 2019. Automatic extraction of accurate 3D tie points for trajectory adjustment of mobile laser scanners using aerial imagery // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2019. – Vol. 154. – P. 41–58.
23. Axelsson P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models // International Archives of ISPRS. – 2000. – Vol. XXXIII-4. – P. 111–118.
24. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. – 2-е изд. – М. : БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 752 с.
25. Hoppe H., Deroose T., Duchamp T., McDonald J., Stuetzle W. Surface reconstruction from unorganized points // Proceedings of SIGGRAPH. – 1992. – P. 71–78.
26. СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. – М. : ЦНИИГАиК, 2016.

Получено 11.05.2021

© М. А. Алтынцев, Каркокли Хамид Маджид Сабер, 2021

TECHNIQUE OF AUTOMATIC MOBILE LASER SCANNING DATA ADJUSTMENT

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (952)915-29-80, e-mail: mnbcv@mail.ru

Karkokli Hamid Majid Saber

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10 Plakhotnogo, Novosibirsk, 630108, Ph. D. Student of Engineering Geodesy and Mine Surveying Department, phone: (923)173-41-25, e-mail: enghamid72@yahoo.com

Adjustment is a main step in the preliminary processing of mobile laser scanning (MLS) data. As a result of this step, a point cloud is generated in a certain coordinate system. The modern software, provided with the corresponding surveying system, is capable of performing in automatic mode most stages of MLS data adjustment obtained for territories with different quantity of buildings. With a sufficient number of vertically arranged planar objects, such as building walls, the algorithms embedded in the software provide a high accuracy of relative adjustment, which consists in calculating and applying corrections for trajectories obtained with re-scanning the same area. Absolute adjustment can also be carried out automatically, subject to the rules for placing control points in order to automatically detect them. This kind of adjustment involves transforming a point cloud with using control point coordinates measured with more accurate surveying methods. The accuracy of automatic relative adjustment can be significantly reduced with the almost complete absence of vertical flat objects. In this case, it is necessary to develop additional adjustment techniques capable of using not only flat objects of a large area, but also vertical objects, such as road signs and poles. Comprehensive technique of MLS data adjustment, which can use information on the position of road signs and poles for territories with an insufficient number of vertical flat objects is proposed. The accuracy estimation of both the relative and absolute MLS data adjustment according to the proposed technique was carried out. The choice of the required control point density for territories with different quantity of buildings is explained.

Keywords: mobile laser scanning, data adjustment, vertical objects, control points, accuracy estimation

REFERENCE

1. Li, Y., Bai, Y., & Wang, M. (2020). A self-calibration method for boresight error of mobile mapping system. *2nd International Conference on Geoscience and Environmental Chemistry (ICGEC 2020)*, Vol. 206, Article Number 03010, P. 5.

2. Altyntsev, M. A. (2020). The technique for creating digital three-dimensional models of oil and gas manufacturing facility object infrastructure using terrestrial laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 121–139 [in Russian].
3. Rylskiy, I. A. (2020). LIDAR data adjustment using RIPROCESS. *Vestnik nauki i obrazovaniya [Bulletin of Science and Education]*, 15-1(93), 65–69 [in Russian].
4. Altyntsev, M. A., & Antsifirov, Y. S. (2013). Accuracy research of mobile laser scanning data adjustment. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 90–95). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
5. Komissarov, A. V., & Altyntsev, M. A. (2020). *Metod aktivnogo distancionnogo zondirovaniya: lazernoe skanirovanie [Active remote sensing method: laser scanning]*. Novosibirsk: SSUGT Publ., 254 p. [in Russian].
6. Hussnain, Z., Oude Elbernk, S., & Vosselman, G. (2018). An automatic procedure for mobile laser scanning platform 6dof trajectory adjustment. *International Archives of ISPRS, XLII-1*, 203–209.
7. Medvedev, V. I., Sarychev, D. S., & Skvortsov, A. V. (2014). Lidar data preprocessing in IndorCloud. *SAPR i GIS avtomobil'ny'x dorog [CAD & GIS for Roads]*, 2(3), 67–74 [in Russian].
8. Seredovich, V. A., Altyntsev, M. A., & Popov, R. A. (2014). The choice of mobile laser scanning data adjustment technique subject to obtained data quantity of surveyed area. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2 Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 142–149). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
9. Ding, W., Wang, J., Rizos, C., & Kinlyside, D. (2007). Improving adaptive Kalman estimation in GPS/INS integration. *Journal of Navigation*, 60(03), 517–529.
10. Levinson, J., Montemerlo, M., & Thrun, S. (2007). Map-Based Precision Vehicle Localization in Urban Environments. *Conference: Robotics: Science and Systems III, June 27-30*. Atlanta, Georgia, USA: Georgia Institute of Technology. doi: 10.15607/RSS.2007.III.016.
11. Zhao, Y. (2011). *GPS/IMU integrated system for land vehicle navigation based on MEMS*. Stockholm, Sweden : KTH Royal Institute of Technology, 85 p.
12. Guan, H., Li, J., Yu, Y., Wang, C., Chapman, M., & Yang, B. (2014). Using mobile laser scanning data for automated extraction of road markings. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 87, 93–107.
13. Hu, H., Sons, M., & Stiller, C. (2019). Accurate global trajectory alignment using poles and road markings. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, arXiv:1903.10205v1, 1186–1191.
14. TerraScan User Guide. (n. d.). Retrieved from <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (accessed 28.04.2021).
15. Wu, C.-T., Hsiao, C.-Y., & Chen, C.-S. (2013). Improvement of LiDAR data accuracy using 12 parameter affine transformation. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, 44(4), 293–301.
16. Wang, Y., Chen, Q., Zhu, Q., Liu, L., Li, C., & Zheng, D. (2019). A survey of mobile laser scanning applications and key techniques over urban areas. *Remote Sensing*, 11(13), P. 1540.
17. Wen, C., Xia, Y., Lian, Y., Dai, Y., Tan, J., Wang, C., & Li, J. (2018). Mobile laser scanning systems for GPS/GNSS-denied environment mapping. *International Archives of ISPRS, XLII-1*, 457–460.
18. Hutton, J., & Roy, E. (n. d.). The Applanix SmartBase software for improved robustness, accuracy, and productivity of mobile mapping and positioning. Retrieved from <https://www.applanix.com/pdf/applanix%20smartbase.pdf> (accessed 24.04.2021).
19. Scherzinger, B., & Hutton, J. (n. d.). Applanix In-Fusion technology explained. Retrieved from https://www.applanix.com/pdf/Applanix_IN-Fusion.pdf (accessed 24.04.2021).
20. Schaer, P., & Vallet, J. (2016). Trajectory adjustment of mobile laser scan data in GPS denied environments. *International Archives of ISPRS, XL-3/W4*, 61–64.
21. Gao, Y., Huang, X., Zhang, F., Fu, Z., & Yang, C. (2015). Automatic geo-referencing mobile laser scanning data to UAV images. *International Archives of ISPRS, XL-1/W4*, 41–46.
22. Hussnain, Z., Oude Elbernk, S., & Vosselman, G. (2019). Automatic extraction of accurate 3D tie points for trajectory adjustment of mobile laser scanners using aerial imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 154, 41–58.

23. Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of ISPRS, XXXIII-4*, 111–118.
24. Shapiro, L., & Stockman, G. (2013). *Komp'yuternoe zrenie [Computer vision]* (2nd ed.). Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy Publ., 752 p. [in Russian].
25. Hoppe, H., Derose, T., Duchamp, T., McDonald, J., & Stuetzle, W. (1992). Surface reconstruction from unorganized points. *Proceedings of SIGGRAPH* (pp. 71–78).
26. Code of Practice. SP 47.13330.2016. Engineering survey for construction. Basic principles». (2016). Moscow: TSNIIGAiK Publ. [in Russian].

Received 11.05.2021

© M. A. Altyntsev, Karkokli Hamid Majid Saber, 2021

УДК 551.2/3:553.31(571.17)

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-24-31

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ СИТУАЦИИ ТАШТАГОЛЬСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Борис Тимофеевич Мазуров

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

Татьяна Валентиновна Лобанова

Сибирский государственный индустриальный университет, 654007, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42, доктор технических наук, e-mail: lobanova_tv@sibsiu.ru

Татьяна Евгеньевна Елицина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)343-29-11, e-mail: dony2005@mail.ru

Динара Аамалбековна Абжапарова

Ошский государственный университет, 714000, Киргизия, г. Ош, ул. Ленина, 331, кандидат технических наук, доцент, тел. (996-03-222)5-46-65, e-mail: ada23121970@yandex.ru

Приведены результаты ГНСС-наблюдений в районе охраняемых объектов в зоне влияния горных разработок. Для исследований был выбран Северо-Западный участок Таштагольского железорудного месторождения. Это самое крупное месторождение в Горной Шории. Осложняет мониторинг имеющийся провал непосредственно в районе шахты. Проведен анализ смещений земной поверхности при техногенном воздействии. Использовались метод конечных элементов, модель локально-однородной деформации треугольного конечного элемента. Для определения параметров полей деформации и их визуализации применялись пакеты программ Surfer, Elcut. В статье иллюстрируются изменение формы и границы, перемещения и дилатация, поле деформаций по оси x и поле деформаций по оси y . Результаты исследований помогут обосновать экспертную оценку геодинамической ситуации Таштагольского железорудного месторождения в настоящее время и выполнять обоснованный прогноз деформационной обстановки территории месторождения. Этим обосновывается актуальность регулярно проводимых геодезических наблюдений.

Ключевые слова: железорудное месторождение, ГНСС-наблюдения, конечные элементы, визуализация, поля деформации, дилатация, сдвиг, вращение

Введение

Геодезические методы играют большую роль при исследовании как природных геодинамических процессов: землетрясений, вулканизма [1–5], оползней, цунами, – так и техногенных процессов. Наиболее интенсивно они проявляются в местах разработки полезных ископаемых – нефти, газа, открытых и закрытых карьеров по добыче угля [6, 7], железорудных месторождениях [8] и др. [9, 10].

Горную Шорию (юг Кемеровской области, Россия) представляют железорудные месторождения Тельбесского и Кондомского

районов. К месторождениям Тельбесского района относятся Сухаринское, Темирское и Казское, к Кондомской группе – Таштагольское и Шерегешевское. Наиболее крупными в Горной Шории являются Таштагольский, Шерегешский и Казский рудники. Отличительная особенность железорудных месторождений состоит в том, что их отработка осуществляется в условиях повышенной опасности проявления динамических событий. Например, инструментальные наблюдения за движением земной поверхности на Шерегешевском месторождении ведутся с 1964 г. В настоящее время постоянные

наблюдательные станции заложены на всех действующих участках шахты – «Главный», «Болотный», «Новый Шерегеш», «Подруслый». Эти станции представлены системой из 16 профильных линий, по которым наблюдается около 190 реперов. Оценки сдвижения горных пород в районах охраняемых объектов (сооружения промплощадки рудника, ручей Большая речка, жилые дома) в периоды производства массовых взрывов и происходящих после этого перераспределений напряжений в налегающих и боковых породах проводятся на основе многочасовых ГНСС-наблюдений по характерным пунктам профильных линий.

Исходные данные и методика

Наиболее опасным по количеству сейсмических событий и их интенсивности является Таштагольское месторождение [8]. Здесь, уже на глубине 300 м, наблюдались стрельня горных пород, а в настоящее время при работах на глубине 500 м и более имеют место горные удары, в том числе большой разрушительной силы (10^7 – 10^9 Дж), вызывающие повреждение горных выработок на большой

площади, остановку технологических процессов. В конечном итоге это приводит к существенным экономическим потерям. В период с 1959 г. по настоящее время на месторождении зафиксировано более 23 тыс. динамических проявлений горного давления, из них 20 собственно горных ударов. Обстановка в регионе месторождений усугубляется тем, что Кемеровская область и Хакасия соседствуют с Алтае-Саянской горной провинцией, имеющей повышенную сейсмоактивность. Район Таштагольского месторождения характерен наличием тектонических разломов и нарушений. Движения по их границам обуславливают геодинамическую активность массива горных пород как в зоне влияния подземных горных разработок, так и за ее пределами. Эксплуатация охраняемых объектов Таштагольского рудника (шахтные стволы и сооружения их надшахтных комплексов, административно-бытовой комбинат (АБК) шахты, железнодорожные пути, р. Кондома), расположенных на Восточном участке в разломных зонах (рис. 1), осложняется влиянием очистных работ, системой отработки месторождения с обрушением руд и вмещающих пород, а также проявлением геодинамических процессов.

Рис. 1. Схема структурных блоков Таштагольского месторождения и ГНСС-полигонов на основе наблюдательной станции

Для оценки возможности безопасной эксплуатации этих объектов и прогнозирования ожидаемых величин деформаций необходимо определить характер и тип движений земной поверхности, установить достоверность выявленных особенностей и закономерностей развития деформаций земной поверхности, горных пород, строительных конструкций.

Исследования выполнены по данным дискретных ГНСС-наблюдений, проведенных на Таштагольском руднике (см. рис. 1).

За время проведения ГНСС-наблюдений неоднократно менялась геометрия наблюдательной сети. Для анализа накоплений сдвижений нами были взяты результаты наблюдений за период 23.05.2012–13.07.2019 (таблица).

Координаты пунктов и накопленных сдвижений

Реперы, профильные линии	X, м (геод)	Y, м (геод)	Z, м	ΔX , мм	ΔY , мм	ΔXY , мм	ΔZ , мм
+16, Шх. Северная	10 994	12 728	437	+1	+27	27	+16
+6, Шх. Северная	11 868	12 503	542	-16	+59	61	+42
I	11 044	11 841	477	-14	+22	26	+17
VI	11 210	12 856	437	-19	+26	32	+4
IV	11 158	12 911	438	-15	+36	39	+7
V	11 156	12 986	457	-11	+44	45	+27
II	10 915	12 014	468	-16	+9	18	+4
III	10 941	12 361	469	-18	+11	21	+9
+12, Сев. по простир.	10 843	12 303	456	-66	+31	73	+32
+7, Д. Средняя	10 657	12 152	470	-73	+32	80	+45

Это Северо-Западный участок месторождения. Наблюдения выполнялись сотрудниками Сибирского государственного индустриального университета.

Результаты

При визуализации поверхности территории месторождения использовался метод Kriging [4, 11–13], реализованный в программе Surfer.

На рис. 2–4 приведены варианты визуализации рельефа территории Таштагольского месторождения. Для каждого рисунка использовались различные приемы картографического изображения рельефа поверхности.

Для представления картины горизонтальных сдвижений были выбраны метод конечных элементов [1, 14] и модель локально-однородной деформации конечного элемента [1], современные компьютерные программы визуализации полей деформаций

и напряжений [1, 5, 10, 11], в частности Elcut.

Для плоскости это треугольник. Вся территория разбивается на конечные элементы – треугольники (рис. 5).

Рис. 2. Представление рельефа горизонталями с цветовой отливкой

Рис. 3. Рельеф, представленный горизонталями, показом пунктов ГНСС-сети и контура северо-западной части провала

Рис. 4. Объемная визуализация территории

Рис. 5. Разбиение наблюдаемой территории на конечные элементы

При вычислении использовались известные формулы для оценки параметров модели локально-однородной деформации для плоскости [1, 10]. В вычислении для каждого треугольного конечного элемента исходными данными были плоские координаты x, y и величины смещений вершин треугольника u_x, u_y :

$$\left. \begin{aligned} u_{x_i} &= e_{10} + e_{11}x_i + e_{12}y_i, \\ u_{y_i} &= e_{20} + e_{21}x_i + e_{22}y_i, \\ u_{x_j} &= e_{10} + e_{11}x_j + e_{12}y_j, \\ u_{y_j} &= e_{20} + e_{21}x_j + e_{22}y_j, \\ u_{x_k} &= e_{10} + e_{11}x_k + e_{12}y_k, \\ u_{y_k} &= e_{20} + e_{21}x_k + e_{22}y_k. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Система (1) состоит из шести линейных уравнений с шестью неизвестными – коэффициентами линейной модели перемещений:

$$e = [e_{10} \ e_{11} \ e_{12} \ e_{20} \ e_{21} \ e_{22}]^T. \quad (2)$$

Из решения системы (1) эти коэффициенты определяются для треугольного КЭ с вершинами 1, 2 и 3 следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} e_{11} &= \frac{(u_{x_1} - u_{x_2})(y_1 - y_3) - (u_{x_1} - u_{x_3})(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_3) - (x_1 - x_3)(y_1 - y_2)}, \\ e_{12} &= \frac{(u_{x_1} - u_{x_2})(x_1 - x_3) - (u_{x_1} - u_{x_3})(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)(x_1 - x_3) - (y_1 - y_3)(x_1 - x_2)}, \\ e_{21} &= \frac{(u_{y_1} - u_{y_2})(y_1 - y_3) - (u_{y_1} - u_{y_3})(y_1 - y_2)}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_3) - (x_1 - x_3)(y_1 - y_2)}, \\ e_{22} &= \frac{(u_{y_1} - u_{y_2})(x_1 - x_3) - (u_{y_1} - u_{y_3})(x_1 - x_2)}{(y_1 - y_2)(x_1 - x_3) - (y_1 - y_3)(x_1 - x_2)}; \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} e_{10} &= u_{x_1} - e_{11}x_1 - e_{12}y_1, \\ e_{20} &= u_{y_1} - e_{21}x_1 - e_{22}y_1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Инвариантные (независящие от начала системы координат и ориентации ее осей) свойства конечного элемента отражают четыре коэффициента. Они обычно записываются в виде квадратной матрицы (5) – тензора деформации [1, 3, 10, 15]:

$$T = \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} \\ e_{21} & e_{22} \end{pmatrix}. \quad (5)$$

В тензоре T выделяется симметричная часть T_ε , отражающая чистую деформацию КЭ, и кососимметричная часть T_ω , отражающая вращение КЭ как абсолютно твердого тела:

$$T = T_\varepsilon + T_\omega;$$

$$T_\varepsilon = \begin{pmatrix} e_{11} & \frac{e_{12} + e_{21}}{2} \\ \frac{e_{21} + e_{12}}{2} & e_{22} \end{pmatrix};$$

$$T_\omega = \begin{pmatrix} 0 & \frac{e_{12} - e_{21}}{2} \\ \frac{e_{21} - e_{12}}{2} & 0 \end{pmatrix}.$$

Разворот треугольного КЭ вычисляется следующим образом:

$$\omega = \frac{e_{12} - e_{21}}{2}; \quad \omega'' = \rho'' \omega.$$

По элементам тензора T_ε определяются характеристики деформации треугольного конечного элемента – дилатация (расширение/сжатие), сдвиговые компоненты и их ориентация.

Программа Elcut позволила оценить и визуализировать характеристики деформации, направления векторов сдвижений, изменение формы и границ всей территории, на которой были выполнены ГНСС-определения. Они показаны на рис. 6.

Рис. 6. Изменение формы и границы, перемещения и дилатация, поле деформаций по x и поле деформаций по y

Также мы имеем возможность в программе Elcut визуализировать поля главных деформаций ε_1 и ε_2 исследуемой территории. Отметим, что на рис. 6 имеется достаточно информации для экспертной оценки тенденций изменений координат и деформационных параметров.

Таким образом, решены задачи определения характера и типа движений земной поверхности, установления достоверности выявленных особенностей и закономерностей развития деформаций земной поверхности, горных пород, строительных конструкций. Полученные результаты направлены на оценку возможности безопасной эксплуатации объектов недропользования и прогнозирования ожидаемых величин деформаций.

Заключение

Внедрение методов спутниковых наблюдений в исследования процессов сдвижения на различных объектах и в различных геологических условиях позволило выявить геодинамические движения и оценить их влияние на эксплуатацию объектов. Анализ результатов инструментальных наблюдений сдвижений горных пород в районе ствола «Сибиряк» и в целом Таштагольского месторождения показал, что зафиксированные в районе ствола смещения характеризуют геодинамические движения и обусловлены природными процессами, происходящими в районе месторождения.

Предположительно основными факторами, влияющими на геодинамические движения породного массива и их активизацию в 2016–2017 гг., являлись высокая сейсмическая активность района Таштагольского месторождения и региона Горной Шории в целом, тектоническая нарушенность массива горных пород и взрывное воздействие на этот массив.

Повышение уровня геодинамической активности в районе ствола в условиях возобновления работ по его пуску в эксплуатацию свидетельствует о необходимости мониторинга геодинамических процессов в районе надшахтного комплекса ствола и, вероятно, закладки специальной наблюдательной станции с организацией инструментальных наблюдений за сдвижением земной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Есиков Н. П. Тектонофизические аспекты анализа современных движений земной поверхности. – Новосибирск : Наука, 1979. – 182 с.
2. Кафтан В. И., Серебрякова Л. И. Современные движения земной коры. – М., 1990. – Т. 28 (Геодезия и аэросъемка. Итоги науки и техники. ВИНТИ АН СССР). – 149 с.
3. Татевян С. К., Кузин С. П., Ораевская С. П. Использование спутниковых позиционных систем для геодинамических исследований // Геодезия и картография. – 2004. – № 6. – С. 33–44.
4. Krige D. G. A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the Witwatersrand : Master's thesis. – University of Witwaterstand, South Africa, 1951.
5. Terada T., Miyabe N. Deformation of the earth crust in Kwansai districts and its relation to the orographic feature // Bulletin of the Earthquake Research Institute. – 1929. – No. 7. – P. 223–239.
6. Мозер Д. В., Левин Е. Л., Гей Н. И., Каранеева А. Д., Нагибин А. А. Мониторинг деформаций земной поверхности на территории Карагандинского угольного бассейна // Геодезия и картография. – 2015. – № 3. – С. 21–26.
7. Каленицкий А. И., Соловицкий А. Н. О развитии многоуровневых построений на геодинамическом полигоне при освоении недр Кузбасса // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 45–55.
8. Лобанова Т. В., Трофимова О. Л. Современные геодинамические движения в районе ствола «Сибиряк» Таштагольского рудника // Проблемы недропользования. – 2018. – № 3. – С. 70–80.
9. Гордеев В. Ф., Малышков С. Ю., Поливач В. И. Геофизический мониторинг опасных техногенных проявлений на подрабатываемых территориях // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 35–44.
10. Кузьмин Ю. О. Идентификация результатов повторных геодезических наблюдений при оценке геодинамической опасности объектов недропользования // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 4. – С. 46–64.
11. Берлянт А. М. Свойства визуализации как способа моделирования геоизображений // Геодезия и картография. – 2005. – № 12. – С. 43–52.
12. Елшина Т. Е., Утробина Е. С., Сысоев А. В. Визуализация модели горного рельефа для WEB-карт // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 145–155.
13. Абжапарова Д. А., Мазуров Б. Т. Картографическое обеспечение инженерно-геодезических работ в горной местности с учетом секущей плоскости // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 5–13.
14. Оден Дж. Конечные элементы в нелинейной механике сплошных сред. – М. : Мир, 1976. – 464 с.
15. Акивис М. А., Гольдберг В. В. Тензорное исчисление. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1972. – 352 с.

Получено 19.04.2021

© Б. Т. Мазуров, Т. В. Лобанова, Т. Е. Елшина, Д. А. Абжапарова, 2021

ASSESSMENT OF THE MODERN GEODYNAMIC SITUATION AT TASHTAGOL IRON ORE DEPOSIT

Boris T. Mazurov

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

Tatiana V. Lobanova

Siberian State Industrial University, 42, Kirova St., Novokuznetsk, 654007, Russia, D. Sc., e-mail: lobanova_tv@sibsiu.ru

Tatiana E. Elshina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)343-29-11, e-mail: dony2005@mail.ru

Dinara A. Abzhaparova

Osh State University, 331, Lenina St., Osh, 714000, Kyrgyzstan, Ph. D., Associate Professor, phone: (996-03-222)5-46-65, e-mail: ada23121970@yandex.ru

The results of GNSS observations in the area of protected objects in the mining influence zone are presented. For research, the Northwest section of the Tashtagol iron ore deposit was selected. This is the largest field in the Mountain Shoria. Directly in the area of the mine there is a sinkhole. This makes monitoring difficult. An analysis of the displacements of the earth's surface under anthropogenic impact is carried out. The finite element method and the model of locally uniform deformation of a triangular finite element were used. Surfer and Elcut software packages were used to determine the parameters of the deformation fields and their visualization. The article shows the change in shape and boundary, displacement and dilatation fields, deformation field along the x axis and deformation field along the y axis. The research results will help to substantiate an expert assessment of the geodynamic situation of the Tashtagol iron ore deposit at present and to make a reasonable forecast of the deformation situation of the deposit territory. This justifies the relevance of regularly conducted geodetic observations, which are also of environmental importance and industrial safety.

Keywords: iron ore deposit, GNSS observations, finite elements, visualization, deformation fields, dilatation, shear, rotation

REFERENCES

1. Esikov, N. P. (1979). *Tektonofizicheskie aspekty analiza sovremennykh dvizheniy zemnoy poverkhnosti* [Tectonophysical aspects of the analysis of modern movements of the earth's surface]. Novosibirsk: Nauka Publ., 182 p. [in Russian].
2. Kaftan, V. I., Serebryakova, L. I. (1990). *Sovremennye dvizheniya zemnoy kory: T. 28, Geodeziya i aeros"emka. Itogi nauki i tekhniki* [Modern movements of the earth's crust: T. 28, Geodesy and aerial photography. Results of science and technology. VINITI AN USSR]. Moscow, 149 p. [in Russian].
3. Tatevyan, S. K., Kuzin, S. P., & Oraevskaya, S. P. (2004). Using satellite positioning systems for geodynamic research. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography], 6, 33–44 [in Russian].
4. Krige, D. G. (1951). A statistical approach to some mine valuations and allied problems at the Witwatersrand. *Master's thesis*. University of Witwaterstand, South Africa, 1951.
5. Terada, T., & Miyabe, N. (1929). Deformation of the earth crust in Kwansai districts and its relation to the orographic feature. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 7, 223–239.
6. Moser, D. V., Levin, E. L., Gey, N. I., Karaneyeva, A. D., & Nagibin, A. A. (2015). Monitoring of deformations of the earth's surface on the territory of the Karaganda coal basin. *Geodeziya i kartografiya* [Geodesy and Cartography], 3, 21–26 [in Russian].
7. Kalenitskiy, A. I., & Solovitskiy, A. N. (2019). On the development of multilevel structures on the geodynamic test site during the development of the Kuzbass subsoil. *Vestnik SGUGiT* [Vestnik SSUGT], 24(2), 45–55 [in Russian].

8. Lobanova, T. V., & Trofimova, O. L. (2018). Modern geodynamic movements in the area of the Sibiryak shaft of the Tashtagol mine. *Problemy nedropol'zovaniya [Problems of Subsurface Use]*, 3, 70–80 [in Russian].
9. Gordeev, V. F., Malyshkov, S. Yu., & Polivach, V. I. (2019). Geophysical monitoring of dangerous technogenic manifestations in undermined areas. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(2), 35–44 [in Russian].
10. Kuzmin, Yu. O. (2018). Identification of the results of repeated geodetic observations when assessing the geodynamic hazard of subsoil use objects. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(4), 46–64 [in Russian].
11. Berlyant, A. M. (2005). Visualization properties as a method for modeling geoimages. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12, 43–52 [in Russian].
12. Elshina, T.E., Utrobina, E. S., & Sysoev, A. V. (2020). Visualization of the mountain relief model for WEB-maps. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 145–155 [in Russian].
13. Abzhaparova, D. A., & Mazurov, B. T. (2017). Cartographic support of engineering and geodetic works in mountainous areas, taking into account the secant plane. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 5–13 [in Russian].
14. Auden, J. (1976). *Konechnye elementy v nelineynoy mekhanike sploshnykh sred [Finite elements in nonlinear mechanics of continuous media]*. Moscow: Mir Publ., 464 p. [in Russian].
15. Akivis, M. A., Goldberg, V. V. *Tenzornoe ischislenie [Tensor calculus]*. Moscow: "Science" Publ., Main Editorial Office of Physical and Mathematical Literature, 352 p. [in Russian].

Получено 19.04.2021

© B. T. Mazurov, T. V. Lobanova, T. E. Elshina, D. A. Abzhaparova, 2021

УДК 004.5:656.1

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-32-43

СОДЕРЖАНИЕ И ПРАКТИКА ФОРМИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА АВТОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

Валентина Алексеевна Бударова

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (3452)28-36-60, e-mail: budarova@bk.ru

Наталья Григорьевна Мартынова

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (3452)28-36-60, e-mail: natali.cherdanceva@mail.ru

Артем Витальевич Шереметинский

Тюменский индустриальный университет, 625000, Россия, г. Тюмень, ул. Володарского, 38, аспирант кафедры геодезии и кадастровой деятельности, тел. (3452)28-39-15, e-mail: artemshere93@gmail.com

Целью работы определена современная актуальная проблема формирования цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры. В качестве объекта исследования взят участок автодороги, соединяющей города ХМАО и ЯНАО: Сургут и Салехард, расположенные в Арктической зоне России. На указанном участке Пурпе – Пуровск км 494 + 650 – км 507 + 200 в процессе подготовительных к ремонту работ был выполнен значительный, определенный проектом объем изыскательских и специальных с применением наземного лазерного сканирующего прибора Leica Nova MS60 измерительных работ для создания цифровой модели данного участка автомобильной автодороги и прилегающего пространства с имеющимися объектами. В результате выполненных работ разработана методика производства (специального рабочего процесса) выполнения инженерных изысканий и обработки полученных данных с применением технологии наземного лазерного сканирования (НЛС), обеспечивающего формирование цифрового информационного пространства автодороги федерального уровня, информационные потребности ее эксплуатации, содержания как недвижимого имущества, возможной реконструкции и последующих ремонтов. Технология может быть использована при разработке транспортной инфраструктуры северных районов РФ. Практические результаты применения НЛС демонстрируют его надежность и целесообразность в указанных условиях при проведении подобных работ.

Ключевые слова: стратегия пространственного развития, транспортная цифровая инфраструктура, геопространственная деятельность, геоинформационное обеспечение, линейное сооружение, автодорога, наземное лазерное сканирование

Введение

Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г., утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 13.02.2019 № 207-р (ред. от

31.08.2019), содержит целый целевых показателей и прогнозируемых сценариев пространственного развития Российской Федерации, определяющих, в том числе задачи и содержание геопространственной деятельности (табл. 1).

Таблица 1

Целевые показатели пространственного развития Российской Федерации

Целевые показатели	Значение	2017 г.	Сценарии	
			инерционный	целевой
			2025 г.	2025 г.
1. Среднегодовые темпы роста валового регионального продукта субъектов РФ, в которых располагаются перспективные крупные центры экономического роста РФ	%	101	102,6	103,7
2. Отношение среднедушевого валового регионального продукта субъектов РФ, относящихся к приоритетным геостратегическим территориям (кроме Арктической зоны), к среднероссийскому значению	–	0,64	0,66	0,7
3. Межрегиональная дифференциация индекса человеческого развития по отношению к уровню 2017 г.	%	100	101	97
4. Рост транспортной подвижности населения по отношению к уровню 2017 г.	%	100	115	118
5. Рост экспорта услуг от транзитных перевозок по отношению к уровню 2017 г.	%	100	135	143

4-я и 5-я позиции табл. 1 представляют показатели Стратегии, связанные с цифровой трансформацией транспортной отрасли РФ и технологическими решениями их геопространственного обеспечения [1], подчеркивают актуальность настоящего исследования, посвященного формированию актуального и достоверного геопространства на конкретном примере.

Основную роль в решении данной геопространственной задачи играет геоинформационное, в большей степени геодезическое обеспечение, строго по координатам упорядочивающее пространственный образ конкретного объекта реального мира. Использоваться здесь может широкий спектр известных и новых видов работ и технологий, хорошо зарекомендовавших себя в процессе изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации различных объектов капитального строительства и сооружений, исследовании климата и природных ресурсов, недропользовании, решении научных задач.

Среди распространенных методов отметим методы полевого наземного и дистанционного обследования территорий с использованием различного оборудования: приемников GNSS, наземных и воздушных лазерных сканеров, спектрографов и спектрометров, другой современной техники.

Следует отметить, что даже самые точные приборы требуют профессионального использования, апробированных методик измерений, своевременных метрологических проверок, опытных и знающих пользователей. Так, наземное лазерное сканирование относят к высокоточным измерениям, но и оно зависит от пользовательских ошибок, обусловленных, в частности, созданием осредненного шаблона сканирования без учета назначения измерений, условий местности, погоды и т. д. Ошибки определяются техническими характеристиками приборов, важно также учитывать поверхностное отражение или отражательную способность сканируемого объекта и точность координат наземного обоснования.

Важность исследований в данной области неоднократно подчеркивалась как отечественными, так и зарубежными специалистами, отмечавшими необходимость их проведения в дальнейшем, обусловленную решением особо ответственных задач [2–14].

Важным аспектом являются методы и подходы НЛС [15–20], которые могут быть сформированы в зависимости от условий, целей съемки. То есть разнообразные способы съемки напрямую зависят от объекта, так как его характеристики влияют на появление тех

или иных ошибок. Поэтому для достижения точности необходимо предотвратить появление ошибок в процессе съемки.

С учетом вышеизложенного целью данной работы определена разработка практического варианта решения задачи по геопространственному обеспечению обновления и ремонта транспортной инфраструктуры, представленной автомобильной дорогой Сургут – Салехард на участке Пурпе – Пуровск км 494 + 650 – км 507 + 200. В качестве основной технологии указанного обеспечения использовано наземное лазерное сканирование, а полученные результаты стали основанием их интерпретации как одной из технологий формирования цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры РФ.

Методы и материалы

В основу исследования положены практические материалы по наземному лазерному сканированию объектов автомобильной дороги Сургут – Салехард на участке Пурпе – Пуровск км 494 + 650 – км 507 + 200.

В качестве исходных данных использован каталог координат пунктов опорной геодезической сети на участке и проект «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск».

Наземное лазерное сканирование было выполнено с использованием сканирующего тахеометра Leica Nova MS60 для создания цифровой модели участка автомобильной дороги.

В рамках исследования был разработан специальный рабочий процесс на основе практической технологии НЛС для формирования цифровой модели объекта капитального строительства или сооружения, в частности, указанного участка автодороги, и цифрового информационного пространства прилегающей территории (на 100–150 м по обе стороны с существующими объектами), включающего следующее содержание:

1. Полевые работы на объекте «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск»:

– юстировка прибора, рекогносцировка местности, поиск и осмотр пунктов опорной геодезической сети;

– определение констант, приведение к горизонту и ориентирование прибора на каждой станции;

– нанесение и измерение дополнительных точек на местности для обеспечения ориентирования последующих станций установки прибора;

– определение областей сканирования в пространстве и настройка характеристик скана;

– поочередное сканирование выбранных областей.

2. Камеральные работы на объекте «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск»:

– импорт файла проекта в программный комплекс Leica Infinity;

– проверка параметров и значений измеренных точек, станций;

– уравнивание объединенных облаков точек относительно исходных контрольных пунктов;

– экспорт объединенного и уравненного облака точек в текстовом формате PTS;

– импорт облака точек в программный комплекс 3DReshaper;

– последовательная чистка облака точек от шума, удаление дефектных участков облака точек;

– настройка и построение трехмерной поверхности;

– сглаживание и упрощение поверхности;

– устранение пиков;

– импорт, корректировка и унификация поверхности в Civil 3D;

– экспорт поверхности в формате XML для передачи в работу.

3. Цифровая модель автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск.

4. Цифровое информационное пространство транспортной отрасли РФ.

Рабочий процесс реализации проекта «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск» представлен на рис. 1.

Рис. 1. Этапы рабочего процесса реализации проекта «Ремонт автомобильной дороги Сургут – Салехард, участок Пурпе – Пуровск»

НЛС автомобильной дороги производилось при помощи сканирующего тахеометра Leica Nova MS60, вежи и призмного отражателя Leica GPR111 (отклонение луча до 8", точность центрирования 2 мм, абсолютная константа призмы – 34 мм). Значение атмосферных поправок (PPM) корректировались параллельно смене погодных условий. Характеристики используемого прибора перечислены в табл. 2.

Технология НЛС, применяемая в данном исследовании, имеет свои особенности, обу-

словленные конструкцией прибора, в который встроен лазерный безотражательный дальномер с возможностью автоматического изменения направления луча лазера. Это означает, что устройство прибора позволяет проводить не только стандартные измерения углов и линий, но и, используя вспомогательные электромеханизмы – сервоприводы, точно управлять траекторией движения лазерного луча – его «визирной» оси, фиксируя ее положение под заданным углом и поддерживая постоянную скорость перемещения.

Таблица 2

Характеристики сканирующего тахеометра Leica Nova MS60

Угловые измерения	
Точность	1"
Технология	Абсолютная, непрерывная, диаметрально
Измерение расстояний	
Дальность на отражатель (GPR1, GPR1P)	от 1,5 м до > 10 000 м
Безотражательный режим / На любую поверхность	от 1,5 м до 2 000 м
Точность / Время измерения на отражатель	1,0 мм + 1,5 ppm / обычно 1,5 с
Точность / Время измерения на любую поверхность	2,0 мм + 2 ppm / обычно 1,5 с
Размер пятна лазера	На 50 м: 8 × 20 мм
Технология измерения	Преобразование аналоговых сигналов (WFD), коаксиальная, красный лазер видимого диапазона
Сканирование	
Максимальная дальность / Шум (1 сигма)	1000 тчк/с: 300 м / 1,0 мм на 50 м 250 тчк/с: 400 м / 0,8 мм на 50 м 62 тчк/с: 500 м / 0,6 мм на 50 м 1 тчк/с: 1 000 м / 0,6 мм на 50 м
Данные сканирования	Визуализация трехмерных облаков точек, выделенных цветом по интенсивности отраженного сигнала, в реальных и монохромных цветах

Суть работы по технологии НЛС заключается в том, что, если в поле зрения устройства установить требуемую область сканирования, то можно провести непрерывную съемку данного участка местности. В результате получают данные в виде «облака» точек с пространственными координатами X , Y , Z . Отличительной особенностью полученных точек является наличие данных о псевдоцвете объекта в цветовой системе RGB, полученных с цифровой камеры. Псевдоцвета точке получаются за счет плотности возвращаемого сигнала лазера.

При сканировании автомобильной дороги отсутствовала необходимость применения цифровой камеры для присвоения каждой точке естественного цвета, параметра интенсивности было достаточно для дешифрирования облака точек.

Характеристика района работ

Автомобильная дорога Сургут – Салехард на участке Пурпе – Пуровск (начало участка – км 494 + 650, конец участка – км 507 + 200) расположена в Пуровском районе Ямало-Не-

нецкого автономного округа, относящегося к районам Крайнего Севера.

Участок выполнения работ протяженностью около 13 км представляет собой существующую автомобильную дорогу между населенными пунктами Пуровск и Пурпе. Географически он расположен в 200 км от Северного полярного круга в северо-восточной части Западно-Сибирской равнины, в лесотундровой зоне, представленной здесь лиственничным и хвойным редколесьем, торфяниками и болотами с мохово-лишайниковым покровом.

В районе преобладает резко континентальный климат, зимы продолжительные и суровые: январь – со средней температурой $-24,5^{\circ}\text{C}$. Лето недолгое и теплое: июль – со средней температурой $+15,8^{\circ}\text{C}$. Диапазон изменения температуры в течение года – $40,3^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум -61°C , абсолютный максимум $+34^{\circ}\text{C}$.

В поселке Пурпе расположена одноименная железнодорожная станция «Пурпе» на линии «Тюмень – Сургут – Новый Уренгой». Ближайший аэропорт находится в 250 км в городе Ноябрьске. На рис. 2 изображен обзорный спутниковый снимок района выполнения работ.

Рис. 2. Обзорный спутниковый снимок участка автомобильной дороги Сургут – Салехард

Согласно закону № 257-ФЗ (ст. 3 п. 1) «Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации» (2007) установлено, что «автомобильная дорога – это объект транспортной инфраструктуры, предназначенный для движения транспортных средств, включающий в себя земельные участки в границах полосы отвода автомобильной дороги и расположенные на них или под ними конструктивные элементы (дорожное полотно, дорожное покрытие и подобные элементы), и дорожные сооружения, являющиеся ее технологической частью, защитные дорожные сооружения, искусственные дорожные сооружения, производственные объекты, элементы обустройства автомобильных дорог».

Автомобильная дорога предназначена для связи крупных населенных пунктов и группы самых северных в Западной Сибири нефтегазовых месторождений, перспективных по запасам углеводородного сырья, отличающегося уникальными свойствами.

Результаты

При производстве работ по НЛС на каждой станции установки прибора выполнялось ориентирование с помощью метода обратной засечки: в первую очередь осуществлялось ориентирование на исходные пункты, а затем на новые точки Т1, Т2, Т3.

На рис. 3 изображена схема сканирования и обратной засечки на примере одной установки прибора.

Рис. 3. Схема сканирования и обратной засечки на станции установки прибора

В связи с пропорционально растущей долей некачественных лазерных отражений расстояния от прибора до границы области сканирования на линейно-протяженном объекте, среднее расстояние между станциями составляло около 250 м. Объем выполненных полевых работ представлен в табл. 3.

Таблица 3

Сводная таблица объема полевых работ по НЛС

Наименование вида работ	Значение
Количество сканерных станций	58
Количество облаков точек	350
Количество точек в объединенном облаке	21 млн
Протяженность облака точек	13 км
Количество измеренных точек съемки для ориентирования	107
Среднее время, затраченное на одну станцию	1,5 ч

Измерения производились в обе стороны дороги на расстояние до 150 м. Для равномерной плотности облака точек сканирование выполнялось в трех диапазонах расстояния: 1,5–30, 30–90, 90–150 м.

Разрядность облака точек при этом составила 0,1 м в вертикальной и горизонтальной плоскостях, наклонное расстояние примерно соответствовало значению большей величины расстояния каждой области сканирования. Вид облака точек, полученный с одной станции установки прибора при данных настройках, показан на рис. 4.

Объединенное облако точек уравнивалось в программном комплексе Leica Infinity посредством автоматических алгоритмов, с выборкой контрольных пунктов для уравнивания. На рис. 5 изображен перечень контрольных пунктов, выбранных для уравнивания.

Рис. 4. Облако точек, полученное с одной станции установки прибора

Id точки	Y	Класс точки	Y	Фиксировать 2D	Фикс. 1D	Восток [м]	Y	Север [м]	Y	Ортометрическая высота [м]	Y
Bp9* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D		☒	☒	1 351 737,5500		4 450 224,7900		41,9300	
Bp9\1* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D		☒	☒	1 351 795,6300		4 450 210,5800		41,8400	
Bp10* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D		☒	☒	1 350 520,5200		4 448 051,2600		40,4600	
Bp11* (07.07.2020 12:51:08)	Y	Контрольная точка фикс. 3D		☒	☒	1 349 062,6600		4 445 429,6500		40,6200	
Bp12* (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D		☒	☒	1 349 375,6900		4 445 996,1700		42,2000	
Bp496 (07.07.2020 12:51:09)		Контрольная		☐	☐	1 349 375,6900		4 445 996,1700		42,1300	
Bp497 (07.07.2020 12:51:09)		Контрольная		☐	☐	1 350 184,3300		4 447 450,1300		38,9100	
Bp498 (07.07.2020 12:51:09)		Контрольная		☐	☐	1 350 752,3900		4 448 351,0500		41,2700	
Bp499 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная		☐	☐	1 351 172,0800		4 449 174,3200		37,3200	
Bp500 (07.07.2020 12:51:09)	Y	Контрольная точка фикс. 3D		☒	☒	1 351 707,0400		4 450 051,2100		41,3700	

Рис. 5. Перечень контрольных пунктов, участвующих в уравнивании облака точек

Обработка и анализ полученных результатов

После уравнивания облако точек, данные импортируются в программный комплекс 3DReshaper. На рис. 6 изображен общий вид полученного облака точек.

Рис. 6. Общий вид полученного облака точек перед обработкой

Из-за постоянного потока транспорта и ведущихся в момент съемки ремонтных работ в облако точек попадали различные объекты, которые ограничивали обзор прибора и создавали шум в облаке точек. Такие элементы необходимо было вырезать из облака точек или отфильтровать от шума.

После перечисленных действий по облаку точек строилась «грубая» поверхность, которая очищалась от пиков и сглаживалась. Фрагмент поверхности вместе с облаком точек после процедур обработки поверхности в 3D Reshaper представлен на рис. 7.

Для избегания избыточного количества треугольников поверхность перед экспортом в Civil3D необходимо было упростить. В Civil3D поверхность, полученная по данным НЛС, приводилась к привычному виду, корректировалось положение точек поверхности, поворачивались грани треугольников, проводился дополнительный контроль на предмет

наличия пиков или неверно построенных границ. При автоматическом построении поверхности точки иногда могли иметь отметку верха растительности или любого другого объекта, планово-высотное положение которого не относилось к поверхности дороги.

Рис. 7. Фрагмент поверхности и облака точек после обработки поверхности

На рис. 8 изображен фрагмент поверхности после обработки в Civil3D.

Рис. 8. Фрагмент поверхности после обработки в Civil3D

Обсуждение

Перед началом работ по сканированию автодороги необходимо было проверять взаимное расположение исходных пунктов, поскольку в камеральной обработке облако точек при корректировке параметров станций не способно к корректному переориентированию.

В процессе выполнения полевых работ было определено, что для построения цифровой модели дороги разрядность облака точек полезно увеличить и тем самым сократить среднее время наблюдений на станции примерно на 30 %.

При параллельном с НЛС ведении ремонтных работ и постоянным потоком автомобилей в облаке точек могут появляться теневые зоны, тогда точки поверхности определяются не измерением, а интерполяцией, вследствие чего накапливаются ошибки. Растительность на обочине мешает правильному построению поверхности при применении автоматических алгоритмов, по облаку точек сложнее определять точки, относящиеся к обочине. Для решения этих вопросов при полевых работах нужно дополнительно выполнять наблюдения точки на обочине в режиме съемки на отражатель.

В программном модуле Cloudworks для Civil3D возможна векторизация облака точек, полноты и точности которой достаточно для построения плана автодороги в масштабе 1 : 500. По результатам выполненного НЛС была создана трехмерная поверхность автомобильной дороги, экспортированная в DWG формат.

Результаты проведенного исследования показывают, что необходимо учитывать внешние факторы, которые влияют на точность съемочных работ. Также важно при камеральной обработке учитывать возможности корректной векторизации объектов. Приборы, используемые при съемке, обладают своими конструктивными особенностями, имеют свои собственные технологические процедуры, алгоритмы измерения и обработки данных, точность. Кроме того, чтобы оценить влияние конкретного фактора на точность, необходимо обеспечить условие стабильности возможных источников ошибок в экспериментальной среде. Поэтому важно как предварительное исследование точности используемой технологии, так и оценка точности полученных результатов, выводы по которым возможно использовать в процессе принятия окончательных решений.

Обращаясь к вопросу увеличения или сокращения плотности съемочных точек, необходимо учитывать экономические факторы [21, 22], влияющие на стоимость процесса сбора данных. Поэтому целесообразно рассматривать интегрированные методы проведения съемочных работ, представленные совокупностью различных методов и способов,

в том числе с получением дополнительных информативных данных, обеспечиваемых, в частности, методами дистанционного зондирования и последующим дешифрированием результатов.

Заключение

По результатам представленного исследования сделаны следующие выводы:

- подчеркнута актуальность решения современных геопространственных задач, обусловленных как традиционными проблемами отраслевого развития народнохозяйственного комплекса страны, так и проблемами глобального характера, требующими системного решения на каждом исторически значимом повороте траектории развития России, определяемом в современный период необходимостью достижения ее программных национальных целей и решений задач пространственного развития;

- охарактеризованы технологические особенности инженерных изысканий при проектировании, строительстве и эксплуатации линейных сооружений, в частности автомобильных дорог в районах Крайнего Севера;

- разработан специальный рабочий процесс производства инженерных изысканий и обработки полученных данных с применением технологии наземного лазерного сканирования (НЛС) для формирования цифровой модели автомобильной дороги в частности

и цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры РФ в целом;

- обоснована технология применения наземного лазерного сканирования – НЛС для формирования цифровой модели объекта капитального строительства на примере автомобильной дороги в частности и цифрового информационного пространства транспортной инфраструктуры РФ в целом;

- рассмотреть вариант реализации технологии наземного лазерного сканирования – НЛС.

Технология наземного лазерного сканирования дает возможность быстрой высокоточной съемки с получением массивов данных трехмерной пространственной модели [23]. Благодаря функционалу прибора наземного лазерного сканирования, а именно с помощью лазерного поискового, технология съемки позволяет получать точные, плотные 3D «облака» точек поверхностей объектов.

Поэтому применение сканирующего тахеометра Leica Nova MS60 в проектировании, обеспечении строительства и дальнейшей эксплуатации различных объектов дает значительные преимущества, особенно значимые при регистрации недвижимости, их технической инвентаризации и проведении мониторинга. Поэтому такая технология представляет большой интерес, востребована и уже используется при создании достоверных баз данных об объектах и формировании 3D кадастров [3, 24–25].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопространственной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 19–29.
2. Seidel D., Fleck S., Leuschner C. Analyzing forest canopies with ground-based laser scanning: A comparison with hemispherical photography [Electronic resource] // Agricultural and Forest Meteorology. – 2012. – Vol. 154–155. – P. 1–8. – Mode of access: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.006>.
3. Хашпакианц Н. О., Грибкова И. С. Применение лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2017. – № 9. – С. 27–35.
4. Хахулина Н. Б., Черкасов А. А. Лазерное сканирование, как метод сбора пространственной информации для кадастра недвижимости // Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях : материалы международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ (Воронеж, 20 апреля 2018 г.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 260–264.
5. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 121–139.

6. Господинов С. Г., Шайтура С. В. Лазерное сканирование в строительстве и архитектуре // Славянский форум. – 2016. – № 4 (14). – С. 63–71.
7. Гугуева О. А. Использование технологии лазерного сканирования при проектировании линейных сооружений // Новая наука: Проблемы и перспективы. – 2015. – № 6–2. – С. 156–158.
8. Алексеенко Н. Н. Применение технологии лазерного сканирования в различных отраслях и на различных этапах жизненного цикла объектов // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С. 62–73.
9. Zheng D., Shen Y., Liu C. 3D laser scanner and its effect factor analysis of surveying error // Engineering of Surveying and Mapping. – 2005. – Vol. 14. – P. 32–34.
10. Кошан Е. К. Возможности, преимущества и недостатки наземного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 1. – С. 27–30.
11. Huising, E. J.; Pereira L. M. G. Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1998. – Vol. 53. – P. 245–261.
12. Galande, S. G., Agrawal G. H., Anap M. S. A parameter monitoring and control of grain storage by embedded system // International Journal of Informative & Futuristic Research. – 2015. – Vol. 2, Issue 11. – P. 4172–4179.
13. Fisher M., Bolles R. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography // Communications of the ACM. – 1981. – Vol. 24. – P. 381–395.
14. Tao B., Qiu W., Yao Y. The Base of Errors Theory and Surveying Adjustment. – Wuhan, China : Wuhan University Press, 2009. – P. 106–111.
15. Huang T., Zhang D., Li G., Jiang M. Registration method for terrestrial LiDAR point clouds using geometric features // Optical Engineering. – 2012. – Vol. 51. – P. 21111–21114.
16. Киямов И. К., Мингазов Р. Х., Музафаров А. Ф., Ибрагимов Р. А., Сибгатуллин А. А. Технология лазерного сканирования в 3D-проектировании // Экспозиция Нефть Газ. – 2013. – № 7 (32). – С. 41–43.
17. Панжин А. А. Пространственно-временной геодинамический мониторинг на объектах недропользования // Горный журнал. – 2012. – № 1. – С. 39–43.
18. Солодунов А. А., Пшидаток С. К., Сарксян Л. Д., Лукьянова М. С. Применение лазерного сканирования для мониторинга инженерных сооружений // Colloquium-journal. – 2019. – № 26-2 (50). – С. 78–80.
19. Сарксян Л. Д., Лукьянова М. С., Солодунов А. А., Пшидаток С. К. Виды лазерного сканирования и их особенности // Colloquium-journal. – 2019. – № 27-1 (51). – С. 83–86.
20. Ковач Н. С., Макаров А. А., Мошев А. А., Хлебутин С. Б. Методы лазерного сканирования: преимущества для крупных инфраструктурных проектов (на примере работ по модернизации Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей) // Инженерные изыскания. – 2015. – № 9. – С. 22–25.
21. Норин В. А., Шахмеева Е. А. Экономическая эффективность применения трехмерного сканирования в архитектуре и строительстве // Молодой ученый. – 2018. – № 15 (201). – С. 121–123.
22. Родненко И. Н., Каницкая Л. В. Обоснование экономической эффективности метода воздушного лазерного сканирования линейных и площадных объектов при строительстве сложных технологических объектов нефтегазового комплекса // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 12-1. – С. 215–219.
23. Zheng L., Yu M., Song M., Stefanidis A., Ji Z., Yang C. Registration of Long-Strip Terrestrial Laser Scanning Point Clouds Using RANSAC and Closed Constraint Adjustment // Remote Sensing. – 2016. – Vol. 8 (4). – P. 278.
24. Николаев Н. А., Чернов А. В. Трехмерный кадастр недвижимости как новая ступень развития кадастровых систем // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью.» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 3. № 2. – С. 214–219.
25. Хашпакянц Н. О., Грибкова И. С. Применение лазерного сканирования в землеустройстве и кадастрах // Научные труды Кубанского государственного технологического университета. – 2017. – № 9. – С. 27–35.

Получено 15.04.2021

© В. А. Бударова, Н. Г. Мартынова, А. В. Шереметинский, 2021

CONTENT AND PRACTICE OF DIGITAL INFORMATION SPACE CREATION FOR AUTOTRANSPORT INFRASTRUCTURE

Valentina A. Budarova

Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Professor, Department of Geodesy and Cadastre Activities, phone: (3452)28-36-60, e-mail: budarova@bk.ru

Natalia G. Martynova

Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Geodesy and Cadastre Activities, phone: (3452)28-36-60, e-mail: natali.cherdanceva@mail.ru

Artem V. Sheremetinskiy

Industrial University of Tyumen, 38, Volodarskogo St., Tyumen, 625001, Russia, Ph. D., Student, Department of Geodesy and Cadastre Activities, phone: (3452)28-39-15, e-mail: artemshare93@gmail.com

The purpose of the work is the relevant problem of formation of digital information space for transport infrastructure. The object of the research is the part of the automobile road, connecting the cities of KhMAD and YNAO: Surgut and Salekhard situated in the Arctic zone of Russia. On the given part Purpe-Purovsk km 494+650 – km 507+200 in the process of preliminary works there was performed a significant project-related volume of prospecting and special measuring works (by means of ground-based laser scanner Leica Nova MS60) for creation of digital model for this part of the road together with adjacent territory and objects on it. As a result of performed works there has been developed the method of production (of special working process) of engineering explorations and data processing obtained with the use of ground-based laser technology (GLT), which provides the formation of digital information space of the federal road, information requirements of its exploitation, real estate maintenance and its possible reconstruction and future repairing. The technology can be applied in the development of the transport cores of the Russian Federation. Practical results of GLT application demonstrate its reliability and expediency in the specified conditions when carrying out such works.

Keywords: spatial development strategy, digital transport infrastructure, geospatial activities, geoinformation support, linear construction, road, ground laser scanning

REFERENCES

1. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2020). Prospects for the Development of Geodesic and Cartographic Production and the New Paradigm of Geospatial Activity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 19–29 [in Russian].
2. Seidel D., Fleck S., & Leuschner C. (2012). Analyzing forest canopies with ground-based laser scanning: A comparison with hemispherical photography // *Agricultural and Forest Meteorology*, 154–155, 1–8. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.10.006>.
3. Khashpakyants, N. O., & Gribkova, I. S. (2017). Application of laser scanning in land management and cadastres. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Scientific Works of Kuban State Technological University]*, 9, 27–35 [in Russian].
4. Khakhulina N. B., & Cherkasov A. A. (2018). Laser scanning as a method of collecting spatial information for the real estate cadastre. In *Sbornik materialov mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii fakul'teta zemleustrojstva i kadaстров VGau: Kadaстровoe i ekologo-landshaftnoe obespechenie zemleustrojstva v sovremennyh usloviyah [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of the Faculty of Land Management and Cadastres of the VSAU Cadastral and Ecological and Landscape Support of Land Management in Modern Conditions]* (pp. 260–264). Voronezh: Voronezh GAU [in Russian].
5. Altyntsev, M. A., & Karpik, P. A. (2020). Method of creating digital three-dimensional models of infrastructure objects of oil and gas production complexes using ground-based laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 121–139 [in Russian].
6. Gospodinov, S. G., & Shajtura, S. V. (2016). Laser scanning in construction and architecture. *Slavyanskiy forum [Slavic Forum]*, 4(14), 63–71 [in Russian].
7. Guguyeva, O. A. (2015). Use of technology of laser scanning at designing of line structures. *Novaya nauka: Problemy i perspektivy [New Science: Problems and Prospects]*, No. 6-2, 156–158 [in Russian].

8. Alekseenko, N. N. (2016). Application of laser scanning technology in various industries and at various stages of the life cycle of objects. *Vestnik MGSU*, 2, 62–73 [in Russian].
9. Zheng, D., Shen, Y., & Liu, C. (2005). 3D laser scanner and its effect factor analysis of surveying error. *Engineering of Surveying and Mapping*, 14, 32–34.
10. Koshan, E. K. (2017). Opportunities, advantages and disadvantages of ground-based laser scanning. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2017: T. 1. Magisterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: Vol. 1. Master's Scientific Session "First Steps in Science"]* (pp. 27–30). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
11. Huising, E. J., & Pereira, L. M. G. (1998). Errors and accuracy estimates of laser data acquired by various laser scanning systems for topographic applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53, 245–261.
12. Galande, S. G., Agrawal, G. H., & Anap, M. S. (2015). A parameter monitoring and control of grain storage by embedded system. *International Journal of Informative & Futuristic Research*, 2(11), 4172–4179 [in Russian].
13. Fisher, M., & Bolles, R. (1981). Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography. *Communications of the ACM*, 24, 381–395.
14. Tao, B., Qiu, W., & Yao, Y. (2009). *The Base of Errors Theory and Surveying Adjustment* (pp. 106–111). Wuhan, China: Wuhan University Press.
15. Huang, T., Zhang, D., Li, G., & Jiang, M. (2012). Registration method for terrestrial LiDAR point clouds using geometric features. *Optical Engineering*, 51, 21111–21114.
16. Kiyamov, I. K., Mingazov, R. Kh., Muzafarov, A. F., Ibragimov, R. A., & Sibgatullin, A. A. (2013). Laser scanning technology in 3D design. *Ekspozitsiya Neft' Gaz [Exposition Oil Gas]*, 7(32), 41–43 [in Russian].
17. Panzhin, A. A. (2012). Space-time geodynamic monitoring of objects of subsoil use. *Gornyy zhurnal [Mining Journal]*, 1, 39–43 [in Russian].
18. Solodunov A. A., Pshidatok S. K., Sarksyian L. D., & Lukyanova M. S. (2019). Application of laser scanning for monitoring engineering structures. *Colloquium-journal*, 26-2(50), 78–80 [in Russian].
19. Sarksyian, L. D., Lukyanova, M. S., Solodunov, A. A., & Pshidatok, S. K. (2019). Types of laser scanning and their features. *Colloquium-journal*, 27-1(51), 83–86 [in Russian].
20. Kovach, N. S., Makarov, A. A., Moshev, A. A., & Khlebutin, S. B. (2015). Laser scanning methods: advantages for large infrastructure projects (on the example of modernization of the Baikal-Amur and Trans-Siberian railways). *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Surveying]*, 9, 22–25 [in Russian].
21. Norin, V. A., & Shakhmееva E. A. (2018). Economic efficiency of three-dimensional scanning in architecture and construction. *Molodoy uchenyy [Young Scientist]*, 15(201), 121–123 [in Russian].
22. Rodnenko, I. N., & Kanitskaya, L. V. (2016). Justification of the economic efficiency of the method of air laser scanning of linear and area objects in the construction of complex technological objects of the oil and gas complex. *Fundamental'nye issledovaniya [Fundamental Research]*, No. 12-1, 215–219 [in Russian].
23. Zheng, L., Yu, M., Song, M., Stefanidis, A., Ji, Z., & Yang, C. (2016). Registration of Long-Strip Terrestrial Laser Scanning Point Clouds Using RANSAC and Closed Constraint Adjustment. *Remote Sensing*, 8(4), 278.
24. Nikolaev, N. A., & Chernov, A. V. (2014). Three-Dimensional real estate cadastre as a new stage of development of cadastral systems. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3, no. 2. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 3, No. 2. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management]* (pp. 214–219). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
25. Khashpakyants, N. O., & Gribkova, I. S. (2017). Application of laser scanning in land management and cadastres. *Nauchnye trudy Kubanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta [Scientific Works of Kuban State Technological University]*, 9, 27–35 [in Russian].

Received 15.04.2021

© V. A. Budarova, N. G. Martynova, A. V. Sheremetinsky, 2021

УДК 528.94:004+ 632.92(571.1/.5)
DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-44-54

ВОЗМОЖНОСТИ ГИС ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЦЕССОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УССУРИЙСКОГО ПОЛИГРАФА В ПИХТОВЫХ ЛЕСАХ СИБИРИ

Иван Андреевич Керчев

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга лесных экосистем, тел. (3822)49-18-55, e-mail: ivankerchev@gmail.com

Елена Сергеевна Волкова

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, кандидат географических наук, старший научный сотрудник лаборатории самоорганизации геосистем, тел. (3822)49-22-23, e-mail: elevolko@yandex.ru

Мария Алексеевна Мельник

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055, Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории самоорганизации геосистем, тел. (3822)49-22-23, e-mail: melnik-m-a@yandex.ru

В последние десятилетия серьезный урон пихтовым лесам Сибири нанесен инвазионным короедом дальневосточного происхождения – уссурийским полиграфом *Polygraphus proximus* Blandf. Ущерб от воздействия вредителя выражается в денежном эквиваленте и в утрате многих экологических функций лесных экосистем. Технологии организации наземного мониторинга за распространением вредителя успешно апробируются сибирскими учеными, позволяют с привлечением ГИС-технологий дать пространственно-временной анализ масштабов происходящих негативных процессов. Цель данной статьи – показать возможности ГИС-технологий в сочетании с дистанционным зондированием в изучении процессов инвазии уссурийского полиграфа на примере лесных территорий Томской области. Показано, что геоинформационный подход к исследованию состояния пихтовых лесов в очагах массового размножения вредителя позволяет создать серию тематических карт, отражающих крупномасштабные пространственно-временные изменения насаждений, и дать краткосрочный прогноз развития очагов. Высокая эффективность данного подхода показана при локальном анализе развития очага и для оценки динамики массового размножения вредителя на уровне лесничеств. На основе встроенной аналитической информации и картографического отображения становится возможным прогноз возникновения новых очагов, мониторинг и контроль их развития.

Ключевые слова: уссурийский полиграф, пихтовые леса Сибири, ГИС-технологии, картографирование, очаг размножения, мониторинг лесов, ДЗЗ, вредители лесов, прогноз

Введение

Вспышки массового размножения насекомых-вредителей наносят непоправимый вред лесному хозяйству во многих регионах мира. Так, например, в США насекомые-дендрофаги причиняют ущерб, исчисляемый в 5 млрд долларов в год [1]. В Англии ежегодные потери лесной продукции от вредителей оцениваются в размере около 2 млн долларов США [2]. В планетарном масштабе за период с 2003 по 2012 г. от насекомых-дендрофагов пострадали насаждения

на площади более 85 млн га, причем значительная часть повреждений приходилась на бореальные леса [3, 4].

В лесах Западной Сибири периодические крупные вспышки массового размножения насекомых-вредителей происходят довольно часто и носят характер эпифитотий. Для этого региона наиболее известным и опасным вредителем является сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.), очаги которого ежегодно охватывают площадь от 4,2 тыс. га до 6,9 млн га [5]. В последнее десятилетие по наносимому ущербу лесополь-

зованию в один ряд с сибирским шелкопрядом можно поставить инвазионного вредителя дальневосточного происхождения – уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf., который уже вызвал широкомаштабное усыхание пихтарников в семи регионах Сибирского федерального округа Российской Федерации: Томской, Кемеровской, Новосибирской областях, Алтайском и Красноярском краях, республиках Алтай и Хакасия [6]. Локальные очаги чужеродного короеда были также зафиксированы в Республике Удмуртия и Иркутской области [7, 8]. Ежегодно в темнохвойных лесах Сибири от этого вредителя гибнут большие площади пихтовых насаждений, по некоторым данным средняя скорость отмирания деревьев пихты в очагах короеда составляет около 7 % в год [9].

В рамках изучения процессов инвазии уссурийского полиграфа выявление степени деградации пихтарников, оценка возможных рисков, ущербов и последствий для сферы лесопользования [10], а также прогноз дальнейшего распространения вредителя [8, 9, 11] реализуются с помощью организации системы комплексного мониторинга [6, 11]. Пространственно-временной анализ масштабов происходящих негативных процессов, связанных с воздействиями вредителей леса, наиболее результативно осуществляется с привлечением современных географических методов – ГИС-технологий [12, 13].

Преимущество их использования состоит в конструктивных возможностях хранения, обработки и отображения большого объема информации, включающей в себя цифровые и картографические характеристики, полученные в ходе сбора данных наземного и дистанционного наблюдений, как по усыханию пихтовых насаждений, так и по активности самого вредителя. Сформированная база данных, встроенный аппарат пространственного моделирования и создаваемые на их основе картографические продукты способствуют оперативному принятию управленческих решений по сокращению рисков лесопользования в местности, где уссурийский полиграф распространяется наиболее стремительными темпами.

Объект, материалы и методы исследований

Пихтовые леса занимают обширные пространства Западной Сибири, выполняя многочисленные экосистемные и эколого-экономические функции. Воздействие уссурийского полиграфа на пихтовые насаждения не только приводит к значительным материальным потерям для многих отраслей лесопользования, но и вызывает трансформации специфических средообразующих условий в таежных экосистемах – изменение гидрологического и светового режима, что в свою очередь влечет разнообразные негативные экологические эффекты, такие, например, как сокращение естественного биологического разнообразия и снижение продуктивности лесов [14].

Технология мониторинга состояния пихтовых насаждений в теоретическом плане детально разработана учеными ИМКЭС СО РАН и практически апробирована на территории Томской области – одном из наиболее изученных регионов инвазии уссурийского полиграфа. Сеть наземного мониторинга включает 46 постоянных пробных площадей в особо охраняемых территориях в десяти из 16 районов области, где систематически проводится оценка текущего состояния и степени трансформации основных компонентов пихтовых экосистем [11]. При этом в эксплуатационных пихтовых лесах для установления границ инвазии ежегодно осуществляются обследования на временных пробных площадях.

В связи с труднодоступностью большей части территории Сибири, наземный метод мониторинга не всегда приемлем, а, следовательно, остается много «белых пятен» на карте поврежденных пихтовых насаждений. Использование качественных и детальных космических снимков и возможность авиационного надзора в большинстве случаев сложно реализуемые способы мониторинга. Альтернативным решением проблемы в этом случае служит метод дистанционного зондирования, предполагающий использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Данный подход при более низких финансовых вложениях позволяет получить детализированную и актуальную информацию по со-

стоянию пихтового древостоя в границах, соответствующих техническим особенностям БПЛА. Юридический статус осуществления лесопатологических обследований дистанционным методом с использованием беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) определен в Приказе Минприроды России № 480 от 16.09.2016 [15]. Для дистанционного мониторинга состояния пихтовых насаждений на исследуемых пробных площадях Томской области был задействован БПЛА Supercam S350f (ООО «Беспилотные технологии», г. Ижевск), оснащенный цифровой камерой SONY A6000 (24 Мпикс; фокусное расстояние объектива $f = 20$ мм; тип сенсора: КМОП; размер матрицы: $23,5 \times 15,6$ мм; разрешение $6\,000 \times 4\,000$ пкс). Съемки районов изучения инвазии уссурийского полиграфа осуществлялись с высоты 500 м и включали радиус охвата 250 м.

Привязка снимков с БПЛА к системе глобального позиционирования (GPS) позволила их встроить и обработать в среде ГИС. В качестве прикладного программного обеспечения был выбран программный пакет ArcGis 10.3. Пространственно-временная оценка последствий воздействия уссурийского полиграфа на аборигенные пихтовые насаждения выполнена в рамках созданного в среде ArcGis тематического ГИС-проекта «Исследование процессов распространения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximi* Blandf) в пихтовых лесах Томской области».

Оценка категорий состояния пихты при повреждении уссурийским полиграфом проведена по ранее описанной методике анализа ортофотоснимков [11] для 47 990 деревьев. Локальная оценка насаждения по степени риска дальнейшего заселения вредителя на неповрежденные пихты была проведена с использованием инструмента Интерполяции на основе метода обратно взвешенных расстояний (ОВР). Согласно этому методу, влияние на картируемую переменную, т. е. на здоровые пихтовые деревья, уменьшается по мере удаления от местоположения усохших деревьев и от воздействия вредителя. Использование метода ОВР достигает лучших результатов в том случае, если сеть опорных точек достаточно плотная, что хорошо прослежива-

ется в нашем случае, поскольку в насаждении доля пихты составляет 56,2 %. Величина параметра Power, позволяющего контролировать влияние известных точек на интерполируемые значения, было выбрано равное трем.

Банк геоданных – информационная основа ГИС-проекта – формировался, исходя из поставленных задач, и объединил обширный картографический архив, каталог тематических баз данных, цифровую модель рельефа и материалы полихронной аэрофотосъемки сверхвысокого разрешения.

Картографический архив проекта представлен совокупностью векторных карт (слоев в формате shp), – формализованных в цифровом виде реальных объектов картографирования и объединенных на основании общих свойств или функциональных качеств. В состав архива вошли: топографическая основа, лесохозяйственное районирование, административно-территориальное деление, местоположение метеостанций и пробных площадок, дорожно-транспортная сеть и т. д. Все цифровые слои приведены к единой системе координат WGS 84 и трансформированы в проекцию UTM.

Фактологические данные проекта представлены в виде файлов формата dBase как совокупность отдельных тематических баз данных и атрибутивных таблиц цифровых слоев, включающих основные таксационные характеристики насаждений (тип леса, породный и возрастной состав, запас, средний и текущий прирост, класс бонитета и др.), долю усыхания насаждений, средневзвешенную категорию состояния деревьев, среднюю скорость отмирания деревьев пихты в очагах уссурийского полиграфа. Дополнительно в базу данных включены комплексные метеопоказатели для анализа природно-климатических условий, способствующих распространению вредителя [16]. Информация об объектах мониторинга хранится в базе данных в границах существующего административного и лесохозяйственного деления (область, район, лесничество, участковое лесничество, квартал, выдел). За первичные учетные единицы принимаются таксационные выделы, для которых представлена наиболее детальная информация по всем вышеперечисленным показателям.

Для наполнения и систематического обновления баз данных использовались ежегодные отчеты Департамента лесного хозяйства Томской области, Филиала ФБУ «Российский центр защиты леса», материалы лесохозяйственного регламента, результаты полевых исследований Лаборатории мониторинга лесных экосистем ИМКЭС СО РАН, данные Гидрометцентра РФ, Федеральной службы государственной статистики.

Результаты и обсуждение

Выделяются несколько категорий базовых задач по исследованию процессов распространения уссурийского полиграфа в пихтовых лесах Сибири, решению которых в большей степени способствуют ГИС. С целью исследования состояния лесной растительности [17, 18], в том числе и при изучении распространения вредителей [19, 20], в настоящее время широко применяются методы оценки данных космической и аэрофотосъемки. Опыт использования локального геоинформационного анализа показывает его эффективность при решении задач комплексной детальной характеристики очагов

вредителя. Иллюстрацией может служить обследование состояния пихтарников на модельных пробных площадках с помощью аэрофотосъемки. Полученные ортофотоснимки в RGB спектре визуально интерпретировались по внешним признакам кроны для установления формирующегося очага уссурийского полиграфа. На рис. 1 представлены результаты пространственного моделирования для пробной площадки в Прикульском участковом лесничестве Корниловского лесничества близ с. Итатка Томской области.

Результаты интерполяции достаточно точно отражают не только текущую степень повреждения пихтового древостоя, но и годовой прогноз заселения вредителя, что было подтверждено натурными наблюдениями следующего сезона (рис. 1, а). Сравнительный анализ наземных исследований и материалов дешифрирования также показали вполне корректные совпадения: по данным, полученным с помощью аэрофотосъемки, общий отпад пихты по числу деревьев в древостое составил 93,7 %; по сравнению с данными наземного обследования этот показатель равен 93,1 % – разница с дистанционной оценкой не превысила 1 %.

Рис. 1. Поврежденность пихтового леса в очагах размножения уссурийского полиграфа на пробной площадке (ПП) в Прикульском участковом лесничестве на 12.08.2017:

а) степень поврежденности пихтовых насаждений: 1 – сильно поврежденные, 2 – незначительное повреждение, 3 – не поврежденные; 4 – границы района исследования; 5 – железная дорога; б) зонирование плотности повреждений пихты в древостое от воздействия уссурийского полиграфа: значение плотности: 1 – высокая, 2 – средняя, 3 – сильная; состояние пихты: 4 – погибшее дерево, 5 – ослабленное дерево, 6 – здоровое дерево; 7 – границы района исследования; 8 – железная дорога

Дальнейшее внедрение в процесс анализа ортофотоснимков алгоритмов машинного зрения позволяет кратно увеличить скорость обработки данных и получения количественных и качественных характеристик состояния древостоя. Первые результаты, полученные уже на данный момент в этом направлении, показывают высокий потенциал для дальнейшего развития и внедрения технологии в практику [21], которая также может быть интегрирована с описываемым ГИС-проектом.

Отображение густоты поврежденных короедом деревьев было проведено с использованием метода плотности ядер (рис. 1, б). Используя функцию ядра для пригонки плавно

сужающейся поверхности к каждой точке, метод плотности ядер рассчитывает количество точечных объектов, в нашем случае заселенных деревьев, на единицу площади. Данный инструмент позволяет оценить лесопатологическое состояние насаждения и прогнозировать зарождение крупного очага вредителя.

Еще одной задачей, успешно решаемой с помощью ГИС, как на локальном, так и на региональном уровнях является процедура оценки ущерба от воздействия вредителей. На рис. 2 и 3 представлено картографическое отображение оценки прямого ущерба при обследовании постоянных пробных площадок.

Рис. 2. Оценка прямого ущерба от воздействия уссурийского полиграфа для модельных участков Томского района Томской области:

Величина ущерба от потери: 1 – древесины; 2 – пихтовой лапы; 3 – живицы; 4 – новогодних пихт; 5 – номера пробных площадок; 6 – железная дорога; 7 – границы участкового лесничества; 8 – граница области

Рис. 3. Санитарно-оздоровительные мероприятия, проведенные в очагах размножения уссурийского полиграфа – в Межениновском участковом лесничестве в 2012–2016 гг.:

1 – объем санитарных рубок; средневзвешенная категория состояния древостоя пихты; 2 – ослабленные и сильно ослабленные насаждения; 3 – отмирающие насаждения; 4 – погибшие насаждения; 5 – насаждения с преобладанием пихты; 6 – границы выделов; 7 – полоса отвода железной дороги; 8 – год обследования

Данные для расчетов получены в результате полевых наблюдений за состоянием древостоев пихты сибирской на ППП, заложенных в лесах Томского лесничества Томской области. В атрибутивную таблицу «Постоянные пробные площадки» занесены следующие значения показателей: доля пихты, класс бонитета, запас древесины, средний диаметр, средняя высота, средний возраст, доля усохших деревьев, разряд такс.

Основные расчеты были сделаны как по отдельным видам ущербов, так и по суммарному ущербу в стоимостном выражении на основе авторских методик [10]. Применение опций графического отображения позволяет наглядно представлять на карте эти виды, причем в разных масштабах. Так, например, на рис. 2 показаны структура и значения прямого ущерба на единицу площади посредством круговых диаграмм. Они демонстрируют, что самые высокие значения фактического прямого ущерба от вредителя – от 17 до 24 тыс. руб./га – наблюдаются в спелых насаждениях, где повреждено более 70 % пихты и усыхание носит массовый характер.

Более крупномасштабная визуализация экспансии уссурийского полиграфа и прилагаемых мер по сдерживанию ее темпов показана на рис. 3. Высказывались вполне обоснованные предположения, что он был завезен в Сибирь по железной дороге с Дальнего Востока [22, 23], поэтому наличие железнодорожных путей, а также мест погрузки или складирования древесины выступает опасным рискоформирующим фактором. В районе Межениновского участкового лесничества, по территории которого проходит крупная железнодорожная ветка, пихтарники занимают обширную площадь, и очаги полиграфа впервые здесь были зафиксированы Центром Защиты леса в 2012 г. Постепенно вредитель распространялся по территории, в некоторых местах полностью уничтожая пихтовые насаждения, и довольно значительные площади пихтовых насаждений за последние пять лет были отведены в санитарную рубку. Подобную картину можно увидеть на рис. 3, где вдоль железной дороги Томск – Итатка зафиксированы очаги усыхания пихты, вызванные уссурийским полиграфом. Картографиче-

ский фрейм усыхания пихтарников Межениновского участкового лесничества включает тематические слои границ участковых лесничеств, кварталов и выделов, населенных пунктов и транспортной сети. Атрибутивная таблица выделов дополнена информацией о периодах обследования лесных насаждений по породному составу, ликвидному запасу и категории защитности. Средневзвешенный коэффициент состояния древостоев, отражающий интегральное значение их текущего состояния, рассчитывался по стандартной методике с помощью опции вычисления значений атрибутов.

Пространственный анализ при изучении инвазии лесных вредителей предполагает использование важного географического метода – районирования, т. е. выделение территориальных неоднородностей исследуемого процесса. Можно выделить несколько основных признаков, лежащих в основе такого районирования для уссурийского полиграфа: по уровню вредоносности, по основным факторам опасности возможного распространения вредителя, лесопатологическое и лесозащитное районирование. Так, например, анализ факторов, способствующих экспансии уссурийского полиграфа (факторов опасности), проводился на уровне области с использованием масштаба 1 : 5 000 000. При выделении районов в качестве критериев опасности брались во внимание восемь основных факторов, способствующих расселению вредителя. В атрибутивную таблицу тематического слоя «Метеоданные» были занесены значения этих факторов по местоположению метеостанций (точечный класс пространственных объектов). Интерполяция по полю комплексного значения факторов опасности показала, что наибольшая степень опасности от экспансии уссурийского полиграфа в пихтовых лесах наблюдается в южных и юго-восточных частях Томской области. Основная же волна возможного распространения вредителя была направлена с юго-запада и юго-востока на северо-запад [16], что подтвердилось последующими исследованиями [11].

Таким образом, одно из важных свойств ГИС заключается в возможности как детализации, так и обобщения (генерализации) информации, что позволяет рассматривать явле-

ния и процессы в динамике и связывать разномасштабные данные между собой. При этом пошаговая детализация позволяет выделить необходимые подробности при укрупнении масштаба. Генерализация обеспечивает обобщение информации при уменьшении масштаба [24]. Кроме того, особенности и структура сформированной базы данных в рамках созданного ГИС-проекта помогают добавлять и изменять количественные показатели в оперативном режиме с минимальными затратами. Выборка и сопоставление данных из разных атрибутивных таблиц позволяют проводить комплексный анализ, что, в свою очередь, дает возможность совмещать разнородные показатели и строить интегральные тематические карты.

Заключение

Изучение зарубежного опыта исследования подобных бедствий приводит к заключению, что инвазии и экспансии вредителей не имеют административных границ, а наибольшей эффективностью обладают меры, направленные на предупреждение проникновения чужеродных видов [25, 26]. Для минимизации ущерба от гибели пихтарников необходимо изначально планировать и финансировать профилактические мероприятия на региональном уровне, но при этом учитывать локальные исходные условия и особенности путей распространения уссурийского полиграфа.

Комплексный анализ процесса инвазии на разных территориальных уровнях иерархии на основе единого информационного массива достаточно оперативно и достоверно можно сделать средствами ГИС. Геоинформационный подход к исследованию состояния пихтовых лесов в очагах массового размножения на локальном уровне в границах участковых лесничеств, кварталов, выделов и пробных площадей позволяет учитывать лесорастительные условия и характеристики насаждения, а также получать серию тематических карт, отражающих крупномасштабные пространственно-временные изменения насаждений и составлять краткосрочный прогноз развития очага.

Региональный анализ не только дает информацию о масштабах повреждения пихтовых лесов, но и позволяет проводить комплексное исследование различных факторов, влияющих на дальнейшее распространение вредителя по обширной территории Сибири, проводить лесопатологическое районирование на уровне субъектов РФ и на уровне крупных экономических районов. Кроме того, на основе полученной аналитической информации и картографического отображения становится возможным прогноз и предупреждение рисков возникновения новых очагов, мониторинг и контроль их развития, прогнозирование и составление рекомендаций по созданию адаптационных мер защиты пихтовых лесов.

Авторы выражают благодарность А. В. Скворцову и Д. С. Сарычеву (ООО «ИНДОРСОФТ») за проведение дистанционного зондирования с использованием БПЛА и предоставление исходных снимков. Работа выполнена в рамках НИОКТР (№ 121031300226-5).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Aukema J. E., Leung B., Kovacs K., Chivers C., Britton K. O., Englin J., Frankel S. J., Haight R. G., Holmes T. P., Liebhold A. M., McCullough D. G., Von Holle B. Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States // PLoS ONE. – 2011. – Vol. 6, Issue. 9. – P. 1–7.
2. Non-native invasive species and plant pathogens in British Isles / Pimental D. (ed.). // Biological Invasions. Economic and Environmental Costs of Alien Plants, Animal and Microbe species. – Boca Raton, USA : CRC Press, 2002. – P. 151–155.
3. Pimental D., Zuniga R., Morrison D. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States // Ecological Economics. – 2005. – Vol. 52. – P. 273–288.
4. Van Lierop P., Lindquist E., Sathyapala S., Franceschini G. Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events // Forest Ecology and Management. – 2015. – Vol. 352. – P. 78–88.

5. Kharuk V. I., Im S. T., Ranson K. J., Yagunov M. N. Climate-Induced Northerly Expansion of Siberian Silkmoth Range // *Forests*. – 2017. – Vol. 8 (8). – P. 301. doi: 10.3390/f8080301.
6. Кривец С. А., Керчев И. А., Бисирова Э. М., Пашенова Н. В., Демидко Д. А., Петько В. М., Баранчиков Ю. Н. Уссурийский полиграф в лесах Сибири: распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений : метод. пособие. – Томск-Красноярск : УМИУМ, 2015. – 48 с.
7. Bystrov S. O., Antonov I. A. First record of the four-eyed beetle *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) from Irkutsk Province, Russia // *Entomological Review*. – 2019. – Vol. 98 (1). – P. 54–55. doi: 10.1134/S001387381901007X.
8. Bykov R., Kerchev I., Demenkova M., Ryabinin A., Ilinsky Y. Sex-Specific Wolbachia Infection Patterns in Populations of *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera; Curculionidae: Scolytinae) // *Insects*. – 2020. – Vol. 11. – P. 547. doi: 10.3390/insects11080547.
9. Баранчиков Ю. Н., Демидко Д. А., Лаптев А. В., Петько В. М. Динамика отмирания деревьев пихты сибирской в очаге уссурийского полиграфа // *Лесной Вестник*. – 2014. – № 6. – С. 132–138.
10. Мельник М. А., Волкова Е. С., Бисирова Э. М., Кривец С. А. Оценка эколого-экономического ущерба лесопользованию, вызванного инвазией уссурийского полиграфа в темнохвойные экосистемы // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. – 2018. – № 6. – С. 58–75. doi: 10.21266/2079-4304.2018.225.58-75.
11. Кривец С. А., Бисирова Э. М., Волкова Е. С., Дебков Н. М., Керчев И. А., Мельник М. А., Никифоров А. Н., Чернова Н. А. Технология мониторинга пихтовых лесов в зоне инвазии уссурийского полиграфа в Сибири : методическое пособие. – Томск : УМИУМ, 2018. – 74 с.
12. Хорук В. И., Двинская М. Л., Демидко Д. А., Будник У. А. Пространственно-временная динамика размножения сибирского шелкопряда в темнохвойных древостоях Алтая // *Сибирский экологический журнал*. – 2016. – Т. 32, № 6. – С. 843–854.
13. Pavlova I. N., Litovkava Y. A., Golubeva D. V., Astapenkoc S. A., Chromogina P. V., Usoltseva Y. V., Makolova P. V., Petrenkova S. M. Mass Reproduction of *Polygraphus proximus* Blandford in Fir Forests of Siberia Infected with Root and Stem Pathogens: Monitoring, Patterns, and Biological Control // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2020. – Vol. 13, No. 1. – P. 71–84.
14. Кривец С. А., Бисирова Э. М., Керчев И. А., Пац Е. Н., Чернова Н. А. Трансформация таежных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири // *Российский журнал биологических инвазий*. – 2015. – № 1. – С. 41–63.
15. Об утверждении порядка проведения лесопатологических обследований и формы акта лесопатологического обследования [Электронный ресурс] : Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России) № 480 от 16.09.2016. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
16. Волкова Е. С., Кривец С. А., Мельник М. А. Районирование территории Томской области по опасности распространения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf) – нового вредителя пихты сибирской // *География и природные ресурсы*. – 2014. – № 3. – С. 40–47.
17. Арбузов С. А., Хлебникова Е. П., Никитин В. Н. Автоматизированная идентификация и определение породного состава древесных растений по материалам цифровой многозональной аэросъемки лесных массивов // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 68–76.
18. Тарасов А. В. Современные методы оперативного картографирования нарушений лесного покрова // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 201–213.
19. Крылов А. М., Соболев А. А., Владимирова Н. А. Выявление очагов короеда-типографа в московской области с использованием снимков Landsat // *Лесной вестник*. – 2011. – № 4. – С. 54–60.
20. Полевой А. В., Хумала А. Э., Щербаков А. Н., Налдеев Д. Ф. Подходы к определению степени повреждения ельников в результате вспышки массового размножения короеда-типографа с помощью дистанционных методов // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. – 2009. – № 187. – С. 240–248.
21. Марков Н. Г., Маслов К. А., Керчев И. А., Токарева О. С. Сверточная нейронная сеть для сегментации пораженных деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов // *Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли : сборник материалов VII Международной научной конференции*. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2020. – С. 102–105.

22. Баранчиков Ю. Н., Кривец С. А. О профессионализме при определении насекомых: как рассмотрели появление нового агрессивного вредителя пихты в Сибири // Экология Южной Сибири и сопредельных территорий. – Абакан : Изд-во ГОУ ВПО «Хакасский государственный университет им. Н. Ф. Катанова». – Выпуск 14. В 2-х томах. – Т. 1. – 2010. – С. 50–52.

23. Kononov A., Ustyantsev K., Blinov A., Fet V., Baranchikov Yu. N. Genetic diversity of aboriginal and invasive populations of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) // Agricultural and Forest Entomology. – 2016. – Vol. 18(3). – P. 294–301. doi: 10.1111/afe.12161.

24. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под общ. ред. В. К. Тузова. – М. : ВНИИЛМ, 2004. – 200 с.

25. Robin N. T., Cobb R. C., Christopher G. A., Cunneen N. J. Management of invading pathogens should be informed by epidemiology rather than administrative boundaries // Ecological Modelling. – 2016. – Vol. 324. – P. 28–32.

26. Mehta S., Haight R., Homans F., Polasky S., Venette R. Optimal detection and control strategies for invasive species management // Ecological Economics. – 2007. – Vol. 61 (2-3). – P. 237–245.

Получено 24.03.2021

© И. А. Керчев, Е. С. Волкова, М. А. Мельник, 2021

POSSIBILITIES OF GIS FOR STUDYING THE PROCESSES OF DISTRIBUTION OF THE USSURIYSK POLYGRAPH IN THE FIR FORESTS OF SIBERIA

Ivan A. Kerchev

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3, Akademicheskoy Prospekt St., Tomsk, 634055, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (3822)49-18-55, e-mail: ivankerchev@gmail.com

Elena S. Volkova

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3, Akademicheskoy Prospekt St., Tomsk, 634055, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Senior Researcher, Laboratory of Self-Organization of Geosystems, phone: (3822)49-22-23, e-mail: elevolko@yandex.ru

Mariya A. Melnik

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, 10/3, Akademicheskoy Prospekt St., Tomsk, 634055, Russia, Ph. D., Researcher, Laboratory of Self-Organization of Geosystems, phone: (3822)49-22-23, e-mail: melnik-m-a@yandex.ru

In recent decades, the Siberian fir forests have been seriously damaged by the invasive bark beetle of Far Eastern origin, the Ussuri polygraph *Polygraphus proximus* Blandf. The damage from the impact of the pest is expressed in monetary value and in the loss of many ecological functions of forest ecosystems. Technologies for organizing ground monitoring of the spread of the pest are successfully tested by Siberian scientists, and with the involvement of GIS technologies, they can provide a spatio-temporal analysis of the scale of the negative processes occurring. The purpose of this article is to show the capabilities of GIS technologies in combination with remote sensing in studying the processes of invasion of the Ussuri polygraph using the example of forest areas in the Tomsk region. It is shown that the geoinformation approach to the study of the fir forests state in the centers of mass reproduction of the pest makes it possible to create a series of thematic maps reflecting large-scale spatial and temporal changes in plantations and to give a short-term forecast of the development of the centers. The high efficiency of this approach is shown in the local analysis of the centers' development and to assess the dynamics of mass reproduction of the pest at the forestry level. Based on the built-in analytical information and cartographic display, it becomes possible to predict the emergence of new centers, monitor and control their development.

Keywords: Ussuri polygraph, Siberian fir trees, GIS technologies, mapping, breeding center, forest monitoring, remote sensing, forest pests, forecast

REFERENCES

1. Aukema, J. E., Leung, B., Kovacs, K., Chivers, C., Britton, K. O., Englin, J., Frankel, S. J., Haight, R. G., Holmes, T. P., Liebhold, A. M., McCullough, D. G., & Von Holle, B. (2011). Economic impacts of non-native forest insects in the continental United States. *PLoS ONE*, 6(9), 1–7.
2. Pimentel, D. (2002). Non-native invasive species and plant pathogens in British Isles. Biological Invasions. In *Economic and Environmental Costs of Alien Plants, Animal and Microbe species* (pp. 151–155). Boca Raton, USA: CRC Press.
3. Pimental, D., Zuniga, R., & Morrison, D. (2005). Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics*, 52, 273–288.
4. Van Lierop, P., Lindquist, E., Sathyapala, S., & Franceschini, G. (2015). Global forest area disturbance from fire, insect pests, diseases and severe weather events. *Forest Ecology and Management*, 352, 78–88.
5. Kharuk, V. I., Im, S. T., Ranson, K. J., & Yagunov, M. N. (2017). Climate-Induced Northerly Expansion of Siberian Silkmoth Range. *Forests*, 8(8), 301 p. doi: 10.3390/f8080301.
6. Krivec, S. A., Kerchev, I. A., Bisirova, Je. M., Pashenova, N. V., Demidko, D. A., Pet'ko, V. M., & Baranchikov, Ju. N. (2015). *Ussurijskij poligraf v lesah Sibiri: rasprostranenie, biologija, jekologija, vyjavlenie i obsledovanie povrezhdennyh nasazhdenij [Four-eyed fir bark beetle in Siberian forests: distribution, biology, ecology, detection and survey of damaged stands]*. Tomsk–Krasnoyarsk: UMIUM Publ., 48 p. [in Russian].
7. Bystrov, S. O., & Antonov, I. A. (2019). First record of the four-eyed beetle *Polygraphus proximus* Blandford, 1894 (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) from Irkutsk Province, Russia. *Entomological Review*, 98(1), 54–55. doi: 10.1134/S001387381901007X.
8. Bykov, R., Kerchev, I., Demenkova, M., Ryabinin, A., & Ilinsky, Y. (2020). Sex-Specific Wolbachia Infection Patterns in Populations of *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera; Curculionidae: Scolytinae). *Insects*, 11(8), P. 547. doi: 10.3390/insects11080547.
9. Baranchikov, Ju. N., Demidko, D. A., Laptev, A. V., & Pet'ko, V. M. (2014). Dynamics of Siberian fir dieback in the outbreak area of the four-eyed fir bark beetle. *Lesnoj Vestnik [Forestry Bulletin]*, 6, 132–138 [in Russian].
10. Melnik, M. A., Volkova, E. S., Bisirova, Je. M., & Krivec, S. A. (2018). Ecological-economic evaluation of damage caused to forest use by the invasion of four-eyed fir bark beetle in Siberia. *Izvestija Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Engineering Academy]*, 6, 58–75. doi: 10.21266/2079-4304.2018.225.58-75 [in Russian].
11. Krivec, S. A., Bisirova, Je. M., Volkova, E. S., Debkov, N. M., Kerchev, I. A., Melnik, M. A., Niki-forov, A. N., & Chernova, N. A. (2018). *Tehnologija monitoringa pihtovyh lesov v zone invazii ussurijskogo poligrafa v Sibiri [Technology for monitoring fir forests in the zone of invasion of the Four-eyed fir bark beetle in Siberia]*. Tomsk: UMIUM Publ., 74 p. [in Russian].
12. Horuk, V. I., Dvinskaja, M. L., Demidko, D. A., & Budnik, U. A. (2016). Siberian Silk Moth Outbreak Dynamics in Dark-Coniferous Forests of the Altai. *Sibirskij jekologicheskij zhurnal [Contemporary Problems of Ecology]*, 32(6), 843–854 [in Russian].
13. Pavlova, I. N., Litovka, Y. A., Golubeva, D. V., Astapenkoc, S. A., Chromogina, P. V., Usoltseva, Y. V., Makolova, P. V., & Petrenkova, S. M. (2020). Mass Reproduction of *Polygraphus proximus* Blandford in Fir Forests of Siberia Infected with Root and Stem Pathogens: Monitoring, Patterns, and Biological Control. *Contemporary Problems of Ecology*, 13(1), 71–84.
14. Krivets S. A., Bisirova E. M., Kerchev I. A., Pats E. N., & Chernova N. A. (2015). Transformation of taiga ecosystems in Western Siberia in invasion focus of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae). *Rossijskij zhurnal biologicheskikh invazij [Russian Journal of Biological Invasions]*, 1, 41–63 [in Russian].
15. Order of the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation (Ministry of Natural Resources of Russia) No. 480 of September 16, 2016. On the approval of the procedure for conducting forest pathological examinations and the form of the forest pathological examination report. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
16. Volkova, E. S., Krivec, S. A., & Mel'nik, M. A. (2014). Regionalization of Tomsk oblast according to thepropagation hazard of the Ussuri bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandf.), a new pest of Siberian fir. *Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources]*, 3, 40–47 [in Russian].

17. Arbuzov, S. A., Khlebnikova, E. P., & Nikitin, V. N. (2020). Automated identification and determination of the breed composition of wood by materials of digital multispectral aerial survey of forests. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 68–76 [in Russian].
18. Tarasov, A. V. (2020). Traditional and modern methods of satellite images processing for operational mapping of forest cover disturbances. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 201–213 [in Russian].
19. Krylov, A. M., Sobolev, A. A., & Vladimirova, H. A. (2011). Revealing of centers *Ips typographus* in Moscow region with use of pictures Landsat. *Lesnoj Vestnik [Forestry Bulletin]*, 4, 54–60 [in Russian].
20. Polevoj, A. V., Humala, A. Je., Shherbakov, A. N., & Naldeev, D. F. (2009). Approaches to determining the degree of damage to spruce forests as a result of an outbreak of mass reproduction of *Ips typographus* using remote sensing methods. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy]*, 187, 240–248 [in Russian].
21. Markov, N. G., Maslov, K. A., Kerchev, I. A., & Tokareva, O. S. (2020). Convolutional neural network for segmentation of affected fir trees in images from unmanned aerial vehicles. In *Sbornik materialov VII Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: Regional'nye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Proceedings of VII International Scientific Conference: Regional Problems of Remote Sensing of the Earth]* (pp. 102–105). Krasnoyarsk: Siberian Federal University Publ. [in Russian].
22. Baranchikov, Yu. N., & Krivets, S. A. (2010). About professionalism in identifying insects: how the emergence of a new aggressive pest of fir in Siberia. In *Ekologiya Yuzhnoy Sibiri i sopredel'nykh territoriy: Vyp. 14, t. 1 [Ecology of Southern Siberia and Adjacent Territories: Issue 14, Vol. 1]* (pp. 50–52). Abakan: Khakass State University named after N. F. Katanova Publ. [in Russian].
23. Kononov, A., Ustyantsev, K., Blinov, A., Fet, V., & Baranchikov, Yu. N. (2016). Genetic diversity of aboriginal and invasive populations of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae). *Agricultural and Forest Entomology*, 18(3), 294–301. doi: 10.1111/afe.12161.
24. Tuzov, V. K. (Ed.). (2004). *Metody monitoringa vrediteley i bolezney lesa [Methods for monitoring forest pests and diseases]*. Moscow: VNIILM Publ., 200 p. [in Russian].
25. Robin, N. T., Cobb, R. C., Christopher, G. A., & Cuniff, N. J. (2016). Management of invading pathogens should be informed by epidemiology rather than administrative boundaries. *Ecological Modelling*, 324, 28–32.
26. Mehta, S., Haight, R., Homans, F., Polasky, S., & Venette, R. (2007). Optimal detection and control strategies for invasive species management. *Ecological Economics*, 61(2-3), 237–245.

Received 24.03.2021

© I. A. Kerchev, E. S. Volkova, M. A. Melnik, 2021

УДК 528.94:004+629.32(571.14)

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-55-64

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА ВЕЛОИНФРАСТРУКТУРЫ В Г. НОВОСИБИРСКЕ

Ксения Станиславовна Лебедева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, магистрант кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)343-18-53, e-mail: ks.lebedeva1@yandex.ru

Петр Юрьевич Бугаков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)343-18-53, e-mail: peter-bugakov@ya.ru

Целью работы является разработка методики создания геоинформационной системы для анализа велоинфраструктуры в городе Новосибирске. Общедоступная ГИС для анализа велосипедной инфраструктуры с актуальной базой данных позволит обеспечить эффективный контроль состояния велосипедной инфраструктуры города, ее использования и развития, а также обеспечить доступ всем заинтересованным гражданам к информации о велоинфраструктуре с возможностью способствовать ее совершенствованию. Для практической реализации ГИС были выбраны следующие основные инструменты: полнофункциональный программный продукт для подготовки картографического материала – ArcGis; библиотека JavaScript, предназначенная для отображения карт на веб-сайтах – Leaflet. В результате работы представлена технологическая схема создания ГИС, приведено описание структурного содержания атрибутивной информации, предложены методы анализа состояния и возможностей развития велоинфраструктуры, а также описаны аспекты создания интерактивной карты с помощью Leaflet.

Ключевые слова: велосипедная инфраструктура, геоинформационная система, веломаршрут, картографический материал, ArcGis, Leaflet, интерактивная карта

Введение

Одной из важнейших задач по благоустройству города Новосибирск является развитие транспортной инфраструктуры, состояние которой на сегодняшний день имеет ряд серьезных проблем: повышение уровня автомобилизации, загрязнение окружающей среды, нехватка парковочных мест, перегруженность транспортных потоков, недостаточность финансирования и другие. Одним из путей решения вышеуказанных проблем может стать массовый переход городских жителей на велосипедный транспорт, что подтверждается опытом зарубежных стран [1, 2]. Современные исследования показывают, что польза для здоровья от езды на велосипеде намного превышает риски для здоровья, связанные с дорожно-транспортными травмами [3]. Одним из основных факторов, сдерживающих рост велосипедного движения, является пред-

полагаемая опасность езды на велосипеде по автодорогам. Таким образом, один из наиболее важных подходов к увеличению масштабов езды на велосипеде – создание внедорожных велосипедных дорожек, смешанных дорожек (совместно с пешеходами) и защищенных дорожных велосипедных объектов [4]. Распространение велотранспорта повлечет за собой такие положительные изменения городских условий, как снижение плотности дорожного движения, экономия общественного пространства, сокращение выброса вредных веществ в атмосферу, улучшение физического здоровья людей [5].

С целью увеличения интенсивности велосипедного движения необходимо обеспечить качественное развитие соответствующей инфраструктуры города, основываясь на следующих принципах планирования велосипедного движения и инфраструктуры: принцип непрерывности (обеспечивает безбарьерное

передвижение), принцип безопасности (обеспечивает защищенность при передвижении), принцип мобильности (обуславливает экономию времени при использовании веломаршрутов), экологический принцип (учитывает природные особенности местности) [6].

Для решения задач по развитию велоинфраструктуры предлагается разработать специализированную геоинформационную систему, которая позволяет визуализировать текущую инфраструктуру и предоставляет возможности для интерактивного взаимодействия.

Применение геоинформационных технологий для решения обозначенных выше задач дает широкий круг возможностей:

- создание информационно-справочных систем с применением дополнительного мультимедийного материала (например, фото- и видеоматериалы);
- применение системы условных знаков;
- поиск нужной информации по всему содержанию картографической системы с использованием ключевого слова;
- настройка доступа к системе;
- интерактивное взаимодействие пользователя с картографической моделью;
- сбор статистических данных посредством взаимодействия с пользователями [7, 8].

При рассмотрении возможностей геоинформационного представления данных о велосипедной инфраструктуре города было выявлено, что в настоящее время ГИС-технологии успешно применяются для решения задач подобного рода [9, 10]. Следует отметить, что существующие картографические системы зачастую содержат неполные данные (отображают не все категории объектов, входящие в состав велоинфраструктуры) и не используют возможности пространственного анализа в целях решения задач анализа велоинфраструктуры города.

Особенности разрабатываемой ГИС

Велосипедная инфраструктура города включает в себя элементы, обеспечивающие функционирование велотранспорта: система велодорожек и велополос, указатели, светофоры, дорожные знаки, места отдыха, вело-

парковки, пункты проката и система поддержки и развития велосипедного движения [11–13].

Велоинфраструктура Новосибирска на сегодняшний день имеет ряд проблем, таких как отсутствие единой, связной велотранспортной сети; некачественное или непригодное дорожное покрытие части велодорожек; небезопасность движения в транспортном потоке [14]. Однако популярность велотранспорта среди местного населения только растет: ежегодно жители города устраивают велопробег в поддержку развития городской велоинфраструктуры. Это свидетельствует о заинтересованности людей в создании комфортных условий для использования велосипеда в городской среде.

Таким образом, развитие велоинфраструктуры отвечает, во-первых, потребностям жителей города, во-вторых, современным тенденциям в сфере городского благоустройства. Способствовать решению данной задачи сможет, в том числе, создание геоинформационной системы для анализа велоинфраструктуры [15].

В рассматриваемой ГИС реализуются следующие возможности:

- визуализация элементов велосипедной инфраструктуры (велодорожки и велополосы, велопарковки, велопрокаты, веломагазины, места отдыха и т. д.);
- отображение маршрутов велосипедного движения с указанием следующих данных: протяженность в километрах; уровень сложности (с учетом рельефа местности); предполагаемое время, затрачиваемое на преодоление маршрута; наличие по пути достопримечательностей;
- возможность создавать на карте отметки с комментариями «нужна велопарковка», «нужен съезд» и другими (что позволит собрать актуальные данные для органов управления городским хозяйством).

Также при разработке проекта данной геоинформационной системы рассматриваются следующие задачи:

- улучшение понимания и восприятия целостности велосипедной инфраструктуры;
- использование выразительных, легко читаемых графических средств;

– повышение эффективности в планировании и принятии решений по развитию инфраструктуры благодаря системе взаимодействия с пользователями.

Структура атрибутивной информации

Для каждого вида объектов, входящих в состав велоинфраструктуры, было необходимо разработать семантическое содержание. С этой целью, во-первых, были изучены уже существующие веб-карты, схожие по тематике, а во-вторых, собраны данные о по-

требностях велосипедистов и других потенциальных пользователей. Так, для веломагазинов будут храниться такие данные название объекта, адрес, описание, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией.

В таблице представлена структура атрибутивной информации для разных групп объектов.

Каждая группа объектов, представленная в таблице атрибутивной информации, соответствует одному тематическому слою в разрабатываемой ГИС.

Структура атрибутивной информации

Тип объектов	Группа объектов	Атрибутивная информация
Элементы велосипедной инфраструктуры	Велодорожки	Протяженность (в км), двухстороннее или одностороннее движение, общее состояние
	Велополосы	Протяженность (в км), общее состояние
	Велопарковки	Название, адрес, фото
	Велопрокаты	Название, адрес, описание, фото, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией
	Веломагазины и ремонтные сервисы	Название, адрес, описание, фото, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией
Велосипедные маршруты	Рекреационные маршруты	Название, протяженность (в км), описание, время преодоления маршрута
	Туристические маршруты	Название, протяженность (в км), описание, время преодоления маршрута
	Спортивные маршруты, маршруты в рамках различных мероприятий	Протяженность (в км), описание, время преодоления маршрута
Точки интереса	Достопримечательности (памятники и живописные места)	Название, адрес, фото, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией
	Торгово-развлекательные комплексы	Название, адрес, режим работы, фото, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией
	Музеи	Название, адрес, режим работы, фото, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией
	Театры	Название, адрес, режим работы, фото, ссылка на официальный сайт или страницу с подробной информацией

Технология создания ГИС для анализа велоинфраструктуры

С учетом требований была разработана технология создания геоинформационной системы для анализа велоинфраструктуры, состоящая из следующих основных этапов:

– сбор, обработка и структуризация данных;

– разработка системы условных обозначений для отображения элементов велоинфраструктуры;

– создание, редактирование и настройка отображения тематических слоев карты;

– настройка функциональных возможностей интерактивной карты.

На рис. 1 отображена разработанная технологическая схема создания ГИС, предназначенной для анализа велоинфраструктуры города.

Рис. 1. Технологическая схема создания ГИС для анализа велоинфраструктуры

В качестве исходных данных для создания ГИС используются:

- растровые источники географической информации (цифровые аэрофотоснимки, спутниковые снимки, цифровые фотографии и т. д.);
- векторные источники пространственных данных;
- GPS-треки;

– статистические и литературные источники информации, такие как данные государственной и городской статистики, отчеты министерств и ведомств, различного рода описания территории, результаты натурных наблюдений и т. д.

Для реализации проекта разработки геоинформационной системы, предназначенной для анализа велоинфраструктуры, будет ис-

пользоваться ГИС ArcGIS Desktop, которая позволяет работать с различными форматами данных и имеет широкий набор инструментов редактирования географических данных, оформления карт, построения пространственных запросов и анализа информации [16].

Создать веб-карту на основе полученной ГИС рекомендуется с помощью специальной библиотеки Leaflet. Leaflet поддерживает слои Web Map Service (WMS), GeoJSON, векторные и тайловые слои. Для того чтобы начать работу с Leaflet, нужно преобразовать данные в нужный формат, а именно – в GeoJSON. Сделать это можно с помощью доступного в ArcGIS инструмента конвертации «Объекты в JSON».

Для анализа велосипедной инфраструктуры с целью ее развития предлагается использовать следующие виды аналитических оценок.

1. Оценка доступности велопарковок на территории города.

Для оценки доступности велопарковок на территории города предлагается следующий метод. Необходимо создать буферные зоны вокруг объектов, входящих в слой «Велопарковки». Это позволит визуализировать ту часть городской территории, в пределах которой велосипедист сможет достаточно быстро найти парковочное место, и покажет те области, в пределах которых находится недостаточно велосипедных парковок. За расстояние, обеспечивающее доступность велопарковки, принято 500 м, так как данное расстояние человек может пешком преодолеть без существенных временных затрат.

2. Оценка доступности велопрокатов на территории города.

Происходит аналогичным образом, что и оценка доступности велопарковок, с тем отличием, что за расстояние следует брать 1 000 м.

3. Оценка доступности социально-значимых объектов на велосипеде.

Для выполнения данной оценки используется построение буферных зон и методы пространственной выборки. Результатом будет слой «Доступные на велосипеде социально-значимые объекты», который содержит в себе те социально-значимые объекты (достопримечательности, торговые центры, спортивные комплексы), которые: 1) находятся на расстоянии в пределах 500 м от велодорожек или велополос; 2) предоставляют парковочные места для велосипедистов на расстоянии не более 200 м.

Эксперимент

Исходные данные для проведения эксперимента были взяты с портала Data.gov.ru, муниципального портала Новосибирска и других открытых источников. После сбора данных их необходимо было упорядочить и представить в табличном виде в формате .csv для их дальнейшей загрузки и обработки в ArcGIS, в том числе для преобразования в формат GeoJSON. Каждая таблица соответствует тематическому слою и должна содержать долготу и широту для каждого описываемого объекта.

Пример представлен на рис. 2.

	A	B	C	D	E	F
1	Latitude	Longitude	Name	Address	Number_of_places	Description
2	55.021332	82.918511	Велопарковка около KFC, ресторана быстрого питания	Гоголя, 15, Центральный район		5 Общедоступная
3	54.987029	82.905498	Велопарковка около НГТУ	Карла Маркса проспект, 20 к2		5 Общедоступная
4	54.989564	82.907611	Велопарковка около KFC, ресторана быстрого питания	Карла Маркса проспект, 24		4 Общедоступная
5	54.986642	82.911342	Велопарковка около магазина Магнит	Геодезическая, 23		8 Общедоступная
6	54.986335	82.911421	Велопарковка	Новогодняя, 42		5 Общедоступная
7	54.991387	82.902157	Велопарковка около магазина Пятерочка	Блюхера, 71		6 Общедоступная
8	54.988441	82.914443	Велопарковка	Немировича-Данченко, 142		6 Общедоступная
9	54.987547	82.895887	Велопарковка	Блюхера, 39		6 Общедоступная
10	54.988898	82.905487	Велопарковка	проспект Карла Маркса, 37/2		7 Общедоступная
11	54.996806	82.908639	Велопарковка	Стартовая, 4/1		3 Общедоступная
12	54.991387	82.902157	Велопарковка	Блюхера, 71		6 Общедоступная

Рис. 2. Таблица с данными по велопарковкам

Для визуализации тематических слоев геоинформационной системы с помощью функциональных возможностей Leaflet создается интерактивная карта. В качестве картографической подложки используется OpenStreetMap, подробная географическая карта мира со свободным доступом.

Для обозначения разных групп объектов были созданы немасштабные условные знаки в формате PNG с разрешением 25×41 для обозначения основных объектов велоинфраструктуры: велопарковок, точек велоремонта, веломагазинов, велопрокатов, достопримечательностей.

Так, на рис. 3 показан условный знак для обозначения велопарковок.

Рис. 3. Условный знак для обозначения велопарковок

Интерактивный условный знак, который воспринимает касание (если используется сенсорный метод ввода) или нажатие курсором мыши будем называть маркером.

При нажатии на маркер необходимо вывести семантическую информацию об объекте (рис. 4). Для отображения информационного окна используется метод `bindPopup`. В скрипте указываются те атрибуты объекта, которые следует отобразить пользователю (для велопарковок такими атрибутами являются «Название», «Адрес», «Количество мест», «Описание»).

На интерактивной карте будет также выводиться список слоев, отображение которых пользователь сможет включать и отключать.

При уменьшении масштаба отображения карты вывод всех условных знаков затрудняет визуальное восприятие карты. Для решения этой проблемы предлагается использовать кластеризацию маркеров с помощью стандартного плагина `Leaflet.markercluster`.

Рис. 4. Информационное окно с семантической информацией об объекте

Результат создания интерактивной карты с использованием кластеризации маркеров представлен на рис. 5.

Результат визуализации на интерактивной карте зон доступности велопарковок на тер-

ритории города представлен на рис. 6. Выделенные зоны на карте – это та область, находясь в пределах которой велосипедист сможет добраться до ближайшей велопарковки, преодолев расстояние не более 500 м.

Рис. 5. Интерактивная карта с использованием кластеризации маркеров

Рис. 6. Визуализация на карте территорий доступности велопарков

Заключение

Развитие велоинфраструктуры является важной задачей по благоустройству города и уменьшению негативных последствий автомобилизации. Специализированная ГИС с актуальной базой данных позволит обеспечить эффективный контроль состояния велосипедной инфраструктуры с целью определения путей ее дальнейшего развития (увеличение числа велодорожек и велопарков, реконструкция велодорожек, обеспечение целостности велотранспортной сети и др.).

В работе была рассмотрена разработка методики создания геоинформационной системы для анализа велоинфраструктуры. Функциональные возможности системы были определены с учетом потребностей ее потенциальных пользователей.

В ходе работы сформулированы этапы разработки ГИС, представлена логическая модель создания рассматриваемой ГИС в графическом виде. Исходя из потребностей велосипедистов и данных, содержащихся в схожих по тематике веб-картах, разработана структура семантического содержания для каждого вида объектов, составляющих тематические слои картографической системы.

Для практической реализации ГИС были выбраны следующие инструменты: полнофункциональный программный продукт для подготовки картографического материала – ArcGis; библиотека JavaScript, предназначенная для отображения карт на веб-сайтах – Leaflet. Применение данных инструментальных средств оставляет возможность для дальнейшего расширения функциональных возможностей системы в будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Newman Peter Kosonen Leo, Kenworthy Jeff. Theory of urban fabrics: Planning the walking, transit/public transport and automobile/motor car cities for reduced car dependency // *Town Planning Review*. – 2016. – Vol. 87(4). – P. 429–458.
2. Jonas L. The making of a pro-cycling city: Social practices and bicycle mobilities // *Environment and Planning A*. – 2017. – Vol. 49(4). – P. 876–892.
3. Pucher J., Dill J., Handy S. Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review // *Preventive Medicine*. – 2010. – No. 4. – P. 106–125.
4. Pucher J., Buehler R. Cycling towards a more sustainable transport future // *Transport Reviews*. – 2017. – Vol. 85(3). – P. 689–694. doi: 10.1080/01441647.2017.1340234.
5. Коростелева Н. В., Нестеренко Е. В. Развитие велоинфраструктуры в городах как способ снижения негативного влияния транспортной системы на городскую среду // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: строительство и архитектура*. – 2016. – № 45 (64). – С. 149–157.
6. Цокур А. В., Денисенко Е. В. Принципы поэтапного внедрения велосипедной инфраструктуры в городскую среду // *Изв. Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2017. – № 4 (42). – С. 117–128.
7. Лаврентьев С. В. Картографирование городского транспорта: направления развития // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2013. – № 4. – С. 33–38.
8. Кацко С. Ю. Возможности информационно-аналитических ГИС в работе непрофессиональных пользователей с пространственной информацией // *Вестник СГГА*. – 2011. – Вып. 1 (14). – С. 76–80.
9. Winters M., Brauer M., Setton E., Teschke K. Mapping Bikeability: a Spatial Tool to Support Sustainable Travel // *Environment and Planning B: Planning and Design*. – 2013. – Vol. 40. – P. 865–883. doi: 10.1068/b38185.
10. Хорошилов В. С., Сухорукова С. А., Дышлюк С. С. Применение ГИС-технологий в территориальном планировании // *Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. – 2012. – № 2-1. – С. 124–126.
11. ГОСТ 33150-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Проектирование пешеходных и велосипедных дорожек. Общие требования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200123908>.
12. СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. Актуализированная редакция СНиП 2.07.01–89* [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/456054209>

13. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения и требований к планированию развития инфраструктуры велосипедного транспорта поселений, городских округов в Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mintrans.gov.ru/documents/10/9511>.

14. Лебедева К. С., Бугаков П. Ю. Анализ существующей велоинфраструктуры в г. Новосибирске // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVI. Междунар. науч. конгр. : Магистерская научная сессия «Первые шаги в науке» : сб. материалов в 8 т. (г. Новосибирск 18 июня – 8 июля 2020 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2020. Т. 6, № 2. – С. 3–7.

15. Антонов Е. С., Янкелевич С. С. К вопросу картографического обеспечения социально-гуманитарных наук // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 92–101.

16. Ивлиева Н. Г., Манухов В. Ф. К вопросу построения картографических изображений на основе визуализации атрибутивных данных в ГИС // Геодезия и картография. – 2015. – № 2. – С. 31–38.

Получено 26.04.2021

© К. С. Лебедева, П. Ю. Бугаков, 2021

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR BUILDING A GEOINFORMATION SYSTEM FOR ANALYSIS OF NOVOSIBIRSK CYCLING INFRASTRUCTURE

Kseniya S. Lebedeva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Graduate, Department of Cartography and Geoinformatics phone: (383)343-18-53, e-mail: ks.lebedeva1@yandex.ru

Petr Yu. Bugakov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)343-18-53, e-mail: peter-bugakov@yandex.ru

The article discusses the development of a methodology for creating a geographic information system for the analysis of cycling infrastructure in the city of Novosibirsk. A publicly available GIS for analyzing cycling infrastructure with an up-to-date database should ensure efficient control over the state of the city's cycling infrastructure, its use and development, as well as access to the cycling infrastructure information to all interested citizens with the ability to contribute to its improvement. To implement GIS in practice the following basic instruments were used: full-featured software for preparing mapping materials – ArcGis; JavaScript library, intended to display maps on web-sites – Leaflet. As a result the article represents technological scheme of GIS creation, gives the description of structural content for attributive information, offers the methods for analysis of the condition and development of cycling infrastructure, as well as describes tools for the creation of the interactive map with the help of Leaflet.

Keywords: cycling infrastructure, geographic information system, bicycle route, cartographic material, ArcGIS, Leaflet, interactive map

REFERENCES

1. Newman Peter Kosonen Leo, & Kenworthy Jeff. (2016). Theory of urban fabrics: Planning the walking, transit/public transport and automobile/motor car cities for reduced car dependency. *Town Planning Review*, 87(4), 429–458.
2. Jonas, L. (2017). The making of a pro-cycling city: Social practices and bicycle mobilities. *Environment and Planning A*, 49(4), 876–892.
3. Pucher, J., Dill, J., & Handy S. (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: An international review. *Preventive Medicine*, 4, 106–125.
4. Pucher, J., & Buehler R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. *Transport Reviews*, 85(3), 689–694. doi: 10.1080/01441647.2017.1340234.

5. Korosteleva, N. V., & Nesterenko, E. V. (2016). Development of bicycle infrastructure in cities as a way to reduce the negative impact of the transport system on the urban environment. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: stroitel'stvo i arkhitektura [Vestnik of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and Architecture]*, 45(64), 42–48 [in Russian].
6. Tsokur, A. V., & Denisenko, E. V. (2017). Principles of the phased introduction of cycling infrastructure into the urban environment. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [News of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering]*, 4(42), 117–128 [in Russian].
7. Lavrentiev, S. V. (2013). Mapping of urban transport: directions of development // News of higher educational institutions. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 4, 33–38 [in Russian].
8. Katsko, S. Yu. (2011). Possibilities of information and analytical GIS in operation of eventual users with spatial information. *Vestnik SSGA [Vestnik SSGA]*, 1(14), 76–80 [in Russian].
9. Winters, M., Brauer, M., Setton, E., & Teschke, K. (2013). Mapping Bikeability: a Spatial Tool to Support Sustainable Travel. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40, 865–883. doi: 10.1068/b38185.
10. Khoroshilov, V. S., Sukhorukova, S. A., & Dyshlyuk, S. S. (2012). Application of GIS technologies in territorial planning. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 2/1, 124–126 [in Russian].
11. Standarts Russian Federation. (2014). GOST 33150-2014. Automobile roads for general use. Design of pedestrian and bicycle paths. General requirements. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/1200123908> [in Russian].
12. Code of Practice. (2016). SP 42.13330.2016. Urban planning. Urban and rural planning and development. Updated edition of SNiP 2.07.01-89*. Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/456054209> [in Russian].
13. Methodical recommendations for the development and implementation of measures for the organization of road traffic and requirements for planning the development of the bicycle transport infrastructure of settlements, urban districts in the Russian Federation. Retrieved from <https://www.mintrans.gov.ru/documents/10/9511> [in Russian].
14. Lebedeva, K. S., & Bugakov, P. Yu. (2020). Analysis of the existing bicycle infrastructure in Novosibirsk. In *Sbornik materialov Interekspo Geo-Sibir'-2020: T. 6, no. 2. Masterskaya nauchnaya sessiya "Pervye shagi v nauke" [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2020: Vol. 6, No. 2. Master's Scientific Session "First Steps in Science"]* (pp. 3–7). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
15. Antonov, E. S., & Yankelevich, S. S. (2017). To the question of cartographic support of social and humanitarian Sciences. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(4), 92–101 [in Russian].
16. Ivlieva, N. G., & Manukhov, V. F. (2015). To the question of building cartographic images based on the visualization of attributive data in GIS. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 2, 31–38 [in Russian].

Received 26.04.2021

© K. S. Lebedeva, P. Yu. Bugakov, 2021

УДК 528.92

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-65-72

ИНДЕКС ПОЛЕВОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПРИ СРЕДНЕМАСШТАБНОМ КАРТОГРАФИРОВАНИИ

Игорь Дмитриевич Махатков

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Лаврентьева, 8/2, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв, тел. (913)906-07-15, e-mail: makhatkov@issa-siberia.ru

Качество тематического картографирования во многом определяется репрезентативностью натурального обследования территории. В отличие от крупномасштабного картографирования, когда для проектирования точек обследования возможно использование приемов геостатистики, при среднемасштабном картографировании размещение точек обследования традиционно опирается на опыт, общие представления о тематическом разнообразии территории и имеющиеся картографические материалы. При численном пространственном моделировании тематических переменных используются косвенные признаки, в основном – спектральные изображения поверхности и производные цифровой модели рельефа. Пространственная экстраполяция точечной тематической информации так или иначе связана с использованием мер расстояний изученных и неизученных точек в пространстве косвенных переменных. Эту меру предлагается использовать в качестве численной меры качества обследования всего пространства картографирования. В статье приводятся численные эксперименты, иллюстрирующие поведение индекса. Предлагаются возможные пути использования индекса для контроля натурных работ с целью улучшения пространственной модели тематических переменных.

Ключевые слова: цифровая картография, натурные наблюдения, дистанционные данные, пространственное моделирование, тематическое картографирование, планирование наблюдений, контроль качества

Введение

Создание тематических карт связано с решением большого числа задач, в том числе с определением оптимального набора натуральных наблюдений. Основное требование к натурным исследованиям – их репрезентативность, максимально возможный охват разнообразия тематической информации территории, например разнообразия растительности или почвенного покрова [1, 2]. Традиционно в практике тематического картографирования выбор локализации натурального обследования территории опирается на опыт, общие представления о вероятном разнообразии тематической информации на территории и имеющиеся картографические материалы [3].

При создании цифровых моделей выбор мест и количества натуральных наблюдений определяется компромиссом между их репрезентативностью и точностью обследования с одной стороны, ограниченностью во времени, средствах и доступностью территории – с другой. В крупномасштабном карто-

графировании для проектирования натурального обследования привлекаются предварительные сведения, первичная выборка и средства геостатистики, позволяющие построить предварительную пространственную модель [4] и дополнить выборку, целенаправленно оптимизируя эту модель [5]. Такие подходы распространены, в том числе и в исследованиях почвенного покрова на небольших и сравнительно однородных пространствах, например в пределах пашни [6] или в процедуре кригинга с использованием дополнительных, косвенных признаков [7].

При среднемасштабном картографировании условие сравнительной однородности не соблюдается, что не позволяет использовать методы геостатистики. Создание пространственных моделей требует привлечение косвенных переменных, предположительно статистически связанных с тематическими [8]. В картографировании растительности и почвенного покрова это по большей части спектральные изображения поверхности и производные цифровой модели рельефа [9, 10].

В этом случае для рационального размещения точек натурного обследования эти косвенные переменные предлагается использовать для предварительной стратификации поверхности, и размещать точки обследования во всех стратах, равномерно или с учетом их площади [11, 12]. Учитывая, как правило, нелинейный характер связи тематических и косвенных переменных (будущих предикторов пространственной модели), очевидный недостаток такого подхода – сильная зависимость обучающей выборки и результирующей модели от предварительной стратификации [13]. Существенное ограничение оказывает и практическая доступность территории, что приходится учитывать при проектировании натурных работ [14].

В практике среднемасштабного картографирования почв и растительности натурные работы обычно планируются только в самых общих чертах, в основном исходя из общих представлений о пространственных закономерностях и доступности территории, хотя цифровые методы картографирования могли бы опираться и на численное выражение качества полевого обследования. Пространственные модели тематических переменных так или иначе опираются на статистическую связь тематических и косвенных переменных в точках обследования, а пространственная экстраполяция – на меры сходства изученных и неизученных точек косвенных переменных, т. е. на расстояния между точками в пространстве косвенных переменных [15, 16]. Например, если основой пространственного моделирования служат мультиспектральные снимки, то мерой сходства точек (пикселей изображения) будет расстояние в пространстве спектральной яркости.

Предлагаемая мера

Эту меру (расстояние в пространстве косвенных переменных) можно использовать и как самостоятельную величину для оценки качества обследования территории. Если тематическая информация выявлена для некоторого количества точек, то тематическая изученность территории может быть оценена как расстояние всех точек изображения до точек с выявленной тематической информацией

в пространстве переменных косвенной информации. Наиболее простой метрикой изученности будет евклидово расстояние или его производные. Например, в случае мультиспектральной съемки – расстояние каждого пикселя изображения до изученного в пространстве спектральных яркостей

$$R = \sqrt{\sum_{i=1}^k (P_i - S_i)^2},$$

где R – расстояние; k – количество спектральных каналов снимка (или в других случаях – количество переменных косвенной информации); P_i – значение i -го канала пикселя базового изображения; S_i – значение i -го канала изученного пикселя. Если изучено некоторое количество точек (пикселей), то мерой изученности каждого пикселя изображения будет расстояние до ближайшего изученного пикселя

$$R_{\min} = \min R(n, S_j),$$

где n – количество изученных пикселей; S_j – значения спектральных откликов j -го изученного пикселя. Полученные расстояния безразмерные, что неудобно при сравнении величины изученности разного набора данных, например по спектральным откликам поверхности и переменным цифровой модели рельефа. Удобнее использовать относительные значения расстояний, т. е. нормировать полученные значения расстояний по величине максимального расстояния двух точек косвенной информации

$$B_{\max} = \max B(P_i^m, P_j^m),$$

где B – расстояния между парами точками P_i^m и P_j^m косвенной информации; m – количество пикселей. Предварительные расчеты индекса показали, что квадратный корень из этой величины выразительнее, он и используется в дальнейшем

$$R_{\text{norm}} = \sqrt{R_{\min} / B_{\max}}.$$

Средняя величина индекса всех точек косвенной информации территории (R_{av}) может служить показателем общего качества обследования территории картографирования.

Численные эксперименты

Рассмотрим варианты расчета индекса обследования на примере фрагмента снимки Landsat 8 (<http://glovis.usgs.gov/>), в центральном секторе Сибирских Увалов (75.035 в. д. / 63.223 с. ш. – 75.519 в. д. / 63.391 с. ш.). Территория представлена в основном тремя контрастными типами ландшафта с ясными границами – северотаежными зональными лиственными кустарничково-зеленомошными лесами [17] на подзолистых и глееподзолистых почвах [18], интразональными сосновыми кустарничково-лишайниковыми лесами [19] на песчаных подзолах иллювиально-железистых и комплексными верховыми болотами на торфяниках. Промежуточные варианты и пойменные ландшафты занимают по площади подчиненное положение.

Для обращения с данными использовался QGIS 2.8.6 (<http://www.qgis.org/>) с дополнительными плагинами, для вычислений – Python 2.7 (<https://www.python.org/>) с необходимыми библиотеками (<http://www.numpy.org/>, <http://scikit-learn.org/>, <http://www.gdal.org/>), и редактор PyCharm Community (<https://www.jetbrains.com/pycharm/>).

Варианты расчета делались для массивов по 10 точек заведомо неполного обследования территории: 1 – только в сосновых лишайниковых лесах, 2 – только в зональных лиственных зеленомошных лесах, 3 – только на облесенных верховых болотах, входящих в состав болотных комплексов.

Известно, что величины яркости спектральных каналов проявляют тесную взаимную корреляцию. Пиксели изображения в пространстве исходных значений яркости образуют сильно вытянутое облако (рис. 1, а).

Очевидно, расчет расстояний при этом может быть неэффективным. Для более корректной оценки расстояний целесообразнее использовать производные ортогональные переменные (рис. 2, б). В дальнейших численных экспериментах использовались значения главных компонент мультиспектральных изображений.

Чем больше информации о территории, тем эффективнее применение индекса обследования. Например, при использовании переменных только одного спектрального снимка самые большие значения индекса показали водные поверхности и техногенные нарушения (рис. 2, вариант 1). Для большей части территории индекс показывает лучшую тематическую изученность для участков, сходных с обследованными, но он оказался не очень выразительным. Если использовать сезонную серию снимков Landsat (значений главных компонент 18 каналов, из которых 4 оценивались как значимые), то индекс при тех же точках обследования более выразителен. Изображение индекса ясно показывает хорошую изученность только участков сосновых лесов.

При смещении точек обследования меняется и общая картина качества обследования территории (рис. 3).

Рис. 1. Положение точек обследования сосновых лесов:

а) в пространстве 1 и 2 канала снимка Landsat; б) в пространстве значений 1 и 2 компоненты 6 каналов того же снимка

Рис. 2. Варианты расчета индекса обследования:

1 – использован один снимок (всего 6 каналов); 2 – использовано 3 снимка (всего 18 каналов); а) положение описаний на снимке Landsat 8 (желтые точки); б) положение изученных пикселей в пространстве 1 и 2 компонент спектральных откликов (черные точки); в) значение индекса изученности. Раскраска в б) и в) по значениям индекса

Рис. 3. Варианты расчета индекса изученности с использованием 3 снимков:

1 – изучены только сосновые леса; 2 – изучены только лиственные леса; 3 – изучены только верховые облесенные болота; а), б), в) как на рис. 2

В каждом случае неполного обследования изученные пиксели в точках обследования были сконцентрированы в ограниченной области переменных (рис. 3, б). Индексы обследования – расстояния для пикселей изображения с близкими значениями переменных в окрестностях точек обследования были наименьшими, и возрастали по мере роста расстояния в пространстве 4 компонент, с удалением от точек обследования. Визуализация значений индекса (рис. 3, в) показывает локализацию участков поверхности с разной степенью изученности. Во всех случаях индекс ясно показывает, какого типа поверхность изучена лучше и какого – хуже, что позволяет оценить качество обследования разных участков территории картографирования и корректировать ход натурных работ.

Показатель общего качества обследования (R_{av}) меняется в зависимости от репрезентативности обследования (рис. 4). Например, для нашего случая, если 10 точек обследования сосредоточены не только с сосновых лесах (рис. 4, вариант 1), а во всех трех типах ландшафта (рис. 4, вариант 2), то среднее значение индекса для всей территории (R_{av}) снижается с 0,32 до 0,27. При увеличении точек обследования до 30 в тех же сообществах (рис. 2, вариант 3) среднее значение индекса хотя и снижается, но незначительно, до 0,26. В обоих случаях, и при 10, и при 30 точках обследования в трех типах ландшафта, участки с хорошей и плохой изученностью почти аналогичны (рис. 4, вариант 2 и 3), к плохо изученным участкам в этих двух вариантах относятся поймы местных рек и обширные плоскобугристые болота, где нет ни одной точки обследования.

Рис. 4. Варианты расчета индекса изученности:

1 – изучены только сосновые кустарничково-лишайниковые леса; 2 – изучены только сосновые и лиственничные леса; 3 – изучены сосновые и лиственничные леса, и верховые облесенные болота; а), б), в) как на рис. 2

Заключение

В предложенном варианте расчета использовалось простое евклидово расстояние в пространстве базовых переменных. Возможно, более выразительной величиной будут другие метрики расстояний. Кроме того, для выразительности индекса, возможно, будет полезно отсеять самые большие значения индекса, связанные с экстремумами значениями спектральных яркостей или их производных небольшого количества пикселей изображения, а возможно – использование порогового значения индекса, делящего пиксели на «хорошо» и на «плохо» изученные.

Понятно, что индекс может рассчитываться для большого числа переменных в многомерном пространстве, которые невозможно оценить визуально. Кроме того, такие переменные могут сразу включать самую разнородную косвенную информацию о территории картографирования. Например, это могут быть значения главных компонент спектральных откликов поверхности, производные ЦМР, климатические переменные (для больших территорий) и т. д., предварительно нормализованные, разумеется. В таком случае индекс будет учитывать максимально возможную информацию о разнообразии поверхности. И наоборот, расчет индекса отдельно для разной косвенной информации может быть интересен для сопоставления ее информативности в конкретной картографической задаче.

В рассмотренном варианте расчета индекса предполагается, что точка обследования охватывает только один пиксель, т. е. только одну точку базовой информации, что оправдано, когда обследование ограничено небольшой площадью, которая намного меньше разрешения косвенной информации, и воспринимается как точечное обследо-

вание. В случае, когда площадь обследования превышает разрешение косвенной информации, т. е. включает несколько точек косвенной информации, индекс обследования, вероятно, может учитывать несколько метрик, например расстояние от средневзвешенного значения, медианы, квадратичного отклонения и т. д., значений изученных точек косвенной информации в одной точке обследования.

Понятно, что индекс может дать только приблизительное представление о натурном тематическом обследовании территории. Например, на предложенной территории напочвенный покров пойменных лесов с доминированием березы и сходным спектральным откликом может в разных участках поймы сильно отличаться, т. е. представлять разные типы растительности. Могут быть и обратные ситуации, когда участки со сходной растительностью обладают существенно различным спектральным откликом [13]. Все же, учитывая, что косвенная информация в дальнейшем будет основой пространственной экстраполяции тематической, использование индекса обследования может быть очень полезной и для корректировки натурального обследования территории, и для понимания качества экстраполяции тематической информации разных участков пространственной модели. Возможно использование индекса в два этапа, аналогично некоторым геостатистическим подходам в проектировании натурального обследования [4, 5]. На первом этапе – с использованием косвенной информации, на втором, после набора первичного объема точек обследования – с использованием предварительной пространственной модели тематической информации. На втором этапе индекс можно рассчитывать в пространстве тематических переменных, что даст более адекватную картину качества обследования.

Работа выполнена по государственному заданию Института почвоведения и агрохимии СО РАН.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грибова С. И., Исаченко Т. И. Картирование растительности в съемочных масштабах. Полевая геоботаника. – Л.: Наука. Т. 4. 1972. – С. 137–330.
2. Franklin J. Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction. – Cambridge: Cambridge University Press, 2009. – 320 p.
3. Савин И. Ю., Жоголев А. В., Прудникова Е. Ю. Современные тренды и проблемы почвенной картографии // Почвоведение. – 2019. – № 5. – С. 517–528.

4. Delmelle E. M. Spatial Sampling. Handbook of regional science. – Berlin : Springer, 2014. – P. 1385–1399.
5. Lark R. M., Marchant B. P. How should a spatial-coverage sample design for a geostatistical soil survey be supplemented to support estimation of spatial covariance parameters? // *Geoderma*. – 2018. – Vol. 319. – P. 89–99.
6. Brus D. J., Gruijter J. J., Van Groenigen J. W. Designing spatial coverage samples by the k-means clustering algorithm // *Proceedings of the 8th International FZK/TNO Conference on contaminated soil*. – Gent (Belgium), 2003. – P. 504–509.
7. Brus D. J., Heuvelink G. B. M.. Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables // *Geoderma*. – 2007. – Vol. 138. – P. 86–95.
8. Heuvelink G. B. M., Brus D. J., De Gruijter J. J. Optimization of sample configurations for digital mapping of soil properties with universal kriging // *Developments in Soil Science*. – 2007. – Vol. 31. – P. 137–151.
9. Сорокина Н. П. Методология составления крупномасштабных агроэкологически ориентированных почвенных карт. – М. : Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 2006. – 160 с.
10. Симакова М. С., Рухович Д. И., Белобров В. П., Молчанов Э. Н., Чижилова Н. П., Гаврилова И. П., Герасимова М. И., Богданова М. Д. Руководство по среднемасштабному картографированию почв на основе ГИС. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2008. – 343 с.
11. Dobermann A., Simbahan G. C. Methodology for using secondary information in sampling optimisation for making fine-resolution maps of soil organic carbon // *Developments in Soil Science*. – 2007. – Vol. 31. Chapter 13. – P. 167–182.
12. Minasny B., McBratney A. B. Latin hypercube sampling as a tool for digital soil mapping // *Developments in Soil Science*. – 2007. – Vol. 31. – P. 153–166.
13. Rolecek J., Chytrý M., Hajek M., Lvoncik S., Tichý L. Sampling design in large-scale vegetation Studies: do not sacrifice ecological thinking to Statistical purism! // *Folia Geobotanica*. – 2007. – No. 42. – P. 199–208.
14. Stumpf F., Schmidt K., Behrens T., Schonbrodt-Stitt S., Buzzo G., Dumperth C., Wadoux A., Xiang W., Scholten T. Incorporating limited field operability and legacy soil samples in a hypercube sampling design for digital soil mapping // *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. – 2016. – Vol. 179. – P. 499–509.
15. Савиных В. П., Цветков В. Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М. : Картгеоцентр – Геодезиздат, 2001. – 228 с.
16. Замятин А. В. Методы интеллектуального анализа данных в региональных системах аэрокосмического мониторинга // *Вестник СГУГиТ*. – 2016. – Вып. 4 (36). – С. 74–88.
17. Ильина И. С. и др. Растительный покров Западно-Сибирской равнины. – Новосибирск : Наука, 1985. – 249 с.
18. Смоленцев Б. А. Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северо-таежная подзона Западной Сибири). – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2002. – 118 с.
19. Хозяинова Н. В. Флора и растительность северной тайги Пуровского района Тюменской области (север Западной Сибири) // *Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения*. – 2008. – Вып. 8. – С. 27–42.

Получено 06.04.2021

© И. Д. Махатков, 2021

INDEX OF FIELD SURVEY OF THE TERRITORY FOR MEDIUM-SCALE MAPPING

Igor D. Makhatkov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 8/2, Prospect Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, Laboratory of Soil Geography and Genesis, phone: (913)906-07-15, e-mail: makhatkov@mail.ru

The quality of thematic mapping mostly depends on the representativeness of the field survey of the territory. In large-scale mapping geostatistical techniques can be used to design survey spatial sampling. In medium-scale mapping, the sampling scheme is traditionally based on experience, common views about the thematic diversity of the territory and available cartographic data. In the digital mapping of thematic variables secondary data is used. There are mainly remote sensing data and derivatives of a digital elevation model. Spatial extrapolation of thematic information of points is somehow connected with the use of distance measures between studied and unstudied points in the space of secondary variables. This measure is proposed to be used as a numerical measure of the survey quality of the entire mapping space. This article provides numerical experiments to illustrate the behavior of this index, as well as proposes possible ways of using the index to control fieldwork in order to improve the spatial model of thematic variables.

Keywords: digital cartography, field survey, remote sensing data, spatial modeling, thematic mapping, sampling design, quality control

REFERENCES

1. Gribova, S. I., & Isachenko, T. I. (1972). *Kartirovaniye rastitel'nosti v s'yemochnykh masshtabakh. Polevaya geobotanika: T. 4 [Vegetation mapping at survey scale. Field geobotany: Vol. 4]* (pp. 137–330). Leningrad: Nauka Publ. [in Russian].
2. Franklin, J. (2009). *Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction*. Cambridge: Cambridge University Press, 320 p.
3. Savin, I. Yu., Zhogolev, A. V., & Prudnikova, Ye. Yu. (2019). Modern trends and problems of soil cartography. *Pochvovedeniye [Eurasian Soil Science]*, 5, 517–528 [in Russian]
4. Delmelle, E. M. (2014). *Spatial Sampling. Handbook of regional science* (pp. 1385–1399). Berlin: Springer.
5. Lark, R. M., & Marchant, B. P. (2018). How should a spatial-coverage sample design for a geostatistical soil survey be supplemented to support estimation of spatial covariance parameters? *Geoderma*, 319, 89–99.
6. Brus, D. J., Gruijter, J. J., & Van Groenigen, J. W. (2003). Designing spatial coverage samples by the k-means clustering algorithm. *Proceedings of the 8th International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil* (pp. 504–509). Gent (Belgium).
7. Brus D. J., & Heuvelink G. B. M. (2007). Optimization of sample patterns for universal kriging of environmental variables. *Geoderma*, 138, 86–95.
8. Heuvelink, G. B. M., Brus, D. J., & De Gruijter, J. J. (2007). Optimization of sample configurations for digital mapping of soil properties with universal kriging. *Developments in Soil Science*, 31, 137–151.
9. Sorokina, N. P. (2006). *Metodologiya sostavleniya krupnomasshtabnykh agroekologicheskii oriyentirovannykh pochvennykh kart [Methodology for compiling large-scale agroecologically oriented soil maps]*. Moscow: Soil Institute. V. V. Dokuchaeva Publ., 160 p. [in Russian].
10. Simakova, M. S., Rukhovich, D. I., Belobrov, V. P., Molchanov, E. N., Chizhikova, N. P., Gavrilova, I. P., Gerasimova, M. I., & Bogdanova, M. D. (2008). *Rukovodstvo po srednemashtabnomu kartografirovaniyu pochv na osnove GIS A guide to medium-scale GIS-based soil mapping*. Moscow: Soil Institute. V. V. Dokuchaeva Publ., 343 p. [in Russian].
11. Dobermann, A., & Simbahan, G. C. (2007). Methodology for using secondary information in sampling optimisation for making fine-resolution maps of soil organic carbon. *Developments in Soil Science*, 31(13), 167–182.
12. Minasny, B., & McBratney, A. B. (2007). Latin hypercube sampling as a tool for digital soil mapping. *Developments in Soil Science*, 31, 153–166.
13. Rolecek, J., Chytry, M., Hajek, M., Lvoncik, S., & Tichy, L. (2007). Sampling design in large-scale vegetation Studies: do not sacrifice ecological thinking to Statistical purism! *Folia Geobotanica*, 42, 199–208.
14. Stumpf, F., Schmidt, K., Behrens, T., Schonbrodt-Stitt, S., Buzzo, G., Dumperth, C., Wadoux, A., Xiang, W., & Scholten, T. (2016). Incorporating limited field operability and legacy soil samples in a hypercube sampling design for digital soil mapping. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179, 499–509.
15. Savinykh, V. P., & Tsvetkov, V. Ya. (2001). *Geoinformatsionnyy analiz dannykh distantsionnogo zondirovaniya [Geoinformation analysis of remote sensing data]*. Moscow: Kartgeocenter–Geodezizdat Publ., 228 p. [in Russian]
16. Zamyatin, A. V. (2016). Data mining methods in regional aerospace monitoring systems. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 74–88 [in Russian]
17. Il'ina, I. S., & et al. (1985). *Rastitel'nyy pokrov Zapadno-Sibirskoy ravniny [Vegetation cover of the West Siberian Plain]*. Novosibirsk: Nauka Publ., 249 p. [in Russian].
18. Smolentsev, B. A. (2002). *Struktura pochvennogo pokrova Sibirskikh Uvalov [The structure of the soil cover of the Siberian Uvaly]*. Novosibirsk: SB RAS Publ., 118 p. [in Russian].
19. Khozyainova, N. V. (2008). Flora and vegetation of the northern taiga of the Purovsky district of the Tyumen region (north of Western Siberia). *Vestnik ekologii, lesovedeniya i landshaftovedeniya [Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Science]*, 8, 27–42 [in Russian].

Получено 06.04.2021

© I. D. Makhatkov, 2021

УДК 528.9

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-73-82

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Татьяна Сергеевна Молокина

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры картографии и геоинформатики, тел. (383)361-06-35, e-mail: molokinat@inbox.ru

Алексей Александрович Колесников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, тел. (913)725-09-28, e-mail: alexeykw@mail.ru

Развитие информационных технологий привело к значительному расширению возможностей по хранению, обработке и представлению пространственных данных. Это дало новый виток развития такому направлению картографии и геоинформатики, как геовизуализация. Интерактивность и динамика стали главными отличительными чертами современных картографических произведений, а разработки в области картографического дизайна теперь распространяются на проблемы взаимодействия человека и компьютера для обеспечения более успешного проведения анализа геоданных и выработки пространственных решений. В статье рассматриваются существующие определения геовизуализации и предлагается собственный его вариант. Рассматривается схема и особенности отдельных этапов создания геовизуализации. Сформулированы типовые задачи, которые необходимо решить для создания качественной визуализации пространственных данных и выполнена их систематизация. На основе приведенных задач и их специфики определены наиболее перспективные направления исследований в области геовизуализации.

Ключевые слова: геовизуализация, геоаналитика, восприятие, большие данные, искусственный интеллект, определение геовизуализации, схема этапов геовизуализации, связи научных направлений

Введение

Развитие информационных технологий с точки зрения сбора и обработки информации (распределенные хранение и обработка, машинное обучение, системы интеграции разнородных данных) для непрофессиональных пользователей значительно расширяет возможности по визуализации пространственных (геовизуализация) и статистических данных [1]. Но нужно отметить, что имеющиеся сегодня возможности с точки зрения информационного обеспечения и технологического развития далеко не всегда используются в полной мере вследствие того, что отсутствует методологическое обеспечение ряда технологических процессов, недостаточное научное обоснование технических решений, обеспечивающих интеграцию когнитивных и технических наук, а также анализ, об-

работку и визуализацию разнородных данных (больших данных) для создания качественной геовизуализации.

А эти особенности нужно обязательно учитывать, поскольку открылись новые возможности создания и использования карт, расширились их свойства и функции [2–5], появились новые картографические произведения, которые выступают теперь не только в качестве графического представления геопространства, но и являются активными инструментами в процессе мышления пользователей в том числе при решении задач пространственного анализа. Если ранее на заранее поставленные вопросы при помощи картографических произведений можно было получить ограниченное число ответов, то сейчас появилась возможность интерактивного взаимодействия человека с картой при преобразовании «больших данных» в полезную информацию.

В связи с этим на стыке геоинформатики, визуальной аналитики и картографии активно начинает развиваться новое направление науки и техники – геоаналитика [6]. Под этим термином понимают как процесс исследования пространственно-временных и многомерных данных [7], так и науку об аналитическом мышлении с пространственной информацией, чему способствуют интерактивные визуальные интерфейсы [8].

Методы и материалы

Геоаналитика базируется на трех основных функциональных блоках, частично пересекающихся между собой:

- 1) блок технологий извлечения данных;
- 2) блок систем поддержки принятия решений и интеллектуальные системы (прикладные методы искусственного интеллекта);
- 3) блок геовизуализации.

Наиболее близко к картографии, для которой изначально графическое отображение является основой, относится блок геовизуализации, который базируется на получаемых данных и используется как дополнительная компонента при принятии решений.

К современным задачам геовизуализации картография, как наука с богатой тысячелетней историей развития теории и практики, имеет прямое отношение. На протяжении многих веков карты были ориентированы именно на передачу пространственной информации, однако с активным внедрением динамики и интерактивности появились новые возможности создания и использования карт.

Тема геовизуализации актуальна и очень полезна в различных областях жизни человека, поскольку, во-первых, к основным функциям любой системы и сервиса обработки данных относится представление данных в максимально понятной и удобной для дальнейшего использования форме, во-вторых, геопро пространственная составляющая фигурирует во все большем числе наборов данных.

Понятие географической визуализации (сокращенно – геовизуализация) появилось с переходом картографии в цифровую эпоху и описывается во многих научных трудах. По мнению авторов статьи [9], «геовизуализация – это процесс использования ресурсов данных для удовлетворения научных и общественных потреб-

ностей, а также область исследований, разрабатывающая визуальные методы и инструменты для поддержки широкого спектра приложений геопро пространственных данных». При этом карта создается для индивидуального использования, и ее основная цель – предоставить новые знания из данных посредством интенсивного взаимодействия между картой и пользователем, с возможностью непосредственного манипулирования пространственными данными, нанесенными на карту. Впоследствии картографами всего мира было уточнено и дополнено предыдущее определение и под геовизуализацией, в первую очередь, стали понимать процесс интерактивной визуализации географической информации на любом из этапов пространственного анализа [10, 11], способствующей исследованию геопро пространственных данных (информации) посредством новых технологий [9, 12], в том числе используя когнитивный подход [9, 13]. Геовизуализация представляет собой метод анализа данных, включающий три составляющих: обработку данных большого объема из различных источников, обнаружение закономерностей, программный интерфейс [9, 14, 15].

По мнению ряда авторов, геовизуализация – это интерфейс к геопро пространственной базе данных или средство отображения результатов моделирования, с возможностью панорамирования, масштабирования и перемещения по карте, включения и отключения доступных слоев, проведения анализа для создания и включения дополнительных преимуществ, запрашивания данных через интерфейс карты, добавления своих собственных данных и разработки сценариев [16].

Таким образом, можно предложить следующее определение геовизуализации – это междисциплинарная область исследования, разрабатывающая методы и технические решения визуального отображения пространственно-временных многомерных данных большого объема (с помощью карт, диаграмм, графиков, трехмерных моделей, анимаций и т. д. и их комбинации) с возможностью интерактивного взаимодействия с целью обнаружения закономерностей, интерпретации результатов и принятия наиболее рациональных решений.

Процесс геовизуализации можно представить в виде схемы (рис. 1).

Рис. 1. Схема процесса геоинформатизации

Геоинформатизация взаимодействует с рядом областей науки и техники, включая картографию, визуальную аналитику, психологию, социологию, статистику, искусство, дизайн и когнитивные науки.

В настоящий момент возникает необходимость скоординированного подхода к исследованиям геоинформатизации с целью объединения технологических достижений создания современных интерактивных карт, геоаналитики с достижениями в области социальных и когнитивных наук для создания мощных и полезных инструментов визуализации геоинформации. Во многих зарубежных статьях говорится о нехватке системного подхода, который бы позволил интегрировать знания данных дисциплин, а также визуальные и вычислительные средства, позволяющие человеку и машине сотрудничать в процессе формирования знаний [17].

Существует множество нерешенных вопросов и задач, связанных с геоинформатизацией, для решения которых необходимо интегрировать знания различных научных направлений. Условно все задачи можно разделить на три группы.

1. Группа задач, связанная с анализом и обработкой данных.
2. Группа задач, связанная с отображением данных.
3. Группа задач, связанная с восприятием картографической информации пользователем.

Результаты и обсуждение

Таким образом, исходя из анализа и обобщения существующей теории, методических

материалов и практической реализации современных картографических и геоинформационных произведений, а также изложенного выше, можно сформулировать следующие задачи в области геоинформатизации.

1. Преобразование многомерных данных в формат, понятный человеку, обладающий возможностью размещения на карте.

Сегодняшние данные часто являются многомерными, особенно если речь идет о пространственных данных. Кроме базовых значений плановых и высотных координат, для отдельной точки это может быть ряд значений оптических сенсоров аэрокосмических съемочных систем, набор значений метеорологических датчиков, характеристики объекта подвижности и т. д. Все эти характеристики, как правило, связаны друг с другом и требуется показать их в комплексе, что возможно реализовать только через набор карт на одну и ту же территорию, поскольку человек способен воспринимать только небольшое число измерений (на анимационной карте за счет условных знаков можно показать две-три семантические характеристики, кроме базовых четырех измерений). Но вариант в виде набора карт (даже реализованный в геоинформационной системе с различными возможностями сочетания слоев) плохо подходит, когда нужно комплексно оценить десятки показателей. В этом случае можно использовать алгоритмы и методы снижения размерности для отбора либо синтетического создания, необходимого для визуализации на карте количества характеристик. Сложность задачи состоит в том, что пространственные данные, как правило, достаточно разнообразны по со-

вокупности характеристик и не всегда понятно какой именно алгоритм или метод нужно использовать в конкретном случае. Кроме этого нужно учитывать не только мерность данных, но и их количество, в случае так называемых «больших данных» необходимо использовать специализированные алгоритмы (которые тоже зависят от типа и характера данных) для анализа очень больших объемов информации.

2. Выбор и разработка способов отображения с точки зрения технических возможностей аппаратно-программного обеспечения.

Поскольку пользователи геоинформационных систем могут работать не только на персональных компьютерах, но и на планшетах, смартфонах, используя лишь возможности web-сервисов, то нужно учитывать как метрические характеристики отображаемых объектов, типы и значения данных, решаемую задачу, так и то, какими характеристиками будет обладать устройство просмотра геовизуализации. Например, для ряда способов визуализации потребуется не только подобрать размер или цвета условных знаков, но выполнить генерализацию (или наоборот загрузить более подробные данные), использовать другие условные знаки, учитывать значения датчиков самого устройства.

3. Выбор и разработка способов отображения с точки зрения типов данных.

Сейчас существует очень большое число диаграмм, графиков, возможностей и стилей настройки векторных и растровых пространственных данных, способов их сочетания, что зачастую приводит к трудностям выбора наиболее оптимального варианта. Для возможных вариантов решения задачи требуется оценить типы данных, их значения, взаимовлияние и т. д., чтобы построить систему критериев, на основе которых может быть создана рекомендательная система выбора способов отображения.

4. Разработка алгоритмов и правил автоматического поиска и добавления данных, которые являются логически или контекстно связанными с текущим картографическим содержанием.

Кроме непосредственно отображаемых на карте данных, часто бывает полезным уви-

деть и ту информацию, которая с ними логически (контекстно) связана. Например, при отображении лесных пожаров показать ближайшие прогнозные значения атмосферного давления, влажности, температуры. Таким образом, можно построить графы семантических связей между данными и, при наличии открытых источников, интегрировать их информацию в текущую карту.

5. Разработка алгоритмов и правил интеграции различных типов данных.

Ряд современных сервисов поставки пространственных и статистических данных позволяет не скачивать сами данные, а обращаться к ним по мере необходимости и получать только нужный фрагмент, ограниченный пространственным охватом, временным интервалом и т. д. Но разнообразие форматов, систем координат, единиц измерений приводит к тому, что интеграция не всегда происходит автоматически. Кроме того, данные часто требуют предварительной обработки и отображения базовой статистики – количества пропусков, выбросов, приведения к единой шкале, единицам измерения, фильтрации для того, чтобы их можно было использовать для наглядной геовизуализации. Таким образом, нужно рассмотреть наиболее распространенные варианты сервисов открытых данных, позволяющих интегрировать их в геоинформационную систему и сформировать набор правил и алгоритмов по преобразованиям, позволяющим сформировать единое геопространство.

6. Разработка алгоритмов и правил интеграции данных, относящихся к разным предметным областям и международным стандартам.

Одни и те же данные, отображаемые на карте, могут иметь разные условные знаки в зависимости от международных стандартов, предметной области, личных предпочтений составителей тематических карт. Это так же, как и в случае поиска контекстно зависимых данных, приводит к важности метаданных, позволяющих определить семантическое значение имеющейся информации. На основе этого можно построить систему правил отображения одних и тех же объектов в зависимости от места проживания, профессиональной сферы, психологических особенностей пользователя.

7. Разработка дизайна интерфейса (юзабилити).

Главной задачей, которую необходимо решить при разработке дизайна картографического интерфейса, является улучшение взаимодействия человека с картографическим продуктом, корректная расстановка визуальных акцентов, что, в свою очередь, положительно сказывается на удобстве восприятия информации. Очень важно учитывать, как выглядят страницы на разных устройствах и разрешениях экрана. Для решения данной задачи должны применяться законы типографики, основы композиции и колористики. Дизайн помогает сделать интерфейс интуитивным и легким для понимания при решении проблем, связанных с комфортным взаимодействием пользователя с картографическим приложением.

8. Разработка дизайна картографического содержания.

Главной задачей, которую необходимо решить при разработке дизайна картографического содержания, является разработка библиотеки картографических визуальных инструментов, которые позволят создавать неограниченное количество тематических карт и графиков, строящихся на основе результатов геоаналитики. При этом очень важно учитывать, как именно визуализировать «большие данные» и данные, объединенные из различных источников, которые выводятся в виде графических объектов, адаптирующихся (с точки зрения масштаба, элементов условного знака, назначения карты, свойств окружающей среды где находится устройство просмотра) для любых типов устройства и размеров экранов с целью максимально простого считывания информации с дисплеев. В геоинформационных системах сейчас широко используется возможность создания карт из готовых шаблонов с правильно подобранными способами отображения определенной тематики, а также возможность создавать визуализацию самостоятельно, редактируя легенду, подписи, толщины линий, цвет, размер шрифта и элементов карты.

9. Выбор и разработка способов отображения, учитывающих индивидуальность пользователя.

При отображении данных для более правильного и быстрого восприятия информации важно знать, какие стереотипы влияют на восприятие пользователя, уделяя при этом особое внимание психологическим, интеллектуальным, национальным и другим персональным особенностям. В зависимости от поставленных задач необходимо учитывать особенности потенциальных пользователей на этапе проектирования профилей, что позволит выявить требуемую функциональность создаваемого приложения. Данные сведения можно получить при помощи опроса аудитории, заранее подразделив их на группы по главным критериям. На главные критерии, характеризующие пользователя, влияют предметная область и контекст решаемых им задач. Поэтому сбор информации и последующую формулировку целей и задач, учитывающих индивидуальность конечных пользователей, логично выполнять параллельно с определением особенностей конкретной предметной области.

10. Выбор и разработка способов отображения, учитывающих особенности предметной области.

Помимо индивидуальных особенностей пользователей, очень важно учитывать профессиональные стереотипы, формирующие восприятие. Поэтому при отображении данных важно выявить, какие стереотипы, связанные с предметной областью, могут повлиять на адекватное и быстрое восприятие информации.

11. Разработка алгоритмов и правил изменения внешнего вида данных в зависимости от действий пользователя.

На улучшение взаимодействия человека с картографическим продуктом может повлиять и возможность изменения содержимого представления в зависимости от типа пользователя, при которой он может осуществлять чтение, запись или редактирование карт. Например, у роли администратора имеются полные права, в том числе на редактирование способов отображения, легенды карты, толщины линий и многое другое, а также доступ к настройкам программного обеспечения, отвечающим за управление пользователями системы и их правами. У картографа имеется право редактирования метрики и семантики

объектов карты, их отображения, но нет доступа к изменению параметров других пользователей. Обычные пользователи имеют право только просматривать текущий вариант карты и разрешенные характеристики объектов, т. е. у них нет доступа к инструментам редактирования объектов карты.

12. Разработка системы критериев оценки геовизуализаций.

Оценка геовизуализации – очень важная задача, для решения которой важно опираться на систему критериев, которые должны учитывать удобство использования картографического приложения (быстрота, функциональность), а также адекватность и правильность восприятия отображаемой информации. Одним из важнейших критериев качества и эффективности картографического приложения

является скорость, с которой будет успешно решена поставленная пользователем задача. Этот критерий можно подразделить на оценки длительности и качества восприятия необходимой пространственной информации, времени интеллектуальной работы (затраты времени на формулировку и выполнение последующих действий и запросов), скорости отклика программного приложения на действия пользователя. На поиск ключевых функций продукта, понимание основных принципов работы картографического приложения должно затрачиваться минимально необходимое для этого время при наименьшем количестве усилий.

Связи между научными направлениями и решаемыми задачами графически представлены на рис. 2.

Рис. 2. Схема связей задач геовизуализации и научных направлений

Большинство перечисленных задач необходимо рассматривать с точек зрения различных научных направлений и дисциплин, в том числе с учетом принципов восприятия, поскольку очень важно не только знание о том, как визуализировать геоинформацию, но и о том, как она будет прочитана и понята пользователем.

«Интерес к исследованиям человеческого фактора для геовизуализации в последние годы беспрецедентен» [18], поскольку на эффективность правильного и быстрого воспри-

ятия картографической информации, на ее адекватное понимание и способность, тем самым, к более оперативному принятию решений, влияют различные психологические и физиологические факторы, когнитивные и ментальные стереотипы, а также предпочтения и требования пользователей [18–22].

Отсутствие единой теории геовизуализации, учитывающей принципы восприятия, существенно затрудняет использование геоинформации.

Особенности восприятия картографического изображения описывались картографами на протяжении многих лет [23–28]. Например, в учебнике «Изображение рельефа на картах» Т. В. Верещака и О. В. Ковалева проводят исследование психофизиологических факторов, влияющих на восприятие картографического изображения, рассматривают основные законы зрительного восприятия (Бугера – Вебера, Вебера – Фехнера, апперцепции, гештальта и др.), которые находят свое отражение в методах и способах изображения рельефа на картах.

С появлением и распространением цифрового картографирования возникают новые проблемы, обусловленные поиском новых решений, соответствующих современным техническим требованиям, для построения геовизуализации.

Заключение

Учитывая определенные ранее в статье задачи, по мнению авторов, наиболее перспек-

тивными будут следующие направления исследования в области геовизуализации, в том числе учитывающие принципы восприятия:

- разработать единую теорию и методы использования принципов восприятия при геовизуализации для получения рекомендаций по составлению визуального оформления новых карт и планов (картографических произведений);

- исследовать достижения в области технологий отображения и интерфейса для картографического представления;

- выполнить экспериментальные исследования для выявления закономерностей влияния восприятия на продуктивное использование визуализированной геоинформации;

- разработать новый подход к отображению картографической информации;

- разработать новый картографический инструментарий для визуализации геоинформации;

- разработать систему критериев оценки качества геовизуализированной информации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Gunnink J. L., Burrough P. A. Interactive spatial analysis of soil attribute patterns using exploratory data analysis (EDA) and GIS // *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. – 2019. doi:10.1201/9780203739051-6.
2. Robinson A. C., Demšar U., Moore A. B., Buckley A., Jiang B., Field K., Kraak M.-J., Camboim S. P., Sluter C. R. Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter // *International Journal of Cartography*. – 2017. – Vol. 3 (1). – P. 32–60. doi: 10.1080/23729333.2016.1278151.
3. Янкелевич С. С., Радченко Л. К., Антонов Е. С. От многоцелевого картографического ресурса к «Умной карте» // *Вестник СГУГиТ*. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 142–155.
4. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективы развития геодезического и перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопространственной деятельности // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 19–29.
5. Лисицкий Д. В. Перспективы развития картографии: от системы «Цифровая Земля» к системе виртуальной реальности // *Вестник СГГА*. – 2013. – Вып. 2 (22). – С. 8–16.
6. Ghosh S., Neha K. Sales Analysis and Performance of Super Store Using Qlik GeoAnalytics // *Advances in Computational Intelligence and Informatics*. – Singapore : Springer, 2020. – P. 151–157. doi: 10.1007/978-981-15-3338-9_19.
7. Jern M., Franzen J. GeoAnalytics - Exploring spatio-temporal and multivariate data // *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)*. – London, England, 2006. – P. 25–31. doi: 10.1109/IV.2006.1.
8. Andrienko G., Andrienko N., Jankowski P., Keim D., Kraak M. J., MacEachren A. M., Wrobel S. Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda // *International Journal of Geographic Information Science*. – 2007. – Vol. 21(8). – P. 839–857. doi: 10.1080/13658810701349011.
9. Rhyne T. M., MacEachren A. M., Gahegan M., Pike W., Brewer I., Cai G., Lengerich E., Hardisty F. Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support // *IEEE Computer Graphics and Applications*. – 2004. – Vol. 24(1). – P. 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.

10. Coltekin A., Janetzko H., Fabrikant S. I. Geovisualization. Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge (2nd Quarter 2018 Edition). – University of Zurich, 2018. doi: 10.22224/gistbok/2018.2.6.
11. Mohan M. Geospatial information from satellite imagery for geovisualisation of smart cities in India // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2016. – Vol. XLI-B8. – P. 979–985. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-979-2016.
12. Balla D., Zichar M., Tóth R., Kiss E., Karancsi G., Mester T. Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools // Applied Sciences. – MDPI, 2020. – Vol. 10 (19). doi: 10.3390/app10196701.
13. Jiang B., Huang B., Vasek V. Geovisualisation for Planning Support Systems // Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. – P. 177–191. doi: 10.1007/978-3-540-24795-1_10.
14. Valêncio C., Kawabata T., Medeiros C., Souza R., Machado J. 3D Geovisualisation Techniques Applied in Spatial Data Mining // 9th international conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition. – 2013. – P. 57–68. doi: 10.1007/978-3-642-39712-7_5.
15. Hepburn J., Fairbairn D. Testing geovisualisations for effective environmental engineering decision-making // Abstracts of the ICA. – 2019. – Vol. 1. – P. 111–112. doi: 10.5194/ica-abs-1-111-2019.
16. Çay D., Nagel T., Yantac E. What is happening in the city? A case study for user-centred geovisualisation design // Journal of Location Based Services. – 2019. – Vol. 13. – P. 1–23. doi: 10.1080/17489725.2019.1630680.
17. Rhyne T. M., MacEachren A. M., Gahegan M., Pike W., Brewer I., Cai G., Lengerich E., Hardisty F. Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support // IEEE Computer Graphics and Applications. – 2004. – Vol. 24 (1). – P. 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.
18. Çöltekin A., Bleisch S., Andrienko G., Dykes J. Persistent challenges in geovisualization – a community perspective // International Journal of Cartography. – 2017. Vol. 3 (1). – P. 115–139. doi: 10.1080/23729333.2017.1302910.
19. Вицентий А. В., Шишаев М. Г., Порядин Т. А. К вопросу о когнитивном картографировании // Теоретические и прикладные вопросы науки и образования: сб. науч. тр. Международной научно-практ. конф. (г. Тамбов, 31 января 2015 г.) – Тамбов : ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. Ч. 12. – С. 45–46.
20. Вицентий А. В. Разработка технологии динамической когнитивной геовизуализации // Труды Кольского научного центра РАН. – 2015. – Вып. 3 (29). – С. 87–93.
21. Шишаев М. Г., Порядин Т. А. Проблема формирования эффективных картографических интерфейсов информационных систем для задач управления территориями // Труды Кольского научного центра РАН. – 2013. – Вып. 5 (18). – С. 69–76.
22. Бешенцев А. Н. Научные основы информационной концепции картографического метода исследования // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 85–110.
23. Brewer C. A., Hermann D., Maceachren A. M., Pickle L. W. Mapping Mortality: Evaluating Color Schemes for Choropleth Maps // Annals of the Association of American Geographers. – 1997. – Vol. 87 (3). – P. 411–438.
24. Верещака Т. В., Ковалева О. В. Изображение рельефа на картах: теория и методы (оформительский аспект). – М. : Науч. мир, 2016. – 178 с.
25. Востокова А. В., Кошель С. М., Ушакова Л. А. Оформление карт. Компьютерный дизайн : учеб. / Под ред. А. В. Востоковой. – М. : Аспект Пресс, 2002. – 288 с.
26. Гармиз И. В. Качество карт: Современные проблемы и методы. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1989. – 209 с.
27. Устинов А. Г. К вопросу о семантике цвета в эргономике и дизайне. Дизайн знаковых систем: психолого-семиотические проблемы // Труды ВНИИТЭ. – 1984. – № 27. – С. 32–46.
28. Гаврилов Ю. В. Картографический дизайн. – Новосибирск : СГГА, 2013. – 145 с.

Получено 26.04.2021

© Т. С. Молокина, А. А. Колесников, 2021

ANALYSIS OF THE STATE AND TRENDS OF SPATIAL DATA VISUALIZATION

Tatyana S. Molokina

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Senior Lecturer, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (383)361-06-35, e-mail: molokinat@inbox.ru

Aleksey A. Kolesnikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cartography and Geoinformatics, phone: (913)725-09-28, e-mail: alexeykw@mail.ru

The growth of information technology has led to a significant expansion of the possibilities for storing, processing and presenting spatial data. This gave a new round of development to such a direction of cartography and geoinformatics as geovisualization. Interactivity and dynamics have become the main distinguishing features of modern maps, especially in the field of cartographic design, which now extend to the problems of human-computer interaction to ensure more successful analysis of geodata and the development of spatial solutions. The article examines the existing definitions of geovisualization and proposes its own version. The scheme and features of individual stages of geovisualization creation are considered. Typical tasks that need to be solved to create high-quality visualization of spatial data are formulated and their systematization is performed. On the basis of the mentioned above tasks and their specificity, the most promising areas of research in the field of geovisualization were identified.

Keywords: geovisualization, geoanalytics, perception, big data, artificial intelligence, geovisualization definition, geovisualization stages diagram, scientific directions

REFERENCES

1. Gunnink, J. L., & Burrough, P. A. (2019). Interactive spatial analysis of soil attribute patterns using exploratory data analysis (EDA) and GIS. *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. doi: 10.1201/9780203739051-6.
2. Robinson, A. C., Demšar, U., Moore, A. B., Buckley, A., Jiang, B., Field, K., Kraak, M.-J., Camboim, S. P., & Sluter, C. R. (2017). Geospatial big data and cartography: research challenges and opportunities for making maps that matter. *International Journal of Cartography*, 3(1), 32–60. doi: 10.1080/23729333.2016.1278151.
3. Yankelevich, S. S., Radchenko, L. K., & Antonov, E. S. (2018). From multi-purpose cartographic resource to "Smart map". *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 142–155 [in Russian].
4. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2020). Prospects for the development of geodesic and cartographic production and the new paradigm of geospatial activity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 19–29 [in Russian].
5. Lisitsky, D. V. (2013). Prospects for cartography development: from digital land to virtual georeality. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 2(22), 8–16 [in Russian].
6. Ghosh, S., & Neha, K. (2020). Sales Analysis and Performance of Super Store Using Qlik GeoAnalytics. *Advances in Computational Intelligence and Informatics*, (pp. 151–157). Singapore: Springer. doi: 10.1007/978-981-15-3338-9_19.
7. Jern, M., & Franzen, J. (2006). GeoAnalytics - Exploring spatio-temporal and multivariate data. *Tenth International Conference on Information Visualisation (IV'06)* (pp. 25–31). London, England. doi: 10.1109/IV.2006.1.
8. Andrienko, G., Andrienko, N., Jankowski, P., Keim, D., Kraak, M. J., MacEachren, A. M., & Wrobel, S. (2007). Geovisual analytics for spatial decision support: Setting the research agenda. *International Journal of Geographic Information Science*, 21(8), 839–857. doi: 10.1080/13658810701349011.
9. Rhyne, T. M., MacEachren, A. M., Gahegan, M., Pike, W., Brewer, I., Cai, G., Lengerich, E., & Hardisty, F. (2004). Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(1), 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.

10. Coltekin, A., Janetzko, H., & Fabrikant, S. I. (2018). *Geovisualization. Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge* (2nd Quarter 2018 Ed.). University of Zurich, UCGIS, 9 p. doi: 10.22224/gistbok/2018.2.6.
11. Mohan, M. (2016). Geospatial information from satellite imagery for geovisualisation of smart cities in India. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLI-B8*, 979–985. doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B8-979-2016.
12. Balla, D., Zichar, M., Tóth, R., Kiss, E., Karancsi, G., & Mester, T. (2020). Geovisualization Techniques of Spatial Environmental Data Using Different Visualization Tools. *Applied Sciences*, 10(19). doi: 10.3390/app10196701.
13. Jiang, B., Huang, B., & Vasek, V. (2003) Geovisualisation for Planning Support Systems. *Planning Support Systems in Practice. Advances in Spatial Science*, (pp. 177–191). Berlin, Heidelberg: Springer. doi: 10.1007/978-3-540-24795-1_10.
14. Valêncio, C., Kawabata, T., Medeiros, C., Souza, R., & Machado, J. (2013). 3D Geovisualisation Techniques Applied in Spatial Data Mining. *9th international conference on Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition*, (pp. 57–68). doi: 10.1007/978-3-642-39712-7_5.
15. Hepburn, J., & Fairbairn, D. (2019). Testing geovisualisations for effective environmental engineering decision-making. *Abstracts of the ICA*, 1, 111–112. doi: 10.5194/ica-abs-1-111-2019.
16. Çay, D., Nagel, T., & Yantac, (2019). E. What is happening in the city? A case study for user-centred geovisualisation design. *Journal of Location Based Services*, 13, 1–23. doi: 10.1080/17489725.2019.1630680.
17. Rhyne, T. M., MacEachren, A. M., Gahegan, M., Pike, W., Brewer, I., Cai, G., Lengerich, E., & Hardisty, F. (2004). Geovisualization for Knowledge Construction and Decision Support. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 24(1), 13–17. doi: 10.1109/MCG.2004.1255801.
18. Çöltekin, A., Bleisch, S., Andrienko, G., & Dykes, J. (2017). Persistent challenges in geovisualization – a community perspective. *International Journal of Cartography*, 3(1), 115–139. doi: 10.1080/23729333.2017.1302910.
19. Vitsentiy, A. V., Shishaev, M. G., & Poryadin, T. A. (2015). On the question of cognitive mapping. In *Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Ch. 12. Teoreticheskie i prikladnye voprosy nauki i obrazovaniya [Proceeding of International Scientific Conference: Part 12. Theoretical and Applied Questions of Science and Education]* (pp. 45–46). Tambov: LLC "Consulting company Ucom" Publ. [in Russian].
20. Vitsentiy, A. V. (2015). The dynamic cognitive geovisualization technology development. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 3(29), 87–93 [in Russian].
21. Shishaev, M. G., & Poryadin, T. A. (2013). Problem of effective map-based information system's interface formation for territories management tasks. *Trudy Kol'skogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 5(18), 69–76 [in Russian].
22. Beshentsev, A. N. (2018). Scientific basis of the information concept cartographic research method. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 85–110 [in Russian].
23. Brewer, C. A., Hermann, D., Maceachren, A. M., & Pickle, L. W. (1997). Mapping Mortality: Evaluating Color Schemes for Choropleth Maps. *Annals of the Association of American Geographers*, 87(3), 411–438.
24. Vereshchaka, T. V., & Kovaleva, O. V. (2016). *Depiction of relief on maps: theory and methods (design aspect)*. Moscow: Nauchnyy mir Publ., 178 p. [in Russian].
25. Vostokova, A. V., Koshel, S. M., & Ushakova, L. A. (2002). *Oformlenie kart. Komp'yuternyy dizayn [Map design. Computer design]*. A. V. Vostokova (Ed.). Moscow: Aspect Press Publ., 288 p. [in Russian].
26. Garmiz, I. V. (1989). *Kachestvo kart: Sovremennye problemy i metody [Quality of maps: Modern problems and methods]*. Leningrad: LGU Publ., 209 p. [in Russian].
27. Ustinov, A. G. (1984). On the Semantics of Color in Ergonomics and Design. Design of iconic systems: psychological and semiotic problems. *Trudy VNIITE [VNIITE Proceedings]*, 27, 32–46 [in Russian].
28. Gavrilov, Yu. V. (2013). *Kartograficheskiy dizayn [Map design]*. Novosibirsk: SGGA Publ., 145 p. [in Russian].

Received 26.04.2021

© T. S. Molokina, A. A. Kolesnikov, 2021

УДК 528.9

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-83-93

КАРТОГРАФИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПОЗНАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ

Людмила Константиновна Радченко

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент, тел. (913)909-51-88, e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

Геннадий Павлович Мартынов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доцент, тел. (913)011-28-07, e-mail: martynov@ssga.ru

Карта – средство познания территории, но познавательная деятельность, интерес к картам и уровень подготовленности у всех пользователей разный. Этот уровень отличается у опытного пользователя, который читает карту, используя свои профессиональные знания по изучаемому объекту картографирования, и у школьника, который приступил к изучению какого-либо школьного предмета, и у него нет никаких базовых знаний по изучаемому вопросу. В статье предлагается структурная модель познания окружающей действительности с помощью такого средства познания, как карта. Познавательная деятельность осуществляется на основе чувственного познания, теоретического мышления и практической деятельности. Она возникает при появлении некоторого нового явления – стимула, который с помощью ориентировочного рефлекса активизирует интерес ребенка к новому увиденному средству познания окружающей действительности – карте. В познавательной деятельности участвуют подсознание, интеллект и сознание, которые формируют новые знания об окружающей действительности. Процесс познавательной деятельности ребенка может контролироваться помощником (учителем, родителем) либо может проходить самостоятельно. Знания о регионе предлагается формировать с помощью познавательной модели региона, визуализированной картографическим методом. Такая модель содержит определенный набор тематических слоев, характеризующих регион в целом, со всех сторон природно-социально-экономических аспектов. Познавательная модель позволяет работать с отдельной тематикой, раскрытой в конкретной карте и получать всеобъемлющие знания о регионе, тем самым выполняя стратегические задачи Государственной программы на 2019–2030 г., утвержденной постановлением Правительства РФ от 27.03.2019 № 337 «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» по обеспечению условий для развития «гражданской» науки, расширяя доступ граждан РФ к научным знаниям и участия в их получении.

Ключевые слова: познание, познавательная модель региона, карта, использование карт, познание окружающей действительности, стимул, сознание, интеллект, подсознание

Введение

В настоящее время, когда картография и геодезия стали неотъемлемой частью обычной жизни граждан, постепенно формируются новые направления в картографии, которые ориентированы на неподготовленного пользователя. Однако эти пользователи желают познать мир посредством картографических произведений, в которых познавательная функция превалирует над всеми остальными функциями карты. Конечно, карта – это в первую очередь средство познания территории, но познавательная деятельность, интерес

к картам и уровень подготовленности у всех пользователей разный. Этот уровень отличается у профессионала (например, геолога или военного), который читает карту, используя свои профессиональные знания по изучаемому объекту картографирования, и у школьника, который только приступил к изучению какого-либо школьного предмета, и у него нет никаких базовых знаний по изучаемому вопросу [1]. Попробуем разобраться в том, как происходит познание окружающей действительности (окружающего мира) с помощью карты у ребенка, и какой должна быть познавательная модель региона, используя

которую он сможет получить представление о регионе, где он проживает.

Материалы и методы исследования

Во второй половине XX в. возникает и формируется новая цивилизационная концепция современного общества, получившая название теории постиндустриального общества, при котором научные разработки становятся главной движущей силой экономики – базой индустрии знаний. Наиболее ценными качествами этого общества являются уровень образования, профессионализм, обучаемость и творческий подход профессионала [2]. В связи с этим произошли изменения требований ко многим наукам, ряд вопросов требует переосмысления с точки зрения индустрии знания. С помощью методов анализа и сопоставления, с использованием философских понятий, в данном исследовании рассматривается процесс познания окружающей действительности с помощью карты. В качестве материалов использованы публикации о технологическом прогрессе в картографо-геоинформационном пространстве, о познавательном аспекте в картографии (получившим отправную точку в данной области исследований одного из авторов, опубликованном в Вестнике СГУГиТ в 2020 г., том 25, № 4), о передаче знаний на картах и познания окружающей действительности с помощью карты, картографические произведения, имеющие познавательную направленность.

Географические карты позволяют получить представление о нашей планете и вместе с тем могут воспроизводить детальную картину ее отдельных частей, характеризуя природу, население, хозяйство и культуру. Они обладают удивительной способностью аккумулировать и передавать в наглядной и концентрированной форме знания о размещении явлений на Земле, накопленные во всей предыдущей истории человечества. Несомненно, карты принадлежат к великим творениям человеческой мысли. Рожденные общественной практикой и ей обязанные своим непрерывным развитием, географические карты образуют замечательное средство познания объективного мира и пространственного ори-

ентирования, незаменимое во многих областях научной и практической деятельности. Карты составляют наглядное пособие для школьного и внешкольного обучения. Они не только хранилище накопленных географических знаний, но и действенное средство для их распространения, подъема общей культуры [3]. Использование карты в образовательном процессе решает две основные и тесно взаимосвязанные задачи: во-первых, способствует изучению физической и экономической географии, а во-вторых, формирует картографические навыки, закладывает начало картографической грамотности, абсолютно необходимые каждому человеку. Школьные программы предусматривают изучение широкого круга картографических вопросов: представления об основных элементах карты, ее математической основе, условных знаках, способах картографического изображения, типах карт, различных способах работы с ними. Школьники учатся пользоваться разными картами, анализировать их содержание, подбирать карты для проведения тех или иных измерительных работ. По школьным картам и атласам возможно выполнение различных картометрических определений и расчетов: определение расстояний, площадей, объемов, плотностей, однородности распределения явлений по территории [4]. При выполнении подобных практических работ необходимо широкое привлечение учебных карт и атласов, с помощью которых можно осуществлять образовательную и познавательную деятельность.

Понятие «познавательная деятельность» изучается в философии в рамках раздела «Теория познания, или Гносеология». Построил учение о познании Аристотель еще в античные времена. Также в теорию познания внесли свой вклад Сократ, Платон, Ф. Бэкон, Р. Декарт, Г. В. Ф. Гегель, К. Маркс, Э. Гуссерль [5].

В психологии и педагогике в теорию познавательной и учебной деятельности большой вклад внесли Б. Г. Ананьев, Е. Л. Белкин, В. В. Дрозина, Е. В. Коротаева, А. Н. Леонтьев, Н. Ф. Талызина, А. Р. Лурия, Г. И. Щукина, Б. Д. Эльконин и другие отечественные и зарубежные исследователи [6].

Согласно Г. В. Фадиной [7], познавательная деятельность – это сознательная деятельность, направленная на познание окружающей действительности с помощью таких психических процессов, как восприятие, мышление, память, внимание, речь. В работе [8] сказано, что познавательная деятельность – это единство чувственного восприятия, теоретического мышления и практической деятельности. Познавательная деятельность структурно содержит уровни: чувственные – это познание посредством зрения, слуха, вкуса, обоняния, осязания, и рациональные – познание посредством мышления, языкового общения. Познание – совокупность процессов, процедур и методов приобретения знаний о явлениях и закономерностях объективного мира [9].

При зрительном чтении карты зрительно мы воспринимаем картографическое изображение, условные обозначения объекта или явления; качественные или количественные характеристики объекта или явления; названия объекта или явления, пояснительные подписи, визуализацию объекта или явления; дополнительное описание объекта или явления. Осязательное восприятие проявляется через рельефную структуру картографического изображения и условных обозначений; через описание, пояснения; через сенсорную память, интуитивное управление картой с помощью жестов и касаний. С помощью слуха воспринимаются пояснения, указания, описания, предупреждения, оповещения; дополнительные характеристики; психологическое воздействие (психоакустика). Дополнительная одорологическая характеристика объектов местности в скором будущем обеспечит обонятельное и вкусовое восприятие окружающего пространства при чтении, например, мобильной карты [10].

Рациональные уровни проявляются при чтении карты: опытный пользователь делает вывод нового знания из уже имеющегося на карте знания, используя научное прогнозирование и экспертные оценки. Языковое общение проявляется в системе условных обозначений, в способах картографического отображения объектов и явлений.

В отличие от опытного пользователя, ребенок не имеет профессиональных знаний. Воз-

никает вопрос, как происходит познание окружающей действительности ребенком (в частности с помощью карты) (рис. 1).

Рис. 1. Использование карты ребенком и опытным пользователем

Маленькому ребенку все интересно – он постоянно удивляется и задает вопросы родителям или тем, кто рядом с ним в настоящий момент. Примеры вопросов: «Что это?», «Где живет солнце ночью?», «Говорят, что земля – круглая. Но я же вижу, что она – плоская!», «А что дальше за пределами плоской карты?» и т. д. Такое поведение ребенка обеспечивается наличием у всех детей ориентировочного рефлекса.

«Ориентировочный рефлекс – это сложный безусловный рефлекс, появляющийся при воздействии на организм нового или неожиданного раздражителя, он обеспечивает всестороннюю готовность организма к восприятию действия раздражителей и к ответу на них. И. П. Павлов назвал его рефлексом "Что такое?". Он включает в себя следующие компоненты:

- двигательный – общая двигательная реакция, связанная с повышением тонуса мускулатуры (вздрагивание, затаивание) и реакция, направленная на локализацию раздражи-

теля в пространстве (поворот туловища, головы, глаз в сторону сигнала);

- дыхательный – углубление и учащение дыхания;

- вегетативный, связанный с активацией симпатической нервной системы (СНС). Он включает в себя расширение зрачков, кожно-гальваническую реакцию (уменьшение электрического сопротивления кожи), учащение сердцебиения, расширение кровеносных сосудов головы и сужение сосудов конечностей;

- изменение электрической активности головного мозга (угнетение α -ритма, с возникновением более частых колебаний). Неспецифическое повышение возбудимости коры ведет к снижению порогов чувствительности к ряду раздражителей, в результате чего обостряется зрение, слух, обоняние. Это способствует срочному анализу раздражителя и организации ответной реакции» [11].

Эту ответную реакцию ребенок и выплескивает во множество вопросов родителям и окружающим. Ребенку повезет, если последует более или менее вразумительное и спокойное объяснение нового явления, с которым встретился маленький человек. Потому

что именно так ребенок познает новый для него мир и, соответственно, расширяет свой кругозор. Если же в ответ на такие вопросы ребенка последует неубедительный ответ, он начнет терять интерес ко всему новому вокруг себя.

«Ориентировочный рефлекс лежит в основе любопытства и непроизвольного внимания, поэтому его роль в процессе обучения велика. Например, находящиеся в кабинете новые привлекательные наглядные картографические пособия будут вызывать у учеников ориентировочную реакцию. Это будет способствовать усвоению материала, но лишь тогда, когда эти карты будут соответствовать теме урока. В противном случае эти раздражители будут отвлекать учащихся от объяснений учителя. То есть ориентировочный рефлекс формирует у ребенка интерес к самой карте, либо к новому явлению или объекту на карте.

Значение ориентировочного рефлекса велико еще и потому, что эта реакция лежит в основе выработки условных рефлексов» [11]. Далее рассматривается примерная схема работы ориентировочного рефлекса (рис. 2).

Рис. 2. Примерная схема работы ориентировочного рефлекса

Дадим объяснение этой схеме. Стимул – от английского слова «stimulus», который обозначает:

- 1) физический агент (раздражитель), воздействующий на орган чувств (рецептор);
- 2) проксимальный стимул (термин Дж. Гибсона) – физическая энергия, на которую реагирует орган чувств в процессе взаимодействия субъекта с окружающей средой» [12].

Раздражитель (яркий, впервые наблюдаемый объект) вызывает интерес со стороны органов чувств человека и попадает в так называемое «воспринимающее устройство» центральной нервной системы (ЦНС) человека. Модель (система, исследование которой служит средством для получения информации о другой системе; представление некоторого реального процесса, устройства или концепции [13]) этого раздражителя формируется в «моделирующем устройстве» с помощью «компаратора», который

сравнивает параметры нового раздражителя с ранее проявившимися параметрами, находит общие и выявляет отличительные параметры нового раздражителя. Чем полнее будет создана модель нового стимула, тем быстрее происходит угасание реакции ориентировочного рефлекса на этот новый стимул. Но реакция восстанавливается, если этот стимул проявляет новые (отличные от первичных признаков) свойства. В таком случае происходит корректировка модели стимула в сторону большего разнообразия граней нового явления (стимула).

Результаты исследования и их обсуждение

Опираясь на рис. 2, предлагается структурная схема познавательной деятельности ребенка с помощью карты, которая представлена на рис. 3.

Рис. 3. Структурная схема познавательной деятельности ребенка

Ребенок изучая карту, проявляет определенный интерес, причем этот интерес может активизироваться либо с помощью учителя или

родителя, либо у ребенка может возникнуть собственный интерес на основе впервые увиденных объектов на карте, либо на основе

предыдущего жизненного опыта (первичных знаний). В этом процессе впервые увиденная карта становится стимулом:

а) для формирования интереса, который сосредотачивает внимание, организует ход мыслей [14], связанных с новым средством познания окружающего мира (картой);

б) активизации восприятия средства познания окружающего мира (карты). Восприятие – чувственное познание предметов (физических вещей, живых существ, людей) и объективных ситуаций (взаимоотношения предметов, движений, событий). Для восприятия характерно специфическое переживание прямого контакта с реальным миром [15];

в) способности осознавать новые ситуации, пониманию и моделированию нового средства познания на основе предыдущего опыта интеллектуальной деятельности.

Интеллект – качество психики, состоящее из способности осознавать новые ситуации, способности к обучению и запоминанию на основе опыта, пониманию и применению абстрактных концепций, использованию своих знаний для управления окружающей человека средой. Общая способность к познанию и решению проблем, которая объединяет познавательные способности: ощущение, восприятие, память, представление, мышление, воображение, а также внимание, волю и рефлексию [16, 17].

Собственный интерес возникает, проходя через определенные фильтры, и ребенок постепенно отсеивает ненужную информацию. К фильтрам информации относятся: установки учителей (например, изучить только животных по карте), друзей или приятелей (на этой карте больше животных) и т. д. Если эти фильтры пройдены, и интерес к новому явлению (карте) сформировался, то начинается процесс формирования познавательной деятельности. Интерес может быть активизирован «помощником» (учитель, задающий определенные задания; родитель, который контролирует выполненное домашнее задание и т. д.). В этом процессе познавательной деятельности участвует восприятие, подсознание, сознание и интеллект и, как итог всей деятельности, – знания. Интеллект подключает подсознание – психологические про-

цессы, находящиеся за пределами сознания, но способные при определенных обстоятельствах легко переходить в сознание [18].

В подсознании находится информация, накопленная человеком с момента рождения или из жизненного опыта, какие-то первичные знания. Подсознание отправляет на уровень сознания при участии интеллекта информацию, аналогичную той, которая появилась в поле зрения ребенка (в данном случае карта). Причем при выполнении сравнения с ранее известными условными знаками и объектами местности у ребенка может возникнуть какой-то вопрос к помощнику, например, «Что обозначает эта коричневая линия?», получив ответ, что эта линия «горизонталь, и ею обозначают рельеф местности», у ребенка начнется формирование знаний. Сознание (состояние психической жизни индивида, выражающееся в субъективной переживаемости событий внешнего мира и жизни самого индивида, в отчете об этих событиях. Сознание противопоставляется бессознательному в разных его вариантах (неосознаваемое, подсознание и т. д.) [14]), при участии интеллекта у ребенка формируются новые знания, новая модель действительности, которая накапливается годами, благодаря постепенному увеличению информации при обучении.

Знания – это результаты процесса познания действительности, отражающие ее в сознании человека в виде представлений, понятий, суждений, гипотез, теорий, концепций, принципов, законов, закономерностей и т. д. Знания фиксируются в форме знаков естественного и искусственного языков и могут быть: донаучными, житейскими, художественными, религиозными и научными. Знания иногда рассматривают как содержание памяти, мышления и воображения, построенное по типу технологической идеи: его можно претворить в вещь, процесс, прибор, т. е. бесконечное число раз воспроизвести в форме объекта [14]. При этом формировании знаний происходит сравнение нового явления с ранее известными объектами местности либо с ранее изученными картами. В этом процессе у ребенка могут возникнуть вопросы, которые он адресует помощнику, и если помощник

убедительно ответит на вопросы ребенка, то происходит более полное формирование знаний об объекте. Результатом всей этой познавательной деятельности являются новые знания о новом объекте, которые формируются на уровне сознания, а затем хранятся в подсознании.

Переходя к вопросу создания познавательной модели региона для детей, стоит отметить, что для создания карт, ориентированных на пользователей различных категорий, необходимы новые подходы, обеспечивающие формирование геоизображений, адаптированных к особенностям восприятия человека [19]. Например, для учащихся начальной школы понадобятся познавательные карты с уникальными объектами региона и учебные карты. Предпосылки таких карт, конечно, уже встречаются в нашей жизни: это компьютерные игры для детей и подростков, школьные и вузовские тесты, основанные на картографических материалах и т. д. Кроме того, благодаря развитию геоинформационного картографирования появилась возможность создавать картографические продукты на готовых базах данных, как следствие в сети Интернет появились различные карты познавательной направленности, которые позволяют нам узнать что-то новое, приобрести новые знания. Такие карты обладают рядом особенностей:

- тематическое содержание этих карт – это уникальные объекты или события, отличающие данный регион от другого, которые не связаны по смысловой тематике и содержанию;

- легенды таких карт чаще всего просты (или просто перенесены на само картографическое изображение) и имеют один-два тематических элемента содержания;

- это карты аналитического типа (отвечают на единственный вопрос) и включают познавательные моменты из различных сфер жизнедеятельности человечества;

- эффект познавательности достигается за счет дополнительных средств оформления и способов картографического отображения;

- для создания познавательных карт используют мелкий масштаб, так как эти карты носят чаще всего обзорный характер;

- познавательные карты яркие в оформлении, часто сопровождаются иллюстративными (художественными) условными знаками [1].

Карты, предназначенные для начальной школы, в которых явно выражена познавательная функция, в нашем случае предлагается объединить в многослойную модель, визуализированную в виде тематических карт (слоев), и с возможностью выбора определенных слоев в зависимости от интереса ребенка. Интерес ребенка может быть активизирован помощником либо проявляться самостоятельно. Активизация интереса нужна для того, чтобы познание действительности (например, знакомство с местностью проживания или изучение особенностей родного края) шло от простой модели к сложной. Важно, чтобы эта модель охватывала все тематические стороны, характеризующие регион в целом (рис. 4). Причем количество переданных и изученных знаний с помощью средства познания (карты) будет зависеть от многих факторов: рабочей программы изучаемой дисциплины в школе, интереса самого ребенка, его интеллектуальных способностей, участия родителей в процессе познания ребенком окружающего мира.

Рис. 4. Содержательная структура познавательной модели региона, визуализированная картографическим методом

Познавательная модель строится на общих правилах и принципах построения картографических произведений, когда на географическую основу локализуются тематические элементы. В данном случае элементы, которые несут познавательную информацию, формируют визуализацию общей картины мира. Таким образом, созданная познавательная модель региона, полученная методами геоинформационного картографирования, нацелена на поиск методологии получения новых знаний об окружающей действительности.

Выводы

Современное общество живет во время постоянно меняющихся информационных потоков и технологий, и для того, чтобы человек был успешным и хорошо ориентировался в этих потоках, необходимо научить его легко и быстро воспринимать информацию, анализировать и присваивать знания, осваивать новые, находить неординарные решения на различных этапах своей жизнедеятельности [20]. В условиях современной школы, испытывающей процесс модернизации, использование таких наглядных средств обучения, как карты, очень актуально, прежде всего, в связи с колоссальным увеличением информационного потока, обрушивающегося на современного человека, в том числе на учащегося и учителя, чрезвычайной загруженностью учащихся и крайней сложностью для учителя выбрать необходимую и полезную информацию, учебное наглядное пособие решает проблему предоставления большого количества информации в интересном, легко запоминающемся виде. Большое количество познавательной информации и знаний мы приобретаем, используя картографические

произведения, получая начальное, среднее и высшее образование. Основой организации познавательной деятельности маленького человека может служить следующий подход: учитывая индивидуальные особенности и работу структур головного мозга, каждый ученик из всего потока информации учебного процесса выбирает и частично осваивает только часть интересной ему информации. В итоге на первоначальном уровне освоения некоторой дисциплины строится первоначальная модель данной информации (каким-то образом понятной и интересной ему лично). При дальнейшем освоении этой дисциплины важно, чтобы новая часть информации основывалась на ранее изученной информации. Тем самым ребенок будет достраивать первичную модель и переходить на новый уровень [20]. То есть новые знания будут создаваться на основе имеющегося, усвоенного опыта. В процессе построения новой модели у ребенка будет постепенно формироваться способность к поиску и анализу информации, сравнению новой информации с ранее поступившей, а также способность к нахождению общих и отличительных ее особенностей, и в результате этого будут формироваться новые знания.

Познавательная модель региона позволит ребенку (и гражданину) узнать свой край достаточно полно для того, чтобы в дальнейшем бережно и вдумчиво к нему относиться. А перед картографами стоит задача теоретически обосновать создание познавательных карт, и с их помощью способствовать развитию условий для развития «гражданской» науки, расширяя доступ граждан РФ к научным знаниям и участия в их получении, согласно Государственной программе «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» на 2019–2030 г. [21].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Радченко Л. К. Познавательный аспект в картографии // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 138–145.
2. Орлов В. В. Постиндустриальное общество и Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/postindustrialnoe-obschestvo-i-rossiya/viewer> (дата обращения: 28.03.2021).
3. Салищев К. А. Картоведение : учеб. – 3-е изд. – М. : МГУ, 1990. – 400 с.

4. Современные аспекты применения картографического метода в работе со школьниками [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elar.uspu.ru/bitstream/uspu/6992/2/01Lutova.pdf> (дата обращения: 26.03.2021).
5. Анкин Д. В. Теория познания : учеб. пособие. – Екатеринбург : Изд. Уральского унив., 2019. – 192 с.
6. Дементьева О. М. Особенности познавательной деятельности в образовательном процессе // Современные проблемы науки и образования. – 2017. – № 2. – С. 147–156.
7. Фаина Г. В. Диагностика и коррекция задержки психического развития детей старшего дошкольного возраста : учебно-метод. пособие. – Балашов : Николаев, 2004. – 68 с.
8. Сластенин В. А., Исаев И. Ф., Шиянов Е. Н. Педагогика : учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / под ред. В. А. Сластенина. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 576 с.
9. Фролов И. Т. и др. Введение в философию : учеб. пособие для вузов. Глава VI. «Познание». – М. : Республика, 2013. – 623 с.
10. Утробина Е. С., Кокорина И. П., Радченко Л. К., Молокина Т. С. Расширение функций картографических изображений для передачи геопространственной информации на мобильных устройствах // ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий : материалы Междунар. конф. – М. : Изд-во Московского университета, 2020. Т. 26, ч. 1. – С. 489–502.
11. Соколов Е. Н. Нервная модель стимула и ориентировочный рефлекс // Вопросы психологии. – 1960. – № 1. – С. 61–73.
12. Большой психологический словарь / под ред. Б. Г. Мещерякова и В. П. Зинченко. – М. : АСТ, 2009. – 816 с.
13. Уемов А. И. Логические основы метода моделирования. – М. : Мысль, 1971. – 311 с.
14. Психолого-педагогический словарь. / Сост. Рапацевич Е. С. – Минск, 2006. – С. 284–286.
15. Степин В. С., Гусейнов А. А., Семигин Г. Ю., Огурцов А. П. Новая философская энциклопедия. В 4 томах. – М. : Мысль, 2010.
16. Cattell R. B. Abilities: Their structure, growth, and action. – New York : Houghton Mifflin, 1971.
17. Chaiklin S. The Zone of Proximal Development in Vygotsky's Analysis of Learning and Instruction // Vygotsky's Educational Theory in Cultural Context / ed. by A. Kozulin et al. – Cambridge University Press, 2003.
18. Райзберг Б. А. Современный социоэкономический словарь. – М., 2012. – С. 374.
19. Янкелевич С. С., Функции карт в условиях постиндустриальной эпохи // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 160–168.
20. Poshtareva T. V., Gribova E. P. The structure of cognitive activity of a person // Modern problems of science and education. – 2020. – № 1. – P. 37–45.
21. Государственная программа Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации» : Постановление Правительства РФ от 27.03.2019 № 337 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/554102822> (дата обращения: 28.03.2021).

Получено 09.04.2021

© Л. К. Радченко, Г. П. Мартынов, 2021

CARTOGRAPHIC ASPECT OF ENVIRONMENTAL COGNITION OF REALITY

Lyudmila K. Radchenko

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, phone: (913)909-51-88, e-mail: l.k.radchenko@sgugit.ru

Gennady P. Martynov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Associate Professor, phone: (913)011-28-07, e-mail: martynov@ssga.ru

A map is a means of knowing the territory, but the user's cognitive activity, interest to maps and the readiness level are different. The levels of an experienced user who reads a map using their professional knowledge of the mapping object being studied, and a student who started studying a school subject and does not have

any basic knowledge of the subject being studied. The article proposes a structural cognition model of the surrounding reality with the help of such a means of cognition as a map. Cognitive activity is carried out on the basis of sensory cognition, theoretical thinking and practical activity. It occurs when a certain new phenomenon – a stimulus – appears, which, with the help of an orientation reflex, activates the child's interest in new means of cognition of the surrounding reality – the map. Cognitive activity involves subconsciousness, intelligence, and consciousness, which form new knowledge about the environment. The process of child's cognitive activity can be controlled by an assistant (teacher, parent) or can take place independently. Knowledge about the region is proposed to be formed by using a cognitive model of the region, visualized by the cartographic method. Such a model contains a certain set of thematic layers, characterizing the region as a whole, from all sides of natural, socio-economic aspects. The cognitive model allows working with a separate topic, disclosed in a specific map and getting comprehensive knowledge about the region, thereby fulfilling the strategic objectives of the State Program for 2019-2030, approved by the Decree of the Government of the Russian Federation of 27.03.2019 No. 337 "Scientific and Technological Development of the Russian Federation" to provide conditions for the development of "civil" science, expanding the access of citizens of the Russian Federation to scientific knowledge and participation in their acquisition.

Keywords: cognition, cognitive region model, map, map use, environment cognition, stimulus, consciousness, intelligence, subconsciousness

REFERENCES

1. Radchenko, L. K. (2020). Cognitive aspect in cartography. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 138–145 [in Russian].
2. Orlov, V. V. Post-industrial society and Russia. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/postindustrialnoe-obschestvo-i-rossiya/viewer> (accessed 28.03.2021) [in Russian].
3. Salishchev, K. A. (1990). *Kartovedenie [Cartography]* (3rd ed.). Moscow: Moscow State University Publ., 400 p. [in Russian].
4. Modern aspects of using the cartographic method in working with schoolchildren. (n. d.). Retrieved from <http://elar.uspu.ru/bitstream/uspu/6992/2/01Lutova.pdf> (accessed 26.03.2021) [in Russian].
5. Ankin, D. V. (2019). *Teoriya poznaniya [Theory of knowledge]*. Yekaterinburg: Uralsky University Publ., 192 p. [in Russian].
6. Dementyeva, O. M. (2017). Features of cognitive activity in the educational process. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya [Modern Problems of Science and Education]*, 2, 147–156 [in Russian].
7. Fadina, G. V. (2004). Diagnostika i korrektsiya zaderzhki psikhicheskogo razvitiya detey starshego doshkol'nogo vozrasta [Diagnostics and correction of mental retardation in older pre-school children]. *Balashov: "Nikolaev" Publ.*, 68 p. [in Russian].
8. Slastenin, V. A., Isaev, I. F., & Shiyarov, E. N. (2002). *Pedagogika [Pedagogy]*. V. A. Slastenin (Ed.). Moscow: "Akademiya" Publ., 576 p. [in Russian].
9. Frolov, I. T., & et al. (2013). Vvedenie v filosofiyu: Glava VI. "Poznanie" [Introduction to philosophy: Ch. VI., "Cognition"]. Moscow: Respublika Publ., 623 p. [in Russian].
10. Utrobina, E. S., Kokorina, I. P., Radchenko, L. K., & Molokina, T. S. (2020). Expansion of functions of cartographic images for transmission of geospatial information on mobile devices. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy konferencii: T. 26, ch. 2. InterKarto. InterGIS. Geoinformatsionnoe obespechenie ustoychivogo razvitiya territoriy [Proceedings of the International Conference: Vol. 26, Part 2. InterCarto. InterGIS. Geoinformation Support of Sustainable Development of Territories]* (pp. 489–502). Moscow: Moscow University Publ. [in Russian].
11. Sokolov, E. N. (1960). Nervous model of stimulus and orienting reflex. *Voprosy psikhologii [Questions of Psychology]*, 1, 61–73 [in Russian].
12. Meshcheryakov, B. G., & Zinchenko, V. P. (Eds.). (2009). *Bol'shoy psikhologicheskiy slovar' [Big psychological dictionary]*. Moscow: AST, 816 p. [in Russian].
13. Uyomov, A. I. (1971). *Logicheskie osnovy metoda modelirovaniya [Logical foundations of the modeling method]*. Moscow: Mysl Publ., 311 p. [in Russian].
14. Rapatsevich, E. S. (Comp.). (2006). *Psikhologo-pedagogicheskiy slovar' [Psychological and pedagogical dictionary]* (pp. 284–286). Minsk, 2006.

15. Stepin, V. S., Guseinov, A. A., Semigin, G. Yu., & Ogurtsov, A. P. (2010). *Novaya filosofskaya entsiklopediya. V 4 tomakh [New philosophical encyclopedia. In 4 volumes]*. Moscow: Mysl Publ. [in Russian].
16. Cattell, R. B. (1971). *Abilities: Their structure, growth, and action*. New York : Houghton Mifflin.
17. Chaiklin, S. (2003). The Zone of Proximal Development in Vygotsky's Analysis of Learning and Instruction. In *Vygotsky's Educational Theory in Cultural Context*. A. Kozulin, & et al. (Eds.). Cambridge University Press.
18. Raizberg, B. A. (2012). *Sovremennyy sotsioekonomicheskiy slovar' [Modern socioeconomic dictionary]*. Moscow, P. 374 [in Russian].
19. Yankelevich, S. S. (2020). Card functions in the post-industrial era. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 160–168 [in Russian].
20. Poshtareva, T. V., & Gribova, E. P. (2020). The structure of cognitive activity of a person. *Modern Problems of Science and Education*, 1, 37–45.
21. Decree of the Government of the Russian Federation of March 27, 2019 No. 337. State program of the Russian Federation "Scientific and technological development of the Russian Federation". Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/554102822> (accessed March 28, 2021).

Received 09.04.2021

© L. K. Radchenko, G. P. Martynov, 2021

ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВО, КАДАСТР И МОНИТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

УДК 528.44

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-94-99

РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ КАДАСТРОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Сергей Александрович Атаманов

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и основ земельного права, кадастровый инженер, тел. (916)354-21-31, e-mail: sergey@atamanov.info

Целью исследования является формализация кадастровой деятельности с системных позиций. Обсуждена задача обеспечения качества сведений ЕГРН и предоставляемых услуг, решаемая посредством проведения качественных кадастровых работ. Рассмотрено понятие качества, определены его факторы, сформулированы результаты кадастровой деятельности, итогом которой должно являться нахождение эффективного решения по достижению цели, предусмотренное действующим законодательством, реализуемое в заданной ситуации и наименее ресурсоемкое. Как результат предложена новая методология кадастровой деятельности, направленная на разрешение существующих проблем.

Ключевые слова: кадастровый учет, регистрация прав, кадастровая деятельность, методология, кадастровый инженер, кадастровые работы

Введение

Существует базовое определение кадастровой деятельности, согласно которому – это выполнение в целях подготовки документов для кадастрового учета кадастровых работ, включая определение координат и описание местоположения объектов недвижимости, расчет площадей и согласование местоположения границ земельных участков (ст. 1 Федерального закона № 221-ФЗ от 24.07.2007 «О кадастровой деятельности»).

Заметим, что определение координат в данном случае – это не непосредственно некие полевые работы или дистанционное зондирование, а последующая аналитическая работа, преимущественно в геоинформационной среде, на основе сопоставленных сведений реестров, результатов измерений и документированных данных. В этот момент обнаруживается некоторое логическое противоречие: в документации требуется указывать, напри-

мер, геодезический или иной метод, который на самом деле используется лишь для подготовки исходных для анализа данных. А кадастровые инженеры определяют координаты точек границ и контуров, по сути, всегда аналитически, ведь ни на местности, ни на картах нет «юридических» объектов недвижимости – они виртуальны [1].

В требованиях к подготовке документов сказано, что «по желанию заказчика» может также формироваться 3D-модель объекта в форматах DXF, RVT, PLN, SKP (п. 21 Приказа Минэкономразвития от 18.12.2015 № 953). Какого-либо практического смысла в этом на начало 2021 г. нет. Изменений в этой области стоит ожидать ближе к 2023 г., к которому ожидается появление инфраструктуры для информационного моделирования объектов строительства, в том числе будет осуществлен ввод в эксплуатацию ГИСОГД. Интересно, что к этому моменту в России образуется уже три параллельные конкурирующие и дублирую-

щие друг друга системы учета объекта капитального строительства: кадастрового, градостроительного и технического.

К приведенному выше определению кадастровой деятельности нередко возникают претензии. Например, что приведенный состав работ не является точным или полным [2, 3].

Институт кадастровых инженеров в России появился относительно недавно, и до сих пор практически отсутствуют научные изыскания, направленные на исследование и формализацию самой кадастровой деятельности с системной точки зрения. Существует недостаток работ, рассматривающих какую-либо обобщенную методологию кадастровых работ, в публичном доступе.

Методология исследования

Чтобы подойти к пониманию кадастровой деятельности, рассмотрим ее цель. Существует общегосударственная задача обеспечения качества содержащихся в Едином государственном реестре недвижимости сведений и предоставляемых услуг. Она поставлена в государственной программе РФ «Экономическое развитие и инновационная экономика», федеральной целевой программе «Развитие единой государственной системы регистрации прав и кадастрового учета недвижимости», а также в целевой модели

упрощения процедур ведения бизнеса и повышения инвестиционной привлекательности субъектов РФ «Постановка на кадастровый учет земельных участков и объектов недвижимого имущества», утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 31.01.2017 № 147-р.

Примем, что «качественные» кадастровый учет и регистрация прав осуществляются в минимальные сроки с минимальными расходами как для государства, так и для заинтересованных лиц. Вносимые в ЕГРН сведения при этом достоверны. Качество кадастрового учета и регистрации прав достигается в том числе отсутствием оснований для приостановления или отказа при рассмотрении заявлений, а наличие этих оснований зависит от правильности выбора услуг и качества предоставляемых документов.

В итоге мы приходим к выводу, что истинным результатом кадастровой деятельности является не подготовленная документация вроде технического или межевого плана, а факт приведения описания недвижимости и прав на нее в соответствие с действительностью и документацией при условии выполнения поставленной задачи; другими словами – гармонизация данных в неопределенных условиях. Выделим факторы, влияющие на качество результатов работы кадастрового инженера, занесем в таблицу ниже.

Факторы качества результатов кадастровых работ

Факторы качества	Способы повышения	Причины снижения	Сопутствующие расходы
Адекватность принятых решений	Структурирование требований НПА Унификация обоснования принимаемых решений	Нечеткое нормативно-правовое поле	Юридическая экспертиза Апеллирование решений органа ГКУ
Достоверность сведений	Технический контроль Автоматизация бизнес-процессов	Низкое качество и недостоверность исходных данных Ошибки при обработке исходных данных	Полевые работы Кадастровый аудит
Соответствие стандартам оформления	Автоматизация производственных процессов	Нечеткое нормативно-правовое поле	Программное обеспечение

Безусловно, очевидной и важнейшей составляющей всех факторов качества является квалификация сотрудников.

С нашей точки зрения, значительная, а может, и большая часть ресурсов кадастрового инженера уходит на выстраивание последова-

тельности действий, необходимых для решения задачи заказчика (заинтересованного лица). Таким образом, в первую очередь, кадастровые инженеры – это специализированные юристы, а не технические исполнители, занимающиеся конвертацией данных в нуж-

ный формат по алгоритму. Кадастровый инженер в каждом проекте выступает как эксперт в области земельно-имущественного права, а его основной работой таким образом является экспертиза документации и выработка алгоритма действий. Большую же часть технической работы, начиная от измерений и заканчивая подготовкой документации, зачастую подконтрольно выполняют сотрудники на смежных должностях.

Затруднения возникают при работе инженера по множеству причин, среди которых мы можем выделить основные:

- в современном имущественном законодательстве существует нехватка единых базовых классификаторов;
- нормативно-правовые акты не описывают последовательности действий в различных ситуациях;
- требования к проведению работ противоречивы, размыты и постоянно изменяются [4, 5], из-за чего государственные регистраторы принимают решения исходя из собственного толкования документов и неофициальных указаний;
- государственные органы неохотно идут на диалог с профессиональным, к сожалению, разрозненным сообществом;
- осуществляются попытки возврата к государственной монополии на рынке кадастровых работ;
- многие объекты недвижимости исторически несовершенны с точки зрения наличия всей документации и учета. В то же время общая алгоритмизация и цифровизация государственных услуг рассчитана на идеальные объекты.

Требования к выполнению работ настолько неоднозначны, что сам Росреестр не хочет следовать им при самостоятельном исправлении реестровых ошибок и для себя разрабатывает упрощенные формы документов [6].

Исследующие кадастр авторы, следуя идее автоматизации бизнес-процессов, зачастую пробуют составлять технологические схемы по отдельным видам работ — линейные [7, 8] или с логическими операторами [9]. Однако, проблема заключается в том, что на практике найти два схожих объекта непросто.

Можно утверждать, что практически всегда есть такие отличия в исходных данных, что алгоритм действий будет иным. Во многих случаях выполнению работ препятствуют проблемы, требующие отдельного предварительного разрешения.

Наши эксперименты показали, что возможно составлять и применять для автоматизации экспертной работы весьма сложные, автоматизированные, интерактивные диаграммы бизнес-процессов, учитывающие различные ситуации и характеристики объектов [10].

Но даже когда количество элементов диаграммы начинает исчисляться сотнями, охватить все возможные ситуации крайне затруднительно и, как следствие, необходимо иметь возможность дополнительно использовать более универсальные методы.

Кадастровую деятельность мы можем абстрактно рассматривать как комплекс работ, для которых нужны исходные данные, и в результате которых получаются некие документы. Цель этих работ декларируется заказчиком работ, а задачей кадастрового инженера является нахождение эффективного решения по достижению цели, под которым понимаем:

- предусмотренное действующим законодательством;
- реализуемое в заданной ситуации;
- наименее ресурсоемкое.

Проанализировав вышеизложенное, мы приходим к тому, что общая методология кадастровых работ должна решать задачу обеспечения надлежащего качества кадастровых работ и, как следствие, повышения качества кадастрового учета и регистрации прав, а также отвечать условию решения следующих ключевых проблем:

- отсутствие единой терминологии в нормативно-правовых актах;
- разрозненность законодательства;
- отсутствие комплексных решений в нормативно-правовых актах;
- значительный объем и дублирование данных;
- значительный объем требований;
- быстрое устаревание записей используемой базы профессиональных знаний.

Результаты исследования

В авторской методологии кадастровые работы, составляющие кадастровую деятельность, рассматриваются как совокупность определенных производственных процессов, выполняемых в рамках заданного нормативно-правового поля. Производственный процесс в таком случае – это выполнение субъектами действий с объектами по некоему алгоритму. Под моделью же совокупности ка-

дастровых работ для какой-либо ситуации мы понимаем структурированное описание составляющих элементов (сущностей, entities), учитываемых и используемых в данных действиях, их параметров и связей между ними, а также базовые универсальные алгоритмы.

Для оптимизации кадастровой деятельности в целом и, в том числе, для автоматизации поиска обоснованных эффективных решений разработана методология, показанная на рисунке.

Общая схема методологии принятия решений

На основе корпуса действующих нормативно-правовых актов создается универсальная, используемая во всех ситуациях модель нормативно-правового поля в области учета недвижимости. При этом для сопоставления сведений из различных документов применяется классификатор объектов недвижимости на основе характерных признаков. Модель и классификатор актуализируются по мере изменений нормативно-правовых актов.

При планировании кадастровых работ в заданной ситуации фиксируются характер-

ные признаки объектов недвижимости. Информационная система поддержки деятельности кадастрового инженера в различных автоматизированных режимах помогает специалисту построить граф эффективного решения поставленной задачи с его обоснованием в виде цитат из нормативно-правовых документов.

Далее кадастровые работы виртуализируются в форме комплексной информационной модели, формализующей большую часть учитываемых сведений. Благодаря этому стано-

вится возможным автоматизировать и оптимизировать выполнение отдельных этапов кадастровых работ.

При выполнении работ специалисты обеспечиваются необходимой нормативно-справочной информацией, агрегируемой в базе профессиональных знаний.

В классификатор объектов недвижимости на основе характерных признаков, модель нормативно-правового поля в области учета недвижимости и элементы базы знаний автоматизированно вносятся корректировки при изменениях нормативно-правовых актов по методу актуализации учтенных сведений.

Заключение

В основании разработанной методологии лежат логика, системология и информатика. Характеристики описываемой деятельности (ее особенности, принципы, условия и нормы дея-

тельности) регулируются совокупностью всех нормативно-правовых актов в сфере земельно-имущественного права. Методы, составляющие методологию кадастровой деятельности, реализуются в форме внедренной в производство прикладной информационной системы поддержки деятельности кадастрового инженера (<http://onworks.ru>), а также в «Справочнике кадастрового инженера» (<https://cadastre.ru>).

Апробация разработанной системы в условиях реального производства показывает повышение качества результатов кадастровых работ за счет структурирования требований нормативно-правовых актов и унификации принимаемых решений в целях обеспечения их эффективности, автоматизации бизнес-процессов и внедрения технического контроля в целях обеспечения достоверности учитываемых сведений, автоматизации производственных процессов в целях обеспечения соответствия оформления сведений принятым стандартам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Атаманов С. А. Альтернативный взгляд на погрешности в кадастре недвижимости [Электронный ресурс] // Кадастр. Москва. – 2020. – Режим доступа: <https://кадастр.москва/news/424> (21.01.2021).
2. Подшивалова А. С., Степанова Е. А. Современные представления о кадастровых работах // Роль молодых ученых и исследователей в решении актуальных задач АПК : материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и обучающихся. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2020. – С. 183–186.
3. Махотлова М. Ш., Деунежера З. М., Кабардокова А. В., Кумыкова Ш. Х., Матиева Л. Б. Кадастровые работы в отношении объектов недвижимости // Аграрное и земельное право. – 2020. – № 8. – С. 50–53.
4. Махотлова М. Ш., Акбашева А. С., Озрокова К. Ю. Проблемы кадастровой деятельности и пути их решения в современной России // Аграрное и земельное право. – 2020. – № 6. – С. 35–37.
5. Ключниченко В. Н., Ивчатова Н. С. Особенности формирования кадастра в России // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 198–208.
6. Об утверждении формы и формата отчета / Проект ведомственного акта № 01/02/04-20/00100973 от 07.04.2020 [Электронный ресурс] // Росреестр. – Режим доступа: <https://regulation.gov.ru/p/100973> (21.01.2021).
7. Хабарова И. А., Хабаров Д. А., Нилиповский В. И., Кондратьев М. А. Разработка графических схем технологических процессов для постановки на государственный кадастровый учет земельного участка под торгово-развлекательный центр // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2020. – № 1. – С. 7–15.
8. Аврунев Е. И., Асташенков Г. Г., Антонович К. М., Каленицкий А. И., Иванцова Е. А. Разработка технологической схемы подготовки межевого плана в отношении ранее учтенных земельных участков // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 3. – С. 229–237.
9. Демидова П. М., Рыбкина А. М., Бузина А. Ю. Разработка методики выполнения комплексных кадастровых работ в отношении объектов капитального строительства // Московский экономический журнал. – 2020. – № 6. – С. 73–82.
10. Атаманов С. А., Григорьев С. А. Применение диаграмм бизнес-процессов для конструирования технических заданий на кадастровые работы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2018. – Т. 62, № 1. – С. 81–84. doi: 10.30533/0536-101X2018-62-1-81-84.

Получено 25.02.2021

© С. А. Атаманов, 2021

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR CADASTRAL ACTIVITY

Sergey A. Atamanov

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Pereulok St., Moscow, 105064, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cadastre and Ground Law Department, Surveyor, phone: (916)354-21-31, e-mail sergey@atamanov.info

The purpose of the research is the formalization of cadastral activity from systemic viewpoint. The article discusses the task of ensuring good quality of USRER data and provided services, which is solved by conducting high-quality cadastral works. The article deals defines the notion of quality, its factors and formulates cadastral results, which should contribute to "efficient" and least solution for goal achievement, which is legally provided, least resource-consuming and implemented in a given situation. As a result, the article offers a new methodology for cadastral activity, aimed at solving existing problems.

Keywords: cadastral register, right registration, cadastral activity, methodology, cadastral engineer, cadastral works

REFERENCES

1. Atamanov, S. A. (2020). An alternative view of errors in the real estate cadaster. Cadastre. Moscow. Retrieved from <https://кадастр.москва/news/424> (accessed 21.01.2021) [in Russian].
2. Podshivalova, A. S., & Stepanova, E. A. (2020). Modern ideas about cadastral works. In *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh i obuchayushchikhsya: Rol' molodykh uchenykh i issledovateley v reshenii aktual'nykh zadach APK [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students: The Role of Young Scientists and Researchers in Solving Urgent Problems of the Agro-Industrial Complex]* (pp. 183–186). Saint Petersburg: Saint Petersburg State Agrarian University Publ. [in Russian].
3. Makhotlova, M. Sh., Deunezheva, Z. M., Kabardokova, A. V., Kumykova, Sh. Kh., & Matieva, L. B. (2020). Cadastral work in relation to real estate objects. *Agrarnoe i zemel'noe pravo [Agrarian and Land Law]*, 8, 50–53 [in Russian].
4. Makhotlova, M. Sh., Akbasheva, A. S., & Ozrokov, K. Yu. (2020). Problems of cadastral activities and ways to solve them in modern Russia. *Agrarnoe i zemel'noe pravo [Agrarian and Land Law]*, 6, 35–37 [in Russian].
5. Klyushnichenko, V. N., & Ivchatova, N. S. (2020). Features of the formation of the inventory in Russia. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 198–208 [in Russian].
6. On the approval of the form and format of the report / Draft departmental act No. 01/02/04-20/00100973 of April 07, 2020. Federal Registration Service of the Russian Federation. Retrieved from <https://regulation.gov.ru/p/100973> (accessed: 21.01.2021) [in Russian].
7. Khabarova, I. A., Khabarov, D. A., Nilipovskii, V. I., & Kondrat'ev, M. A. (2020). Development of graphical schemes of technological processes for state cadastral registration of a land plot for a shopping and entertainment center. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologii "Integral" [International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral"]*, 1, 7–15 [in Russian].
8. Avrunov, E. I., Astashenkov, G. G., Antonovich, K. M., Kalenitskii, A. I., & Ivantsova, E. A. (2018). Development of a technological scheme for preparing a boundary plan for previously recorded land plots. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(3), 229–237 [in Russian].
9. Demidova, P. M., Rybkina, A. M., & Buzina, A. Yu. (2020). Development of a methodology for performing complex cadastral works in relation to capital construction objects. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal [Moscow Economic Journal]*, 6, 73–82 [in Russian].
10. Atamanov, S. A., & Grigor'ev, S. A. (2018). Application of business process diagrams for the design of technical specifications for cadastral work. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 62(1), 81–84. doi: 10.30533/0536-101X2018-62-1-81-84 [in Russian].

Received 25.02.2021

© S. A. Atamanov, 2021

УДК 528.44

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-100-107

ДОСТОВЕРНОСТЬ СВЕДЕНИЙ ЕГРН И ЕЕ КРИТЕРИИ

Сергей Александрович Григорьев

Московский государственный университет геодезии и картографии, 105064, Россия, г. Москва, Гороховский пер., 4, кандидат технических наук, доцент кафедры кадастра и основ земельного права, кадастровый инженер, тел. (910)417-14-32, e-mail: vened1147@gmail.com

Анализируется проблема достоверности сведений ЕГРН. Определяются два типа сведений: текущие записи и потенциальные сведения, представляющие собой массив документированных сведений, содержащие информацию о ранее учтенных объектах недвижимости. Обосновывается цель исследования – разработка методов проверки (автоматизированного кадастрового аудита) указанных сведений на предмет их достоверности. Обосновывается терминологическая основа аудита, предлагаются критерии достоверности сведений ЕГРН. Дан пример успешной автоматизации кадастрового аудита сведений ЕГРН, сделан вывод о возможности использования аудита в Росреестре с целью автоматических проверок характеристик объектов недвижимости.

Ключевые слова: достоверность сведений, кадастровый учет, регистрация прав, кадастровая деятельность, экспертные работы, кадастровый аудит

Введение

В соответствии с частью 2 статьи 1 Федерального закона № 218-ФЗ «О государственной регистрации недвижимости» (далее 218-ФЗ) Единый государственный реестр недвижимости (ЕГРН) является сводом достоверных систематизированных сведений об учтенном недвижимом имуществе, о зарегистрированных правах на такое недвижимое имущество, основаниях их возникновения, правообладателях [1].

Обычно под достоверностью информации понимается ее свойство наиболее реально описывать объект. На практике это выражается в наличии (отсутствии) ошибок в информации. При этом использование недостоверной информации приводит к принятию неправильного управленческого решения [2]. От достоверности имеющихся в государственном реестре недвижимости сведений зависит качество предоставления заявителям государственных услуг в сфере кадастрового учета и государственной регистрации прав, сроки осуществления учетно-регистрационных действий, результаты кадастровой оценки и налогообложения недвижимости. Недостоверность указанных сведений приводит к земельным спорам, не гарантирует собственнику недвижимости неоспоримости его

прав, тормозит развитие земельно-имущественных отношений в целом.

Для создания эффективной системы кадастрового учета и регистрации прав, повышения достоверности сведений ЕГРН на протяжении всего периода становления и развития земельно-имущественных отношений в России были приняты различные целевые программы, дорожные карты, стратегии и планы, основными целями которых являются повышение качества оказываемых государственных услуг в области кадастрового учета и регистрации прав, сокращения сроков их проведения, совершенствования процедуры предоставления сведений ЕГРН и других информационных сервисов, активное внесение информации, использование современных цифровых технологий.

Опыт геодезической, землеустроительной и кадастровой деятельности автора (с 2003 г.), практика работы на реальном производстве показывают, что обращения заинтересованных лиц за «приведением объектов недвижимости в порядок» по прежнему значительны и связаны в первую очередь с неожиданно возникшими проблемами при совершении сделок или других регистрационных действиях с уже учтенными в ЕГРН объектами недвижимости, сведения о которых оказываются неполными, противоречивыми, задуб-

лированными, ошибочными и недостоверными в целом. А выявление недостоверных сведений ЕГРН происходит в основном на этапе регистрационно-учетных действий, как правило, без конкретизации алгоритма дальнейших действий, что влечет за собой необходимость обращения к высококвалифицированным специалистам – эксперту, кадастровому инженеру, который выполняет дополнительные геодезические измерения, анализирует архивные документированные сведения о недвижимости, сопоставляет между собой различные характеристики, т. е. фактически проводит научно-исследовательскую работу в данной области. Правообладателям также приходится тратить дополнительное время и средства на решение возникших проблем, что тормозит регистрацию, срывает сделки и в целом оказывает неблагоприятное воздействие на сферу недвижимости.

Необходимость обоснования и дополнения сведений ЕГРН подтверждается и общей позицией органа регистрации права. Например, в московском регионе, несмотря на признание в силу положения закона 218-ФЗ сведений ЕГРН достоверными, при проведении ряда кадастровых работ (преобразовании объектов недвижимости, образовании части под аренду и т. п.) недостаточно оперировать только текущими данными ЕГРН, полученными из выписки, – требуются детальные измерения фактического состояния объекта кадастровых работ для проверки и подтверждения обоснованности и достоверности используемых сведений. Следовательно, текущие сведения ЕГРН об объектах недвижимости не являются полными, их недостаточно для признания обоснованными и достоверными из-за отсутствия в графической части выписок из ЕГРН планировок или недостаточности линейных размеров для обоснования площади и конфигурации помещений в случае, если графическая часть имеется.

Рядом экспертов также отмечается недостаточность набора характеристик в ЕГРН. Сейчас их не хватает для объективности проведения кадастровой оценки, решения задач использования сельскохозяйственных земель и т. п. Вопросы достаточности предусмотренных порядком ведения ЕГРН сведений для ре-

шения задач кадастра как отрасли народного хозяйства не являются предметом разработки автора. В настоящем исследовании автор акцентирует свое внимание на предусмотренном действующим законодательством наборе характеристик объектов недвижимости в ЕГРН и их верификации.

Материалы и методы

Проблемой достоверности сведений ЕГРН занимались такие ученые, как М. П. Дорош [3, 4], Е. И. Аврунев [5], В. А. Середович [6]. В их работах рассматривается верификация и гармонизация данных, переданных в ЕГРН из различных учетно-регистрационных систем, изучаются вопросы анализа и обработки информации, устранения проблемы дублирования записей.

Подходами к разработке критериев оценки качества кадастровых данных посвящены работы следующих ученых: А. П. Карпика, В. Г. Колмогорова, А. В. Рычкова [7]. Одним из показателей качества кадастровых данных является количество ошибок, неточностей, пробелов и пр. (дефектов) в кадастровом описании объектов недвижимости; формулируется перечень такого рода дефектов, оказывающих влияние на сбор земельного налога.

Повышение качества данных ЕГРН рассматривается в научных публикациях А. В. Афанасьевой, А. М. Таранниковой [8], которые посвящены подготовке сведений ГКН и ЕГРП к миграции в ЕГРН, выявлению несовпадающих сведений, определению неполных и дублируемых записей. В работах О. Я. Гладкой, О. В. Гонгоровой, А. В. Вдовенко [9] обозначается важность и своевременность скорейшего исправления сведений ЕГРН.

Внимание правовым последствиям использования недостоверных сведений ЕГРН уделено в трудах Ю. В. Егоровой, В. С. Балакиной [10], А. В. Демкиной, Е. В. Бадулиной [11], в которых рассматривается судебная практика, свидетельствующая о проблемах достоверности сведений ЕГРН, и предлагается внедрение механизмов защиты и компенсации правообладателям, добросовестно полагающимся на данные ЕГРН.

Таким образом, анализ отражения темы в научных публикациях показал следующее:

- достоверность сведений ЕГРН определяется рядом авторов как отсутствие ошибок в записях ФГИС ЕГРН, а критериями достоверности являются гармонизированные и верифицированные между собой сведения ГКН и ЕГРП, объединенные в настоящее время в одну регистрационно-учетную систему;

- другие авторы принимают количество ошибок в записях реестра недвижимости (кадастра недвижимости), оказывающих влияние на фискальную роль ЕГРН, за показатель достоверности сведений ЕГРН.

Внутренние инструментарии гармонизации и верификации записей в ФГИС на данном этапе уже недостаточны и представляются исчерпанными. Они уступают свое место научно-исследовательской экспертной работе с каждым конкретным случаем и объектом. А проблема достоверности сведений ЕГРН в настоящее время в значительной степени отдана на откуп правообладателям, которые за свой счет разбираются с внезапно возникшими трудностями как на этапе регистрации, так и на этапе проведения кадастровых работ при проверке исходных документов и фактического описания объектов недвижимости.

Резюмируя вышеизложенное, определим следующее:

- сведения ЕГРН делятся на два типа: первый – это текущие записи в ФГИС ЕГРН, второй – это архивный массив самых разнообразных по форме и содержанию документов правового и технического характера (правоустанавливающие, инвентаризационные и учетные), потенциально являющихся сведениями о ранее учтенных объектах недвижимости;

- текущие сведения ЕГРН нуждаются в проверке (аудите) для исключения неожиданных проблем при их использовании;

- при этом потенциальные сведения ЕГРН, подготавливаемые для включения в ФГИС ЕГРН, также нуждаются в аудите и научно обоснованной экспертизе, чтобы стать впоследствии достоверными;

- проверка и установление достоверности как текущих, так и потенциальных све-

дений ЕГРН затруднительна и в настоящее время без разработанного понятийного аппарата и методологии проведения соответствующих экспертных работ практически невозможна;

- учитывая комплексность аудита сведений ЕГРН, многообразие документов и характеристик, геодезические измерения, использование пространственных данных, планово-картографических материалов, такого рода экспертные работы должен проводить специалист в данной области науки и практики;

- принимая во внимание современные достижения науки, возникает необходимость в автоматизации экспертных работ.

Результаты

Как отмечено выше, с точки зрения обычного правообладателя или заинтересованного лица, не являющегося специалистом в данной области наук о Земле, достоверность сведений ЕГРН о конкретном объекте недвижимости означает на практике, что они полны, отвечают требованиям законодательства и не возникнет неожиданных проблем в его использовании. Зарегистрированные текущие сведения ЕГРН несут гарантирующую функцию: правообладатель должен быть уверен, что его права никто не оспорит и не возникнет неприятных ситуаций с реализацией своих прав.

С практической позиции для государства достоверность сведений ЕГРН о конкретном объекте недвижимости может определяться тем, что объект должен быть учтен, внесены все его характеристики в соответствии с установленными требованиями законодательства, которые должны соответствовать реальному положению объекта недвижимости, то есть его фактические параметры (этажность, площадь и т. п.) должны совпадать с данными ЕГРН, а права должны быть оформлены надлежащим образом.

Следовательно, понятие достоверности сведений ЕГРН является достаточно обширным, к нему можно подойти с разных сторон. На данный момент автором выделен ряд общих критериев, показанный в таблице.

Критерии достоверности сведений ЕГРН

№ п/п	Критерий	Описание
1	Полнота сведений о характеристиках	В соответствии с порядком ведения ЕГРН
2	Соответствие сведений о характеристиках требованиям законодательства	Характеристики должны отвечать установленным нормативным требованиям (действующие классификаторы, требования к точности и т. п.)
3	Наличие возможных ограничений в использовании	В сведениях ЕГРН может отсутствовать информация о зарегистрированных ограничениях и обременениях. Такие ограничения в использовании выявляются из-за включения объекта недвижимости в различные перечни (выявленные объекты культурного наследия, объекты самовольного строительства и т. п.), попадания в границы различных зон
4	Характеристики должны быть подтверждены и обоснованы документами	Происхождение и значения характеристик должны прослеживаться и объясняться документально
5	Характеристики должны соответствовать реальному положению объекта недвижимости (его количественные и качественные параметры должны совпадать со сведениями ЕГРН)	Достоверность – свойство информации наиболее реально описывать объект. Объект должен соответствовать своим зарегистрированным характеристикам

Следовательно, под достоверностью сведений об учтенном в ЕГРН недвижимом имуществе понимается соответствие сведений о характеристиках объекта недвижимости в ЕГРН критериям достоверности. Такое определение представляется достаточно гибким: критерии могут меняться в зависимости от требований законодательства или общей картины развития регистрационно-учетной системы.

Процедура подтверждения достоверности сведений ЕГРН, к которым относятся не только сведения, непосредственно включенные в реестр, но и подготавливаемые для включения в него, подразумевает обязательное выполнение независимых и всесторонних проверок с целью индивидуализации и определения объекта недвижимости, его характеристик, их соответствие требованиям законодательства. Такие проверки в первую очередь выполняют кадастровый инженер, государственный регистратор, судебный эксперт, обладающие соответствующей квалификацией, знаниями и опытом. Другими словами, проверить все документы и характеристики, разобраться в ситуации с конкретным объектом недвижимости, сделать правильные и обоснованные выводы в современных условиях развития земельно-

имущественной сферы может только эксперт по недвижимости.

Обычно комплекс процедур по независимой и всесторонней проверке данных для целей выражения мнения об их достоверности называют аудитом. Аудит – понятие из финансово-экономической сферы. В России аудит – это независимая проверка финансовой документации в целях выражения мнения о достоверности представленных в ней сведений [12]. Многие зарубежные ученые считают, что «аудит – это процесс, посредством которого компетентный независимый работник (эксперт) накапливает и оценивает свидетельства об информации, поддающейся количественной оценке и относящейся к специфической хозяйственной системе, чтобы определить и выразить в своем заключении степень соответствия этой информации установленным критериям» [13]. Таким образом, определяется основная цель аудита – проверка информации на предмет ее соответствия установленным критериям. И если такая информация полностью удовлетворяет данным критериям, то она является достоверной, а если лишь отчасти, то можно судить о некой степени достоверности. Вместе с тем понятие аудита применимо и в области кадастровой, экспертной деятельности, неизменным спут-

ником которой является всесторонняя и независимая проверка документов и объектов недвижимости на предмет полноты сведений о характеристиках, их соответствие установленным требованиям законодательства, возможным ограничениям в использовании, документальным подтверждениям характеристик и, наконец, соответствие реального положения объекта недвижимости (его фактических параметров, площадь, этажность и т. п.) совокупности задокументированных сведений ЕГРН.

Таким образом, комплекс процедур независимой и всесторонней проверки сведений ЕГРН для установления их достоверности в силу экспертного характера такой деятельности назовем кадастровым аудитом объектов недвижимости.

Обсуждение

С 2018 г. автором разрабатывается проблема автоматических проверок текущих сведений из ЕГРН. В рамках проведенных исследований был разработан метод монодокументального кадастрового аудита объектов недвижимости (по одному документу – выписке из ЕГРН) и создана автоматизированная информационная система «Автоматический кадастровый аудит недвижимого имущества по выписке из ЕГРН» <https://кадастр.москва/check> (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ Федеральной службы по интеллектуальной собственности № 2020611314 от 29.01.2020 «Программа для кадастрового аудита», Атаманов С. А., Григорьев С. А.).

Анализ использования системы кадастрового аудита был выполнен в период 2018–2020 гг. для 50 тыс. выписок из ЕГРН, характеризующих земельные участки, объекты капитального строительства и помещения практически всех регионов России. В результате проведенных автоматических проверок характеристик объектов недвижимости их достоверность была подтверждена для 35 тыс. объектов (70 %), недостоверность – для 15 тыс. объектов (30 %).

Таким образом, практическая реализация методологии кадастрового аудита текущих

сведений ЕГРН с применением системы кадастрового аудита недвижимого имущества по выписке из ЕГРН показала актуальность проблемы исследования достоверности сведений ЕГРН. Наличие подобной недостоверности обусловливается рядом факторов: неполнотой сведений, их несоответствием требованиям законодательства, наличием ограничений в использовании и т. д.

На государственном уровне понимают эту проблему. Тренд экспертных проверок (аудита) текущих сведений ЕГРН подтверждается пилотным проектом Федеральной кадастровой палаты по предоставлению гражданам, юрлицам и индивидуальным предпринимателям экспертно-аналитического заключения о безопасности сделки с объектом недвижимости на основании зарегистрированных сведений ЕГРН. При подготовке заключения специалисты палаты проводят комплексную и систематизированную проверку сведений об объекте недвижимости, позволяющую своевременно выявить возможные пробелы и разработать варианты их устранения. Данная услуга доступна, в частности, с сентября 2020 г. В Ставропольском крае и Астраханской области. Подробнее: <https://kadastr.ru/magazine/news/bezopasna-sdelka-ili-net-fkp-zapustila-pilotnyy-proekt-po-predostavleniyu-ekspertnogo-zaklyucheniya/>.

Разработанные критерии достоверности и система автоматического кадастрового аудита недвижимого имущества по выписке из ЕГРН, сама автоматизированная информационная система кадастрового аудита объектов применимы и в более широком масштабе, например, в органе регистрации права – Росреестре для выборочных проверок характеристик объектов недвижимости.

Актуален данный сервис для правообладателей недвижимости и специалистов: кадастровых инженеров, риелторов, юристов, судебных экспертов. Для правообладателей очевиден стимулирующий эффект использования данного сервиса – это возможность заранее привести свои объекты в порядок; а для экспертов – экономится время и трудозатраты на первичную обработку входящей документации за счет быстрого аудита сведений ЕГРН.

Применение сервиса в кадастровом производстве также повышает эффективность анализа данных кадастровыми инженерами.

Выводы

Автором предложен развивающий существующий понятийный аппарат в отношении достоверности сведений ЕГРН, сформулированы критерии достоверности, охарактеризовано понятие кадастрового аудита объектов недвижимости и показаны его возможности в кадастровом производстве.

Таким образом, достоверность сведений ЕГРН – это соответствие сведений, характеризующих объекты недвижимости в ЕГРН, критериям достоверности. К критериям до-

стоверности сведений ЕГРН отнесены: полнота сведений о характеристиках, их обоснованность юридически значимыми документами, удовлетворение нормативным требованиям, согласованность с реальным положением объекта недвижимости в пространстве, соответствие ранее предложенным научным подходам.

Современным инструментом контроля достоверности определен кадастровый аудит объектов недвижимости – комплекс процедур независимой и всесторонней проверки сведений ЕГРН.

Предложенная терминология формирует научные основы верификации кадастровой информации и методологию экспертной работы с ней.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О государственной регистрации недвижимости [Электронный ресурс] : федер. закон от 13.07.2015 № 218-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Дорош М. П. Разработка методики повышения достоверности кадастровой информации в Едином государственном реестре недвижимости : дисс. ... канд. техн. наук. – Новосибирск, 2018.
3. Дорош М. П. Результаты работ по повышению качества данных в Едином государственном реестре недвижимости на территории Новосибирской области // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 2 т. (г. Новосибирск 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2017. Т. 2. – С. 107–116.
4. Дорош М. П. Определение показателя достоверности кадастровой информации в Едином государственном реестре недвижимости // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопространственное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сб. материалов Национальной науч.-практ. конф. в 2 ч. (г. Новосибирск, 14–15 декабря 2017 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. Ч. 1. – С. 10–16.
5. Аврунев Е. И., Дорош М. П. Разработка информационной модели для повышения достоверности кадастровой информации // Вестник СГУГиТ. – 2018. – Т. 23, № 1. – С. 156–166.
6. Середович В. А., Дорош М. П. Разработка мероприятий по нормализации баз данных Единого государственного реестра прав на недвижимое имущество и сделок с ним и государственного кадастра недвижимости // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» (г. Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.) : сб. материалов в 4 т. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 3. – С. 16–21.
7. Карпик А. П., Колмогоров В. Г., Рычков А. В. Разработка критериев оценки качества кадастровых данных // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 133–136.
8. Афанасьева А. В., Таранникова А. М. Повышение качества кадастровой информации в Едином государственном реестре недвижимости // Вавиловские чтения. – 2019. – Саратов : ООО «Амирит», 2019. – С. 297–300.
9. Гладкая О. Я., Гонгорова О. В., Вдовенко А. В. Полнота и достоверность кадастра – основа качественной системы управления земельными ресурсами // 57-я студенческая науч.-техническая конф. инженерно-строительного института ТОГУ : сборник трудов (г. Хабаровск, 17–27 апреля 2017 г.). – Хабаровск : Тихоокеанский государственный университет, 2017. – С. 73–77.
10. Егорова Ю. В., Балакина В. С. Сведения содержащиеся в ЕГРН: вероятность или достоверность? // Проблемы государственной регистрации недвижимости и кадастрового учета :

сб. материалов IV науч.-практ. конф. / Отв. ред. П. А. Стерхов (г. Иркутск, 07 декабря 2018 г.). – Иркутск : Иркутский институт (филиал) ВГУЮ (РПА Минюста России), 2019. – С. 40–45.

11. Демкина А. В., Бадулина Е. В. Проблема обеспечения достоверности ЕГРН и защиты добросовестного приобретателя недвижимого имущества // Нотариус. – 2016. – № 1. – С. 29–33.

12. Об аудиторской деятельности [Электронный ресурс] : федер. закон от 30.12.2008 № 307-ФЗ. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

13. Алборов Р. А., Концевая С. М., Козменкова С. В. Проблемы развития методологии, метода и методики аудита // Международный бухгалтерский учет. – 2015. – № 36 (378). – С. 47–60.

Получено 25.02.2021

© С. А. Григорьев, 2021

THE ACCURACY OF THE INFORMATION THE EGRN, THE CRITERIA OF ACCURACY USRER DATA RELIABILITY CRITERIA

Sergey A. Grigorev

Moscow State University of Geodesy and Cartography, 4, Gorokhovskiy Pereulok St., Moscow, 105064, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Cadastre and Ground Law, Surveyor, phone: (910)417-14-32, e-mail: vened1147@gmail.com

The article analyses the problem of USRER data reliability. It defines 2 data types: current records and potential records, representing an array of documented data, containing information about previously registered real estate objects. The purpose of the research is substantiated – the development of methods for checking (automated cadastral audit) the reliability of the noted data. The article substantiates the terminological base of the audit and offers the criteria for determining the reliability of USRER data. It also gives a successful example of automated cadastral audit of USRER data and gives the conclusion about the possibility of using the audit in Rosreestr with the purpose of automated checking of real estate objects' characteristics.

Keywords: data reliability, cadastral register, right registration, cadastral activity, expert works, cadastral audit

REFERENCES

1. On state registration of real estate. Federal Law of July 13, 2015 No. 218-FZ. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].

2. Dorosh, M. P. (2018). Development of a methodology for increasing the reliability of cadastral information in the Unified State Register of Real Estate. *Candidate's thesis*. Novosibirsk [in Russian].

3. Dorosh, M. P. (2017). Unified state register of immovable property in Novosibirsk region: data quality improvement. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2017: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodoopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2017: International Scientific Conference: Vol. 2. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management]* (pp. 107–116). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

4. Dorosh, M. P. (2017). Determination of reliability index of cadastral information. In *Sbornik materialov Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii Regulirovanie zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: ch. 1. Pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya [Proceedings of the National Scientific and Practical Conference Regulation of Land and Property Relations in Russia: Part 1. Legal and Geospatial Support, Real Estate Appraisal, Ecology, Technological Solutions]* (pp. 10–16.). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

5. Avrunev, E. I., & Dorosh, M. P. (2018). Design of information model for the purpose of increasing reliability of cadastral information. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 23(1), 156–166 [in Russian].

6. Seredovich, V. A., & Dorosh, M. P. (2015). Development of measures to database normalization of the Unified state register of real property and transactions with him and state real estate cadastre. In *Sbornik*

materialov Interexpo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 3. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management] (pp. 107–116). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

7. Karpik, A. P., Kolmogorov, V. G., & Rychkov, A. V. (2013). Development of criteria for assessing the quality of cadastral data. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka* [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying], S/4, 133–136 [in Russian].

8. Afanasyeva, A. V., & Tarannikova A. M. (2019). Improving the quality of cadastral information in the unified state register of real estate. In *Vavilovskie chteniya – 2019* [Vavilov Readings – 2019] (pp. 297–300). Saratov: LLC "Amirit" [in Russian].

9. Gladkaya, O. Ya., Gongorova, O. V., & Vdovenko, A. V. (2017). Completeness and reliability of the cadastre is the basis of a high-quality land management system. In *Sbornik trudov 57-oy studencheskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii inzhenerno-stroitel'nogo instituta TOGU* [Proceedings of 57th Student Scientific and Technical Conference of the PNU Civil Engineering Institute] (pp. 73–77). Khabarovsk: Pacific State University Publ. [in Russian].

10. Egorova Yu. V., & Balakina V. S. (2019). Information contained in the USRN: probability or reliability? In *Sbornik materialov IV nauchno-prakticheskoy konferentsii: Problemy gosudarstvennoy registratsii nedvizhimosti i kadaastrovogo ucheta* [Proceedings of the IV Scientific and Practical Conference Problems of State Registration of Real Estate and Cadastral Registration] (pp. 40–45). P. A. Sterkhov (Ed.). Irkutsk: Irkutsk Institute (branch) VSUYu (RPA Ministry of Justice of Russia) Publ. [in Russian].

11. Demkina, A. V., & Badulina, E. V. (2016). The problem of ensuring the reliability of the USRN and protecting the bona fide purchaser of real estate. *Notarius* [Notary], 1, 29–33 [in Russian].

12. On auditing. Federal Law of December 30, 2008 No. 307-FZ. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].

13. Alborov, R. A., Kontsevaya, S. M., & Kozmenkova, S. V. (2015). Problems of development of methodology, method and methodology of audit. *Mezhdunarodnyy bukhgalterskiy uchët* [International Accounting], 36(378), 47–60 [in Russian].

Получено 25.02.2021

© S. A. Grigorev, 2021

УДК 528.44:553.9(574)

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-108-123

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ РОЗЫ ВЕТРОВ ПРИ МЕЖЕВАНИИ ЗЕМЕЛЬ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К УГОЛЬНОМУ МЕСТОРОЖДЕНИЮ «КАРАЖЫРА»

Камила Саниярбековна Исабекова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: kamilka_1995@mail.ru

Серикбек Мухаметсадыкович Кудеринов

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры кадастра и территориального планирования, e-mail: kamilka_1995@mail.ru

Назира Адамбековна Кудеринова

Государственный университет им. Шакарима города Семей, 071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20А, кандидат технических наук, зав. кафедрой геодезии и строительства, тел. (7222)42-09-98, e-mail: kudnazira@mail.ru

Рассматривается влияние розы ветров на землях, прилегающих к угольному разрезу «Каражыра» на территории Семипалатинского испытательного ядерного полигона. Предполагается, что влияние розы ветров является важным экологическим фактором кадастровой стоимости загрязненных радионуклидами земельных участков. Целью исследования определена оценка влияния вторичного загрязнения техногенными радионуклидами прилегающей к полигону территории и определение подвижных границ такого загрязнения. Оценка влияния осуществлялась на основе анализа факторов, способствующих распространению загрязнения на самом разрезе и вдоль автодороги, используемой для доставки загрязненного угля в г. Семей. В результате установлены виды работ, влияющих на радиационную обстановку исследуемой территории, определены основные направления воздушных потоков в районе месторождения. Сделан вывод о влиянии обстановки на методику выполнения геодезических работ. Предложены требования к точности определения границ загрязненных земельных участков.

Ключевые слова: Семипалатинский испытательный ядерный полигон, роза ветров, направления воздушных потоков, радиоактивное загрязнение, границы земельных участков, угольное месторождение «Каражыра»

Введение

Угольное месторождение «Каражыра» расположено на территории испытательной площадки «Балапан» Семипалатинского испытательного ядерного полигона (СИЯП), который использовался для испытаний ядерного оружия на протяжении 40 лет [1–3]. На рис. 1, взятом из [2], приведена схема расположения месторождения по отношению ко всей площади полигона.

В результате проведенных испытаний наибольшему загрязнению подверглась Семипалатинская область. Так, на территории площадки «Балапан» в разные годы в «боевых скважинах» было проведено 106 ядерных взрывов [3]. Расстояние от мест проведения ядерных взрывов находится в преде-

лах от 4,7 до 12,4 км [2]. Проведение подземных ядерных взрывов приводило к смещению горных пород, к увеличению раскрытия существовавших до взрыва тектонических трещин и разломов, а также к изменению направления стока поверхностных и подземных вод.

В результате этих испытаний значительному загрязнению подверглись и воды, в основном радионуклидом техногенного происхождения тритием, в районе, где непосредственно проводились взрывы [2]. Загрязнению также подвергались залежи различных полезных ископаемых, в частности, залежи угля. Необходимо отметить, что на территории СИЯП имеются залежи золота, серебра, марганца, вольфрама, цинка, никеля и других металлов.

Рис. 1. Территория Семипалатинского испытательного ядерного полигона

Уголь данного месторождения является главным источником энергообеспечения для Восточного Казахстана, а также используется в промышленности региона и для бытовых нужд. Добыча угля производится открытым способом, после чего он перевозится на значительные расстояния за пределы полигона.

Основными потребителями угля являются промышленные предприятия Семипалатинска и прилегающие к нему разные по численности населенные пункты.

Особенностью данного месторождения является то обстоятельство, что раньше оно

находилось в строго охраняемой зоне, на территории которой в воздухе, на поверхности земли и под землей производились испытания ядерных зарядов и боеприпасов [2].

После закрытия полигона в 1991 г. [3] прекратилась охрана его границ и практически вся территория (18 500 кв. км) начала использоваться для хозяйственной деятельности. На первом этапе после его закрытия на некоторой части территории производился выпас скота и заготовка кормов, а в настоящее время начала производиться добыча полезных ископаемых, в частности, каменного угля [4].

Современный статус СИЯП определяется постановлением Правительства Республики Казахстан от 07.02.1996 № 172, решением которого земли полигона переведены в состав земель запаса. В настоящее время эти земли в установленном законом порядке могут предоставляться для нужд сельского хозяйства, промышленности и иных целей. Вместе с тем земельные участки, которые подверглись значительному радиоактивному загрязнению, исключены из сельскохозяйственного и иного оборота и подлежат консервации.

Также для обеспечения радиационной безопасности на территории полигона нормативными документами [5, 6] Кабинета Министров Республики Казахстан (РК) предписывается проведение регулярного радиационного контроля, так как при проведении испытаний загрязнению подвергались воздушный бассейн, дневная поверхность земли и подземная геологическая среда. Загрязненные радионуклидами потоки воздуха перемещались в различных направлениях, и их следы имели ширину до 15 км и длину свыше 100 км. Интенсивность последующего выпадения радионуклидов на локальных земельных участках в значительной степени зависело от дождевых осадков, и она была неравномерна. После выпадения радионуклидов на земную поверхность они проникали в почву на определенную глубину.

Также радиоактивные осадки выпадали и на территории месторождения «Каражыра». При добыче угля открытым способом производятся вскрышные работы, в результате чего образуется пыль с содержанием радионуклидов, которая затем распространяется с потоками воздуха по разным направлениям. В данном случае определенная часть радионуклидов также попадала и на угольные пласты, поэтому при добыче угля образуется угольная пыль, которая в определенной концентрации содержит в себе радионуклиды. Суммарное влияние на радиационную обстановку в районе угольного месторождения «Каражыра» оказывает воздушный перенос радионуклидов с других территорий поли-

гона, а также загрязненные подземные и поверхностные воды.

В связи с этим важным вопросом пользования месторождением «Каражыра» является оценка степени влияния вторичного загрязнения прилегающей к нему территории и определение границ этого загрязнения, а также динамики их расширения. Также необходимо отметить, что на данный момент в мировой практике нет аналогов добычи полезных ископаемых, залежи которых находятся на территории проведенных ранее ядерных испытаний, а также в непосредственной близости от мест их проведения [7].

Методы и материалы

При добыче угля открытым способом производятся следующие основные виды работ, которые оказывают влияние на радиационную обстановку окружающей среды (рис. 2):

- разработка вскрышных пород и их последующее складирование;
- добыча угля и его складирование;
- транспортировка угля потребителям и его использование;
- рекультивация отдельных земельных участков угольного месторождения.

При разработке вскрышных пород и их последующем складировании происходит пылеобразование, в результате которого имеющиеся в них радионуклиды техногенного происхождения (от проводимых ранее воздушных, наземных, надземных и подземных взрывов) воздушными потоками переносятся на близлежащие земельные участки, вследствие чего происходит неоднократное вторичное их загрязнение. При этом такое загрязнение происходит как в пределах границ отведенного земельного участка собственно месторождения «Каражыра», так и за его пределами. Это обстоятельство оказывает влияние на социальную обстановку проживающего там населения и, следовательно, на кадастровую стоимость прилегающих к месторождению земельных участков, а также на инвестиционную привлекательность данного региона.

Рис. 2. Влияние загрязнения радионуклидами земельного участка месторождения «Каражыра»

Добыча угля оказывает заметное влияние на миграцию загрязненных радионуклидами подземных вод. Если геологическая среда не нарушена, то загрязнение смежных земельных участков такой миграцией может проявиться через десятки или сотни лет. Однако при нарушении геологической среды (в нашем случае угольных пластов) этот процесс может значительно ускориться, особенно при наличии интенсивных осадков и поверхностных вод в весенне-осенний период. Также при разработке карьера глубиной до 200 м будет происходить усиление процесса миграции загрязненных подземных вод в сторону данного месторождения [2]. В связи с тем, что утвержденные запасы данного месторождения составляют 1,2 млрд т и его добыча будет продолжаться несколько десятилетий, то следует ожидать значительного увеличения притока загрязненных подземных вод.

При транспортировке угля потребителям железнодорожным или автомобильным транспортом будет происходить частичное загрязнение прилегающих к дорогам земельных участков. В связи с тем, что население частного сектора г. Семипалатинска и других пунктов для отопления потребляет уголь, то постепенному загрязнению также будут подвергаться данные территории, особенно в местах расположения котельных.

Рекультивация отдельных земельных участков любого угольного месторождения, согласно требованиям нормативных доку-

ментов, осуществляется после завершения эксплуатации всего карьера или его части. Она может проводиться путем частичной обратной засыпки его верхним плодородным слоем земли или образованием пруда.

В первом случае будет использоваться верхний загрязненный слой земли, который хранился в отвалах. При его перевозке и укладке возможно повторное локальное пылеобразование с последующим переносом части радионуклидов на прилегающие земельные участки.

При образовании пруда он постепенно будет заполняться загрязненными подземными и поверхностными водами. В этом случае концентрация техногенных радионуклидов будет постепенно увеличиваться.

Вместе с тем необходимо отметить, что и после проведения рекультивации данной части карьера будет происходить его многократное вторичное загрязнение вследствие влияния следующих основных факторов (рис. 3):

- дыма, который образуется от частых степных пожаров, а также снежных и пыльных бурь;
- пыли от ближайшего разрабатываемого участка угольного карьера;
- переноса ветром сухой травы и листьев;
- сельскохозяйственной деятельности на прилегающей территории (площадь обрабатываемых участков может достигать нескольких десятков тысяч гектар) [8–14].

Рис. 3. Причины вторичного загрязнения рекультивируемого участка карьера

Результаты

Так как территория, на которой находится данное месторождение угля, имеет сравнительно бедную растительность, то перенос частиц техногенных радионуклидов с пылью и снегом происходит быстрее на практически

ровной степной поверхности. С учетом этого рассмотрим направление воздушных потоков, которые господствуют в районе данного месторождения.

В табл. 1 приведены данные по направлению перемещения воздушных масс в летний и зимний периоды.

Таблица 1

Направление перемещения воздушных масс

№	Направление ветра	Декабрь	Январь	Февраль	Направление ветра за квартал	Июнь	Июль	Август	Направление ветра за квартал
1	Штиль	3	6	3	4	4	7	9	6,7
2	Юго-запад	3	4	2	3	1	1	–	0,7
3	Юго-восток	4	1	3	2,7	1	1	–	0,7
4	Юг	10	11	10	10,3	2	3	3	2,7
5	Запад	3	1	3	2,3	5	3	4	4
6	Восток	3	8	7	6	3	1	1	1,7
7	Северо-запад	–	–	1	0,3	1	3	1	1,7
8	Север	–	–	–	–	12	11	11	11,3
9	Северо-восток	–	–	–	–	–	1	1	0,7

На рис. 4 и 5 приведены розы ветров для летнего и зимнего периодов года, из которых следует, что они значительно меняются.

Так как испытательная площадка «Балапан» находится на западной границе СИЯП, то в этом случае восточное вторжение воздушных масс будет переносить техногенные радионуклиды вглубь территории полигона. В этом случае месторождение «Каражыра», которое находится западнее и севернее испытательных скважин, также будет подвергаться этому влиянию.

Южное направление вторжения воздушных масс также будет переносить техногенные включения на территорию месторождения.

Восточное и южное направления характеризуются незначительным количеством выпадаемых осадков. При этом в летний период дополнительное влияние будет оказывать дым от периодически возникающих степных пожаров.

Западное вторжение воздушных масс будет происходить со стороны месторождения в направлении испытательных площадок и далее на прилегающую к полигону территорию. Оно сопровождается осадками, порой значительными, а также порывами ветра. Поэтому при наличии осадков происходит также оседание по пути распространения ветрового потока радионуклидов на прилегающие к поли-

гону земельные участки. Непосредственно на месторождение западные ветры не будут оказывать заметного влияния.

Северное и северо-западное вторжение характеризуется проникновением холодных воздушных масс с территории РФ, которые также приносят осадки в виде дождя и снега. На рис. 6 приведены сведения по количеству дней перемещения воздушных масс для каждого из направлений в течение всего года.

Из рассмотренного выше следует, что в условиях степной зоны на распространение техногенных радионуклидов большое влияние оказывает перемещение воздушных масс. Это влияние усиливается при проведении работ на угольных карьерах.

На основании этих данных составлены схемы направления розы ветров для зимнего (рис. 7) и летнего (рис. 8) периодов года.

Рис. 4. Летняя роза ветров в районе угольного месторождения «Каражыра»

Рис. 5. Зимняя роза ветров в районе угольного месторождения «Каражыра»

Рис. 6. Анализ розы ветров на период «зима – лето» 2019–2020 гг.

а)

б)

Рис. 7. Роза ветров на зимний период месторождения «Каражыра»:

а) направление розы ветров в районе расположения СИЯП; б) направление розы ветров непосредственно в районе расположения месторождения

а)

б)

Рис. 8. Роза ветров на летний период месторождения «Каражыра»: а) направление розы ветров в районе расположения СИЯП; б) направление розы ветров в районе расположения месторождения

Рассмотрим далее геодезические и кадастровые работы, которые необходимо выполнять на угольных карьерах.

Частью проводимых на месторождении работ являются геодезические работы, которые включают в себя:

- рекогносцировку и создание планово-высотного геодезического обоснования;
- определение границ месторождения для целей уточнения разведанных объемов угля и отвода земель для его разработки (кадастровые работы);
- производство геодезических работ по определению объемов выработки и деформационного состояния бортов карьеров;
- создание планов масштаба 1 : 500.

При выполнении данных геодезических работ также должны соблюдаться требования нормативных документов [15–19] в отношении обеспечения радиационной безопасности геодезической бригады на всех этапах работы (рис. 9). Так, при проведении рекогносцировки и закладки пунктов планово-высотного обоснования производится выемка грунта с последующей его обратной засыпкой и утрамбовкой, что приводит в летний период года к пылеобразованию. В связи с этим необходимо предусматривать применение такой конструкции пункта, установка которого потребует минимальной работы с грунтом. Такой конструкцией может быть пункт № 143 или 162 [7].

Рис. 9. Влияние загрязнения радионуклидами земельного участка месторождения «Каражыра»

Для решения указанных выше задач в районе месторождения необходимо развивать планово-высотное геодезическое обоснование. Так, для выполнения кадастровых работ в РК создаются опорные межевые сети (ОМС) трех разрядов: первый разряд – ОМС-5, второй – ОМС-10 и третий – ОМС-50 [20]. Величина СКО взаимного положения смежных пунктов этих сетей не должна превышать 5, 10 и 50 см соответственно. Исходной геодезической основой для создания таких сетей служат пункты государственной геодезической сети всех классов, а также сети в системе WGS-84. Плоские прямоугольные координаты пунктов ОМС всех разрядов определя-

ются в местной системе координат, которая связывается с государственной системой координат, и вычисляются в проекции Гаусса – Крюгера.

Опорная межевая сеть первого разряда (ОМС-5) создается в черте городов, а также поселков городского типа с плотностью пунктов не менее чем один на 1 кв. км. Пункты ОМС-5 могут использоваться как исходные для определения координат пунктов ОМС-10 и ОМС-50, а также характерных точек отведенного земельного участка (территории). В связи с большим объемом работ на месторождении «Каражыра», а также с интенсивным движением транспорта, считаем необхо-

димым увеличить плотность этих пунктов до двух-трех. С целью увеличения количества пунктов ОМС-5 можно использовать имеющиеся пункты опорной маркшейдерской сети месторождения.

Опорная межевая сеть второго разряда (ОМС-10) создается в границах пригородных зон и сельских населенных пунктов. Плотность данной сети должна составлять не менее одного пункта на 2 кв. км или не менее четырех на каждый населенный пункт. Применительно к месторождению «Каражыра» пункты ОМС-10 могут использоваться для определения координат разрабатываемого карьера или его части (для составления межевого плана). Также в качестве пунктов ОМС-10 можно использовать имеющиеся пункты опорной или съёмочной маркшейдерской сети месторождения.

Опорная межевая сеть третьего разряда (ОМС-50) создается на землях сельскохозяйственного назначения, водного и лесного фондов, землях запаса, а также землях подобного типа. Так как земли СИЯП относятся в основном к землям запаса, то применение сети данной точности целесообразно на прилегающих к данному месторождению земельных участках. Плотность создаваемой сети должна составлять не менее чем один пункт на 5 кв. км. В качестве пунктов данной сети можно использовать любые имеющиеся на данной территории пункты.

Предлагаемое нами увеличение количества пунктов (или использование других) продиктовано еще и условиями выполнения

геодезических работ. Если, например, во время выполнения полевых геодезических работ в данный момент времени имеет место интенсивное пылеобразование или степной пожар, то в этом случае имеется возможность использовать пункты обоснования, которые не находятся в зоне этого влияния.

Важным фактором ведения кадастровых работ на месторождении «Каражыра» является необходимость их производства и на автомобильных дорогах, соединяющих его с потребителями угля. В связи с тем, что перевозка угля будет происходить несколько десятилетий, то прилегающие к дорогам земельные участки также будут подвергаться постепенному загрязнению. Поэтому проводимые кадастровые работы вдоль этих дорог должны также содержать в своих межевых планах сведения об уровнях их загрязнения, а также и прилегающих земельных участков.

В связи с тем, что на земельных участках, находящихся на территории СИЯП, имеют место точечные загрязнения различной интенсивности [20], они должны иметь свои координаты местоположения, указываться в пояснительных записках межевых планов и отмечаться в графических документах. Кроме того, неопределенное количество времени будут сохраняться выходы испытательных скважин и штолен. С учетом этого нами рекомендуется дополнить существующие требования [21] к точности межевания земельных участков требованиями к точности межевания (установления координат) указанных объектов (табл. 2).

Таблица 2

Средние квадратические ошибки определения координат объектов, загрязненных техногенными радионуклидами

Вид характерной точки	СКО местоположения характерных точек, не более, м
Испытательные скважины:	
– середина скважины;	0,01
– локальный загрязненный участок вокруг скважины;	0,10
– воронка оседания	0,10
Точечное загрязнение земельного участка	0,10
Границы земельного участка месторождения	0,50
Границы отвала вскрышных пород	0,50
Границы рекультивируемого карьера	0,50

Выполним обоснование предложенных величин СКО координирования локальных характерных точек.

Величина СКО определения координат середины испытательной скважины, равная $m = 10,0$ мм, обусловлена тем, что после закрытия полигона производится мониторинг ее планово-высотного положения. По характеру ее смещения делается заключение о процессах, происходящих на глубине произведенного подземного ядерного взрыва. В работе [2] указывается, что одним из основных последствий, возникающих после проведенных взрывов в углесодержащих горных породах, является газовыделение, а также образование необрушенных полостей. Поэтому с целью определения деформационного состояния скважин необходимо выполнять высокоточные инженерно-геодезические работы. В этом случае с применением высокоточных тахеометров величину СКО определения координат центра скважин можно найти по формуле

$$m_p^2 = m_l^2 + \left(\frac{m_b}{p}\right)^2 l^2 + m_{ц.р.}^2 + m_u^2 + m_\phi^2,$$

где m_l – ошибка измерения расстояния; m_b – ошибка измерения угла; $m_{ц.р.}$ – ошибка за влияние центрирования и редукиции; m_u – ошибка исходных данных; m_ϕ – ошибка фиксации центра скважины.

В этом случае при $L = 200,0$ м, $m_u = 1,0$ мм, $m_l = 2,0$ мм, $m_\phi = 1,0$ мм, $m_{ц.р.} = 1,0$ мм, $m_b = 2,0''$ получим $m_p = 3,5$ мм. Тогда предельное значение СКО не будет превышать $m_p = 10,0$ мм, что соответствует рекомендуемому нами значению.

В связи с тем, что что выделение газов из испытательных скважин на дневную поверхность происходит на локальных участках радиусом до 100 м [2], с целью исключения влияния излучения на геодезическую бригаду измерения тахеометром необходимо производить в безотражательном режиме или использовать защитные костюмы. Для обеспечения точности измерений и удобства их выполнения в безотражательном режиме также необ-

ходимо закрепить по центру скважин (воронки) светоотражающие пленки.

Так как после проведения испытаний скважин образуются воронки глубиной от 10 до 30 м и диаметром от 10 до 250 м, то для слежения за динамикой развития деформационных процессов был проведен комплекс геодезических работ [22]. Для этого по краям воронки и на ее дне были установлены пункты, координаты которых определялись высокоточным тахеометром с СКО порядка 5,0–7,0 мм. Полученные данные СКО измерений соответствуют нашим предложениям.

Величина СКО определения координат границ загрязненного участка вокруг скважины, равная $m = 50,0$ мм обусловлена сравнительно небольшим радиусом локального участка земли, где происходит выделение газов. В таком случае среднюю величину фиксации границы этого участка вокруг скважины можно принять равную $m_\phi = 30–50$ мм. Тогда величина СКО при $m_l = 200,0$ м будет равна 45–60 мм, а предельная не более 80–100,0 мм.

С целью обеспечения радиационной безопасности во время фиксации границ выделения газов необходимо использовать защитные костюмы.

Точечное загрязнение земельного участка возникало при нештатных ситуациях во время проведения испытаний и сопровождалось выбросом грунта из скважины. В связи с этим все такие точечные загрязнения должны быть обнаружены и отображены в документах межевого плана в графической форме. Кроме того, их местоположение необходимо рассматривать как положение характерных точек, имеющих свои координаты. Учитывая небольшие по площади (несколько десятков квадратных метров) размеры загрязнения, рекомендуемая величина СКО позволит с необходимой точностью определить его границы.

Значения СКО для определения границ земельного участка соответствуют существующим требованиям [21, 23]. В связи с тем, что месторождение угля и образуемый отвал вскрышных пород не имеют четких границ, рекомендуемая величина 0,50 м также будет соответствовать требованиям [21].

Для объективного суждения об уровнях загрязнения и отображения этих данных в межевых планах необходимо проводить детальный мониторинг, который является низшим уровнем всей цепочки его проведения. Он обычно реализуется в пределах отдельных хозяйственных объектов и входит в состав мониторинга локального уровня. Применительно к угольному месторождению детальному радиационному мониторингу для целей составления межевого плана необходимо подвергать:

- участок территории, расположенной между площадкой «Балапан» и данным месторождением;
- утвержденные границы собственно месторождения;
- границы отвала вскрышных пород;
- прилегающие к месторождению земельные участки;
- автомобильные и проселочные дороги, ведущие к месторождению.

Заключение

В результате выполненных исследований рассмотрено влияние розы ветров на выполнение геодезических и кадастровых работ на угольном месторождении. Установлено, что на методику выполнения геодезических работ будет оказывать влияние уровень загрязнения территории техногенными радионуклидами. Применительно для целей составления межевого плана в районе испытательных скважин предложены требования к точности определения границ загрязненных зе-

мельных участков. Это позволит обеспечить радиационную безопасность выполняемых рядом различных работ.

С учетом этого предлагается дополнять состав межевых планов сведениями, которые относятся к специфике загрязненных территорий. Перечень таких дополнений следующий:

- 1) кадастровый номер и дата постановки на учет месторождения;
- 2) границы земельного участка, отведенного под разработку угольного месторождения;
- 3) площадь угольного месторождения;
- 4) площадь отвала вскрышных пород;
- 5) уровень загрязнения техногенными радионуклидами;
- 6) направления розы ветров в течение года;
- 7) расстояние от испытательных скважин;
- 8) способ добычи и транспортировки угля;
- 9) рельеф местности, прилегающей к полигону;
- 10) рельеф земельного участка;
- 11) уровень загрязнения подземных вод;
- 12) наличие смежных природных и промышленных объектов (скважин);
- 13) категория земель;
- 14) разрешенное использование;
- 15) вид хозяйственной деятельности.

Принятие данных рекомендаций позволит более достоверно устанавливать кадастровую стоимость загрязненных земельных участков, вести мониторинг изменения уровня их загрязнения, устанавливать (изменять) вид хозяйственной деятельности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана // Сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан за 2010 г. / Под рук. С. Н. Лукашенко – Павлодар : Дом печати, 2011. – Вып. 3, т. 2. – С. 251–273.
2. Субботин С. Б., Лукашенко С. Н., Айдарханов А. О. и др. Радиоэкологическое состояние территории угольного месторождения «Каражыра» // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана : сб. тр. Национального ядерного центра Республики Казахстан. – Курчатов, 2011. – Т. 1, вып. 3. – С. 289–333.
3. Лукашенко С. Н., Стрильчук Ю. Г., Субботин С. Б. и др. Семипалатинский испытательный полигон. – Курчатов : Дом печати, 2011. – 48 с.
4. Обеспечение радиационной безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона. Республиканская бюджетная программа 038 / Информационный отчет / Институт радиационной безопасности и экологии (ИРБЭ); рук. Ю. Г. Стрильчук. – Курчатов, 2011. – С. 73.

5. Об утверждении критериев оценки экологической обстановки территорий : Постановление Кабинета Министров РК № 653 от 31.07.2007 [Электронный ресурс]. – Доступ из информ.-правовой системы «Адилет».
6. Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности : постановление Правительства РК № 202 от 03.02.2012 [Электронный ресурс]. – Доступ из информ.-правовой системы «Адилет».
7. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической сети. – М. : Картгеоцентр-геоиздат, 1993. – С. 104.
8. Какимов А. К., Пошивайло Я. Г., Ахметов Б. Ж., Кудеринова Н. А., Минаева М. А. Влияние розы ветров на хозяйственную деятельность на землях, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 1. – С. 24–28.
9. Уставич Г. А., Батуев А. Р., Пошивайло Я. Г., Ахметов Б. Ж. Учет влияния розы ветров при картографировании и межевании земель, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 123–126.
10. Уставич Г. А., Пошивайло Я. Г., Ахметов Б. Ж., Пошивайло А. О. Особенности создания межевых планов земельных участков загрязненных радионуклидами // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, Геоинформатика, Картография, Маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 22–26 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 70–75.
11. Уставич Г. А. Совершенствование структуры топографических планов для целей государственного кадастра недвижимости // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 136–139.
12. Уставич Г. А. Разработка содержания межевого плана при межевании загрязненных радионуклидами земель, прилегающих к Семипалатинскому испытательному полигону // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 5/С. – С. 57–61.
13. Уставич Г. А., Пошивайло Я. Г., Дубровский А. В., Ахметов Б. Ж., Пошивайло А. О. Зонирование и межевание земель, прилегающих к ядерным полигонам, для целей хозяйственного использования (на примере Семипалатинского испытательного ядерного полигона) // Вестник СГУГиТ. – 2016. – Вып. 4(36). – С. 145–157.
14. Яковенко А. М., Уставич Г. А. Создание планово-высотного обоснования для топографо-геодезических работ в условиях радиационного загрязнения территорий Семипалатинского испытательного полигона // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 57–62.
15. Гигиенические нормативы «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» [Электронный ресурс] : утверждены постановлением Правительства РК от 03.02.2012 № 201. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
16. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности» : утверждены постановлением правительства РК, от 03.02.2012 № 202. [Электронный ресурс]. – Доступ из информ.-правовой системы «Адилет».
17. Земельный кодекс : закон Республики Казахстан № 442-III-ЗРК // Ведомости Парламента Республики Казахстан. – 2003. – № 13. – Ст. 99.
18. ГКИНП 01-006-03. Основные положения об опорной межевой сети / Федеральная служба геодезии и картографии России. – М. : Росземкадастр, 2002. – 16 с.
19. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
20. Инструкция по выполнению земельно-кадастровых работ / Агентство Республики Казахстан по управлению земельными ресурсами. – Алматы, Казгосзем, 1999. – 41 с.
21. Комов Н. В. Инструкция по межеванию земель / Комитет РФ по земельным ресурсам и землеустройству. – М. : Госкомзем, 1996. – 32 с.
22. Субботин С. Б., Лукашенко С. Н., Генова С. В. и др. Оценка возможностей протекания процессов катастрофического характера на площадке «Балапан» // Актуальные вопросы радиоэкологии Ка-

захстана : сб. трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. – Вып. 2. – С. 401–448.

23. Антонович К. М. Геопространственное обеспечение землеустроительных и кадастровых работ // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2012. – № 2/1. – С. 139–143.

Получено 26.03.2021

© К. С. Исабекова, С. М. Кудеринов, Н. А. Кудеринова, 2021

TAKING INTO ACCOUNT THE INFLUENCE OF WIND ROSE DURING THE DIVISION OF LANDS, ADJACENT TO THE "KARAZHYRA" COAL DEPOSIT

Kamila S. Issabekova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, e-mail: kamilka_1995@mail.ru

Serikbek M. Kuderinov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, e-mail: kamilka_1995@mail.ru

Nazira A. Kuderinova

The Semey State University named after Shakarim, 20A, Glinka St., Semey, 071412, Kazakhstan Republic, Ph. D., Head of Department Chair of Geodesy and Construction, phone: (7222)358-438, e-mail: kudnazira@mail.ru

The article considers the influence of the wind rose on the lands adjacent to the Karazhyra coal mine on the territory of the Semipalatinsk nuclear test site. It is assumed that the influence of the wind rose is an important environmental factor in the cadastral value of land contaminated with radionuclides. The purpose of the study is to assess the impact of secondary pollution by technogenic radionuclides on the territory adjacent to the nuclear test site and to determine the movable boundaries of such pollution. The impact assessment was carried out on the basis of an analysis of the factors contributing to the spread of pollution at the mine itself and along the road used to deliver contaminated coal to Semey. As a result, the types of work affecting the radiation situation in the study area were identified, the main directions of air flows in the field area were determined. The conclusion is made about the influence of the situation on the methodology for performing geodetic works. Requirements for the accuracy of determining the boundaries of contaminated land plots are proposed.

Keywords: Semipalatinsk nuclear test site, wind rose, directions of air flows, radioactive contamination, land plot boundaries, Karazhyra coal field

REFERENCES

1. Actual issues of radioecology of Kazakhstan (2011). In *Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan za 2010 g: Vyp. 3, t. 2* [Proceedings of Works by the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan for 2010: Issue 3, Vol. 2] (pp. 251–273). S. N. Lukashenko (Ed.). Pavlodar: Dom pechati Publ. [in Russian].
2. Subbotin, S. B., Lukashenko, S. N., Aydarthanov, A. O., & et al. (2011). Radioecological consist of territory of the coal deposit "Karazhira". In *Sbornik trudov Natsional'nogo yadernogo tsentra Respubliki Kazakhstan: T. 1, vyp. 3. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana* [Proceedings of the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan: Vol. 1, Issue 3. Actual Issues of Radioecology in Kazakhstan] (pp. 251–273). Kurchatov [in Russian].
3. Lukashenko, S. N., Strilchuk, Yu. G., Subbotin, S. B., & et al. (2011). *Semipalatinskiy ispytatel'nyy polygon* [Semipalatinsky testing polygon]. Kurchatov: "Dom pechati" Publ., 48 p [in Russian].

4. Information Report. (2011). Ensuring the radiation security of the former Semipalatinsky tester-based polygon. Republican Budget Program 038. Institute of Radiation Security and Ecology (IRBE). Yu. G. Strilchuk (Hands.). Kurchatov, P. 73 [in Russian].
5. Post-Novostivka Cabinet of Ministers of Kazakhstan No. 653 of July 31, 2007. On approval of the criteria for evaluating the environmental situation of the territories. Retrieved from Adilet online database [in Russian].
6. Decree of the Government of Kazakhstan No. 202 of February 3, 2012. Sanitary and epidemiological requirements for radiation safety. Retrieved from Adilet online database [in Russian].
7. *Pravila zakladki tsentrov i reperov na punktakh geodezicheskoy seti [Rules of laying centers and references at the geodetic network]*. (1993). Moscow: Kartgeotsentr-geoizdat, P. 104 [in Russian].
8. Kakimov, A. K., Sewing, Ya. G., Akhmetov, B. J., Kudirina, N. A., & Minaeva, M. A. (2013). Influence of the wind roses on economic activities on the lands adjacent to the Semipala-TIN test site. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 24–28). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
9. Ustavich, G. A., Batuev, A. R., Poshivailo, Ya. G., & Akhmetov, B. Zh. (2013). Accounting for the influence of roses of vet-docks when mapping and land surveying, adjacent to the Semipalatinsky Trial Polygon. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 4/S, 123–126 [in Russian].
10. Ustavich, G. A., Poshivailo, Ya. G., Akhmetov, B. Zh., & Poshivailo, A. O. (2016). Features of the CO-building of land plans of land polluted radionuclides. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2016: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 70–75). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
11. Ustavich, G. A. (2012). Improvement of the structure of topographic plans for the purposes of the state cadastre of real estate. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 2/1, 136–139 [in Russian].
12. Ustavich, G. A. (2015). Development of the content of the boundary plan for land surveying contaminated with radio nuclides adjacent to the Semipalatinsk test site. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 5/S, 57–61 [in Russian].
13. Ustavich, G. A., Poshivailo, Ya. G., Dubrovsky, A. V., Akhmetov, B. Zh., & Poshivailo, A. O. (2016). Zoning and delimitation lands, adjacent to nuclear test sites, for purposes of commercial using (for example Semipalatinsk test site territory). *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 4(36), 145–157 [in Russian].
14. Yakovenko, A. M., & Ustavich, G. A. (2014). Creation of a planned-high-altitude justification for topographic and geodetic works in conditions of radiation contamination of the territories of the Semipalatinsk test site. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 57–62). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
15. Hygienic standards "Sanitary and epidemiological requirements for ensuring radiation safety". Approved by the Government of the Republic of Kazakhstan of February 03, 2012 No. 201. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
16. Sanitary Rules "Sanitary and Epidemiological Requirements for Radiation Safety". Approved by the Decree of the Government of the Republic of Kazakhstan of February 03, 2012 No. 202. Retrieved from Adilet online database [in Russian].
17. Land Code: Law of the Republic of Kazakhstan No. 442-III-VPC. (2003). *Vedomosti Parlamenta Respubliki Kazakhstan [Bulletin of the Parliament of the Republic of Kazakhstan]*, No. 13, Art. 99 [in Russian].
18. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. (2002). GKINP 01-006-03. The main provisions on the supporting partial network. Federal Surveying Service and Cartography of Russia. Moscow: Ruszkadaster, 16 p [in Russian].
19. Geodetic, Cartographic Instructions, Norms and Regulations. GKINP (ONTA) -02-262-02. Instructions for the development of film development and shooting situations and relief using global navigation satellite GLONASS and GPS systems. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
20. *Instruktsiya po vypolneniyu zemel'no-kadastrykh rabot [Instructions for the implementation of land-cadastral works]*. (1999). Almaty: Kazgoszem, 41 p. [in Russian].

21. Komov, N. V. (1996). *Instruktsiya po mezhevaniyu zemel'* [Instructions for land survey]. Moscow: Goskomzem, 32 p. [in Russian].
22. Subbotin, S. B., Lukashenko, S. N., Genova, S. V., & et al. Assessment of the possibilities of protein of catastrophic processes at the site "Balapan". In *Sbornik trudov Instituta radiatsionnoy bezopasnosti i ekologii za 2007–2009: Vyp. 2. Aktual'nye voprosy radioekologii Kazakhstana* [Proceedings of the Institute of Radiation Safety and Ecologia for 2007–2009: Issue 2. Actual Issues of Radioecology in Kazakhstan] (pp. 401–448) [in Russian].
23. Antonovich, K. M. (2012). Geospatial support of land management and cadastral works. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka* [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying], 2/1, 139–143 [in Russian].

Received 26.03.2021

© K. S. Issabekova, S. M. Kuderinov, N. A. Kuderinova, 2021

УДК 332.62:502.3

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-124-135

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НА КАДАСТРОВУЮ СТОИМОСТЬ ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПОД ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО В ГРАНИЦАХ ПРИДОРОЖНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ФЕДЕРАЛЬНОЙ ТРАССЫ «ТАВРИДА»

Александр Юрьевич Мельничук

Агротехнологическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», 295492, Россия, г. Симферополь, пгт. Аграрное, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой землеустройства и кадастра, e-mail: omelnichuk61@mail.ru

Екатерина Вячеславовна Антоненко

Агротехнологическая академия ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского», 295492, Россия, г. Симферополь, пгт. Аграрное, аспирант кафедры землеустройства и кадастра, e-mail: antonenkatrina87@gmail.com

Экологические проблемы транспортного воздействия на окружающую природную среду в России не теряют своей актуальности. Автомобильный транспорт лидирует среди источников загрязнения окружающей среды, а количество выбросов может достигать 90 %. Данные процессы активно проявляются в границах влияния автомобильных дорог с высокой интенсивностью движения. Таким образом, особую актуальность приобретают задачи по учету уровня загрязненности приземного слоя атмосферы для уточнения кадастровой стоимости земель, расположенных в границах придорожных территорий. В работе использованы математические модели для расчета мощности эмиссии и приземных концентраций загрязняющего вещества (модель атмосферной диффузии Гаусса). Методом интерполяции определены поправочные коэффициенты для различных зон загрязнения оксидом углерода. Авторами рассмотрена степень загрязнения придорожных территорий оксидом углерода и установлено, что на участке федеральной трассы «Таврида» (пгт. Зуя) в зоне повышенного загрязнения расположен 121 земельный участок, из них более 60 % имеют вид разрешенного использования «индивидуальное жилищное строительство» (ИЖС), поэтому представляется необходимым скорректировать кадастровую стоимость объектов недвижимости с учетом загрязнения атмосферного воздуха. Полученные результаты позволяют уточнить локальные поправочные коэффициенты, применяемые при кадастровой оценке для придорожных территорий.

Ключевые слова: загрязнение атмосферного воздуха, автомобильная дорога, придорожные территории, земельно-оценочные работы, кадастровая оценка земель, индивидуальное жилищное строительство, ценообразующий фактор, локальный корректирующий коэффициент

Введение

Общеизвестно, что автомобильный транспорт является лидером по загрязнению различных природных сред (воздушной, почвенной, водной), увеличение количества автомобилей приводит к шумовому и вибрационному загрязнению придорожных территорий [1].

При проведении кадастровой оценки объектов недвижимости обычно учитывают положительный социально-экономический эффект от функционирования автомобильной дороги как элемента транспортной инфраструктуры. При этом недостаточное внимание уделяется учету негативного воздействия транспортных объектов на придорожные территории. Это связано

с особенностями автомобильной дороги как источника загрязнения, а также с методикой оценки недвижимости. Во-первых, уровень загрязнения приземного слоя атмосферы может быть незначительным по сравнению со стационарными источниками загрязнения атмосферы. Во-вторых, при построении корреляционной зависимости между стоимостью земельного участка и уровнем загрязнения получают коэффициент корреляции, демонстрирующий слабую зависимость стоимости и экологического ценообразующего фактора, который в дальнейшем не учитывают [2]. Следовательно, для учета загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом углерода при кадастровой оценке земельных участков, расположенных вдоль авто-

мобильной дороги, необходимо применять локальные поправочные коэффициенты.

Процедура государственной кадастровой оценки (ГКО) в Республике Крым проведена в 2016 г., в результате которой установлена кадастровая стоимость 948 653 земельных участков всех категорий земель. После корректировки на уровне муниципалитетов результаты ГКО было разрешено применять для целей налогообложения, а кадастровая стоимость скорректирована у 50 % ранее оцененных участков. С 2014 по 2019 г. земельный налог рассчитывался исходя из нормативной цены земли. При проведении кадастровой оценки в 2016 г. учитывались исключительно общепринятые факторы ценообразования (вид разрешенного использования, местоположение, численность населения и т. д.). Экологические факторы (состояние окружающей среды, рекреационная ценность территории для земель населенных пунктов; загрязненность почвенного покрова, водная и ветровая эрозия для земель сельскохозяйственного назначения) оценщиком не принимались во внимание.

Проблемами загрязнения атмосферного воздуха и влияния автомобилей на состояние окружающей среды занимались как отечественные [3–6], так и зарубежные авторы [7, 8]. Исследования, связанные с учетом экологических факторов и кадастровой оценкой земельных участков, проводились на примере стационарных [9, 10] и передвижных источников загрязнения (автомобилей) [11, 12].

Целью исследования является корректировка локальных поправочных коэффициентов кадастровой стоимости земельных участков (ИЖС), расположенных в границах придорожных территорий, с учетом уровня загрязнения приземного слоя атмосферы оксидом углерода.

Методы и материалы

Объектом исследования являются земельные участки с видом разрешенного использования «индивидуальное жилищное строительство», расположенные на экспериментальном участке федеральной трассы «Таврида» (пгт. Зуя) в границах придорожных территорий.

Следует заметить, что в российском законодательстве [13] нет определения данного

понятия, поскольку придорожные территории не являются конструктивным элементом автомобильной дороги.

Придорожные территории – это земельные участки (их части), примыкающие к придорожной полосе или полосе отвода, на которые оказывает влияние транспортный поток автомобильной дороги. Земельные участки, расположенные в этой зоне, не обременены особым режимом землепользования, но постоянно испытывают негативное воздействие автомобильной дороги как источника экологического загрязнения [14].

Натурные измерения проводились на отрезке федеральной трассы «Таврида» (поворот на с. Дмитрово – пгт. Зуя – дорожная развязка перед с. Крымская Роза) (рис. 1), длина которого составляет 7,3 км. Данный участок характеризуется достаточно интенсивным автомобильным трафиком, так как пгт. Зуя равноудален от административных центров Симферопольского и Белогорского районов на 22 км и находится на стыке пригородных зон г. Симферополя и г. Белогорска.

В настоящее время в Российской Федерации чаще всего применяется методика, описанная в нормативном документе [15], где приведены математические модели для расчета приземных концентраций загрязняющих веществ с учетом особенностей источника выбросов и природно-климатических условий.

Для определения мощности эмиссии загрязняющего вещества – оксида углерода (CO), г/с, от транспортного потока нами использована формула, которая предложена в [16]:

$$q_{co} = \frac{L}{1\,200 \cdot m \sum_i^x m_i \cdot N_j \cdot rV}, \quad (1)$$

где q_{co} – мощность выброса i -го вещества, г/с;

L – длина участка автомагистрали, км;

1 200 – временной интервал (20 мин);

x – число групп автомобилей;

m_i – удельный выброс i -го вредного вещества, г/км;

N_j – интенсивность движения транспорта j -й группы по участку автомагистрали – количество машин, проезжающих через выбранное сечение автомагистрали за 20 мин, авт./ч;

rV – поправочный коэффициент средней скорости движения.

Условные обозначения:

- федеральная трасса «Таврида»;
- границы населенных пунктов;
- границы экспериментального участка федеральной трассы «Таврида»

Рис. 1. Участок федеральной трассы «Таврида» для проведения натурных измерений

Для определения состава транспортного потока на участке федеральной трассы «Таврида» (поворот на с. Дмитрово – пгт. Зуя – дорожная развязка перед с. Крымская Роза) были проведены натурные наблюдения в соответствии с [17]. Наблюдения проводились в рабочие дни (27–28.07.2020 г.) с 10.00 до

14.00 ч. (табл. 1). Интенсивность движения транспорта для данного участка составила 1 083 авт./ч, разрешенная скорость – 60 км/ч.

Расчетная интенсивность движения составляет 1 666 авт./ч (40 000 автомобилей в сутки) при разрешенной скорости движения 90 км/ч [18].

Таблица 1

Характеристика транспортного потока

Вид транспортного средства	Доля транспортных средств с разными видами двигателей, %	Значение удельных пробеговых выбросов CO, г/км
Легковые автомобили	0,5	3,5
Микроавтобусы, фургоны	0,15	8,4
Автобусы	0,05	5,2
Грузовые автомобили, до 12 т	0,1	6,8
Грузовые автомобили, свыше 12 т	0,2	7,3

Источники: доля транспортных средств с разными видами двигателей (%) определены по результатам авторского исследования; значение удельных пробеговых выбросов CO (г/км) по [15].

Для определения концентрации загрязнения атмосферного воздуха токсичными компонентами отработанных газов (мг/м^3) применена формула с учетом стандартного отклонения гауссовского рассеивания [19]:

$$C_{co} = \frac{2q_{co}}{\sin \varphi \cdot \delta \cdot V_B \cdot \sqrt{2\pi}}, \quad (2)$$

где C_{co} – концентрация загрязнения атмосферного воздуха токсичными компонентами отработанных газов, мг/м^3 ;

q_{co} – мощность выброса i -го вещества, г/с;

φ – угол, составляющий направление ветра к трассе;

δ – стандартное отклонение гауссовского рассеивания в вертикальном направлении, м;

V_B – скорость преобладающего ветра.

Для расчета поправочных коэффициентов для земельных участков под ИЖС, которые расположены на придорожных территориях, использована методика, предложенная в работах [11, 12].

Результаты и их обсуждение

Так как атмосферный воздух является жизненно важным компонентом окружающей среды, то при проектировании, размещении, строительстве, реконструкции и эксплуатации объектов хозяйственной и иной деятельности, при застройке городских и иных поселений должно обеспечиваться

непревышение нормативов качества атмосферного воздуха в соответствии с экологическими и санитарно-гигиеническими нормативами [20].

На содержание оксида углерода влияет ряд факторов: процентное соотношение транспортных средств с различными типами двигателей, значение удельных пробеговых выбросов, рассчитанных для каждой группы, интенсивность движения транспортного потока, скоростной режим, уклон поверхности, скорость ветра, количество солнечной радиации. Климатические факторы учтены при расчете концентрации оксида углерода по формуле (2). Показатель эмиссии рассчитан для фактической интенсивности и разрешенной скорости движения на экспериментальном участке и для расчетной интенсивности и разрешенной скорости движения (табл. 2).

Гигиенический норматив для населенных пунктов по СО составляет 3 мг/м^3 [21]. Превышение ПДК по оксиду углерода при фактической интенсивности и скоростном режиме наблюдается в зоне до 55 м (рис. 2).

Согласно действующему законодательству [13], в населенных пунктах устанавливаются санитарные разрывы – для дороги IV категории 50 м, считая от бровки полотна. Следовательно, жилая застройка в 50-метровой зоне от автомобильной дороги запрещена, и загрязнение воздуха не будет оказывать отрицательного воздействия на здоровье человека. При увеличении интенсивности движения уровень и площадь загрязнения также увеличивается (рис. 3).

Таблица 2

Изменение концентрации оксида углерода в зависимости от расстояния

Расстояние от кромки дороги, м	Концентрация (СО, мг/м^3) при фактической интенсивности движения	Концентрация (СО, мг/м^3) при расчетной интенсивности движения
10	16,7	25,9
20	8,4	12,9
40	4,2	6,5
60	2,8	4,3
80	2,1	3,3
100	1,7	2,6
150	1,2	1,9
200	0,9	1,4
250	0,8	1,9

Рис. 2. Концентрация оксида углерода (CO, мг/м³) при фактической интенсивности движения

Рис. 3. Концентрация оксида углерода (CO, мг/м³) при расчетной интенсивности движения

По мнению В. П. Федорова [22], реконструкция автомобильных дорог, проводимая у нас, в большинстве случаев не оправдывает ожиданий. В частности, создаются обходы крупных центров, а вынос трассы за пределы более мелких поселений обычно не планируется. Поэтому, несмотря на ограничение застройки и необходимость строительства объездных дорог вокруг населенных пунктов, на некоторых участках федеральной трассы «Таврида» жилая застройка входит в зону с превышением ПДК, особенно на подходах к населенным пунктам, где плотность застройки достаточно высока.

Для оценки качества воздуха в соответствии с [23, 24] используются показатели: ИЗА – комплексный индекс загрязнения атмосферы; СИ – стандартный индекс; НП – наибольшая повторяемость (%).

На их основании выделяют несколько уровней загрязнения (табл. 3).

Таблица 3

Уровни загрязнения атмосферного воздуха

Уровень загрязнения атмосферного воздуха	ИЗА	СИ	НП, %
Низкий	< 5	< 1	< 10
Повышенный	5–6	< 5	< 20
Высокий	7–13	5–10	20–50
Очень высокий	< 14	> 10	> 50

Источники: [25, 26].

Используя кратность рассчитанных показателей CO (П) к уровню ПДК, нами определен уровень загрязнения на различном расстоянии от автомобильной дороги (табл. 4).

Таблица 4

Уровни загрязнения придорожных территорий
(составлено по результатам авторского исследования)

Уровень загрязнения	Расстояние от автомобильной дороги, м	Концентрация СО, мг/м ³	Кратность превышения ПДК
Высокий	10	25,97	8,7
Повышенный	10–80	12,98–3,25	4,3–1,1
Низкий	80–250	2,59–1,18	0,9–0,4

Источник: составлено по результатам авторского исследования.

Анализируя полученные данные, следует отметить, что высокий уровень загрязнения наблюдается в 10-метровой зоне, повышенный уровень – на расстоянии от 10 до 80 м, низкий уровень загрязнения атмосферного воздуха отмечается на расстоянии 100 м от автомобильной дороги (концентрация СО составляет менее 1 ПДК). При проведении земельно-оценочных работ используют справочники оценщика, в которых приведены локальные поправочные коэффициенты. Л. А. Лейфером [25] описаны экологические ценообразующие факторы как источники, загрязняющие природную среду (например, автомобильные дороги). Доказано, что экологические факторы могут существенно понизить стоимость недвижимости. В зависимости от вида разрешенного использования локальные коэффициенты могут варьировать от 24 до 28 % (табл. 5).

Таблица 5

Изменение стоимости земель при наличии источников экологической опасности

Вид разрешенного использования земель	Значения поправочного коэффициента
ИЖС	0,76
Объекты рекреации	0,74
Объекты городского коммерческого назначения	0,72

Источник: [25].

Согласно Федеральному стандарту оценки (ФСО № 4) «Определение кадастровой стоимости объектов недвижимости»: «Под кадастровой стоимостью понимается рыночная стоимость объекта недвижимости, определенная методами массовой оценки, или, при невозможности такой оценки – методами индивидуальной оценки в соответствии с законодательством об

оценочной деятельности» [26]. Так как поправочные коэффициенты рассчитываются для определенного земельного участка, то в данном случае оценщик от массовой оценки переходит к индивидуальному расчету на основе рыночной стоимости объекта недвижимости.

Согласно данным (см. табл. 5), поправочный коэффициент при наличии источника экологической опасности для земель населенных пунктов с видом разрешенного использования ИЖС составит 0,76. Пусть эта величина будет соответствовать зоне с максимальным загрязнением (превышение ПДК в 8,7 раза), тогда для территории с минимальным загрязнением коэффициент будет равен 1 (<1 ПДК). Локальные поправочные коэффициенты для других зон рассчитаны методом интерполяции (табл. 6).

Таким образом, при проведении кадастровой оценки объектов недвижимости, расположенных на расстоянии 50–100 м от автомобильной дороги с интенсивным движением, следует применять локальные поправочные коэффициенты, которые могут снизить стоимость земельного участка на 5–10 %.

На основании полученных результатов авторами проведено зонирование земель вдоль участка федеральной трассы «Таврида» (рис. 4) и выявлено, что в зоне повышенного загрязнения оксидом углерода расположены 77 земельных участков и их частей с видом разрешенного использования под индивидуальное жилищное строительство, 32 земельных участка сельскохозяйственного назначения (ведение личного подсобного хозяйства на полевых участках), 2 земельных участка коммерческого назначения (рынки), 10 земельных участков имеют различные виды разрешенного использования (объекты придорожного сервиса, рекреация, среднеэтажная застройка).

Таблица 6

Локальные поправочные коэффициенты для оценки придорожных территорий
с учетом уровня загрязнения оксидом углерода

Уровень загрязнения придорожных территорий	Расстояние до автомобильной дороги, м	Кратность превышения ПДК	Локальный поправочный коэффициент
Высокий	0–10	8,7	0,76
Повышенный	10–20	4,3	0,90
	20–40	2,2	0,96
	40–60	1,4	0,98
	60–80	1,1	0,99
Низкий	80–250	0,9–0,4	1

Источник: составлено по результатам авторского исследования.

Условные обозначения

- граница населенного пункта пгт. Зуя
- Федеральная трасса "Таврида"
- 10- 80 м - зона с повышенным уровнем загрязнения
- 81-250 м - зона с низким уровнем загрязнения

Целевое использование земельного участка

- ведение личного подсобного хозяйства на полевых участках
- индивидуальное жилищное строительство
- коммерческое использование
- прочие участки

Категория земель

- земли населенных пунктов
- земли сельскохозяйственного назначения

Рис. 4. Зонирование придорожных территорий в пгт. Зуя с учетом уровня загрязнения оксидом углерода

Зона с повышенным уровнем загрязнения (см. табл. 6) дифференцирована на подзоны по мере удаления от автодороги. Рассмотрено изменение стоимости земельных участков (ИЖС) с учетом их расположения по подзонам. Так, в первой подзоне (10–20 м) расположены 12 участков, применялся поправочный коэффициент 0,9; во второй подзоне (20–40 м) расположены 20 земельных участков, применялся поправочный коэффициент 0,96; в третьей подзоне (40–60 м) – 15 земельных участков, использован поправочный коэффициент 0,98; в четвертой подзоне (60–80 м) – 30 земельных участков, поправочный коэффициент – 0,99. При уточнении кадастровой стоимости, кроме локальных поправочных коэффициентов, на итоговый результат влияет площадь земельных участков. Земельные участки с площадью менее 1 000 кв. м составляют

32 % от общего количества земель (ИЖС), с площадью, равной 1 000 кв. м, – 22 %, а с площадью более 1 000 кв. м – 46 %. Используя удельный показатель кадастровой стоимости (УПКС) – 921,11 руб./м² [27] и поправочные коэффициенты для каждой подзоны, получили изменение стоимости в денежном эквиваленте (табл. 7).

Таким образом, кадастровая стоимость земель, расположенных ближе всего к дороге (10–20 м), будет снижена на 10 %, или 64 478 руб. для земельных участков с площадью 700 кв. м и на 92 111 руб. для земельных участков с площадью 1 000 кв. м. По мере удаления от источника загрязнения кадастровая стоимость будет возрастать, в денежном эквиваленте ее изменение составит 6 448 и 9 212 руб. соответственно для земельных участков с разной площадью.

Таблица 7

Скорректированная кадастровая стоимость земельных участков (ИЖС)

Значение локального поправочного коэффициента	Кадастровая стоимость, руб./кв. м	
	Площадь земельного участка 700 кв. м	Площадь земельного участка 1 000 кв. м
0,9	580 299	828 999
0,96	618 986	884 266
0,98	631 881	902 687
0,99	638 329	911 899

Источник: составлено по результатам авторского исследования.

Выводы

В результате исследования установлена необходимость корректировки стоимости земельных участков (ИЖС), расположенных в границах придорожных территорий федеральной трассы «Таврида», с учетом степени загрязнения приземного слоя атмосферы. На первом этапе определена концентрация оксида углерода (СО (II)) при помощи математических моделей, которые учитывают мощность эмиссии загрязняющего вещества для разных видов транспортных средств, а также

стандартное отклонение гауссовского рассеивания в вертикальном направлении. Это позволило определить изменение концентрации оксида углерода на разном расстоянии от автомобильной дороги. На втором этапе рассчитаны локальные поправочные коэффициенты с учетом кратности показателей выбросов от автомобилей к ПДК оксида углерода в пгт. Зуя.

Таким образом, кадастровая стоимость недвижимости, которая находится в зоне повышенного загрязнения, будет снижена на 5–10 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бондаренко Е. В., Дворников Г. П. Дорожно-транспортная экология : учеб. пособие / под ред. А. А. Цыцур. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2004. – 113 с.

2. Лепихина О. Ю., Киселев В. А. Обоснование выбора метода определения коэффициентов корреляции оценочных показателей кадастровой стоимости земель средних городов Северо-Западного региона [Электронный ресурс] // Всероссийский журнал научных публикаций. – 2012. – № 1 (11). – С. 28–29. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vybora-metoda-opredeleniya-koeffitsientov-korrelyatsii-otsenochnyh-pokazateley-kadastrovoy-stoimosti-zemel-srednih-1>.
3. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. – Л. : Гидрометеиздат, 1975. – 448 с.
4. Волкодаева М. В., Полуэктова М. М. Анализ влияния выбросов автотранспорта на уровень загрязнения атмосферного воздуха вблизи Московского и Невского проспектов г. Санкт-Петербурга в 1996–2006 гг. // Информационный бюллетень «Вопросы охраны атмосферы от загрязнения». – 2007. – № 2 (32). – С. 22–33.
5. Дахова О. О., Хучунаев Б. М., Куповых Г. В. Химическое и физическое загрязнение городских экосистем автотранспортом [Электронный ресурс] // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Серия : Естественные науки. – 2016. – № 4 (192). – С. 67–72. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskoe-i-fizicheskoe-zagryaznenie-gorodskih-ekosistem-avtotransportom>.
6. Огудов А. С., Креймер М. А., Турбинский В. В. Значение гигиены атмосферного воздуха в экономическом и территориальном планировании // Вестник СГУГиТ. – 2015. – Вып. 1 (29). – С. 111–128.
7. Kho F. W. L., Law P. L., Ibrahim S. H., Sentian J. Carbon monoxide levels along roadway // International Journal of Environmental Science and Technology. – 2007. – Vol. 4 (1). – P. 27–34.
8. Gourgue H., Aharoune A., Ihlal A. Study of the air pollutants dispersion from several point sources using an improved Gaussian model // Journal of Materials and Environmental Science. – 2015. – Vol. 6 (6). – P. 1584–1591.
9. Грехов М. А. Экологическая компонента кадастровой оценки как регулятор справедливых имущественных отношений [Электронный ресурс] // Имущественные отношения в РФ. – 2014. – № 1 (148). – С. 77–86. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-komponeta-kadastrovoy-otsenki-kak-regulyator-spravedlivyh-imuschestvennyh-otnosheniy>.
10. Попп Е. А., Татаренко В. И. О необходимости учета влияния экологической составляющей на кадастровую стоимость объектов недвижимости на территории населенных пунктов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 4/С. – С. 165–170.
11. Смець О. А. Зміна вартості земель при створенні національної мережі міжнародних транспортних коридорів // Містобудування та територіальне планування. – 2010. – Вип. № 36. – С. 151–158.
12. Шульган Р. Б., Бачишин Б. Д., Трохимец С. М. Коригування грошової оцінки сільськогосподарських угідь за техногенне забруднення території за рівнями концентрації забруднювальних речовин // Інженерна геодезія: наук.-техн. збірник. – 2010. – Вип. 56. – С. 131–140.
13. Об автомобильных дорогах и о дорожной деятельности в Российской Федерации и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс] : федер. закон от 08.11.2007 № 257–ФЗ. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72386/.
14. Антоненко Е. В., Мельничук А. Ю. Терминологические аспекты земельно-оценочных работ придорожных территорий // Материалы XXXIV Междунар. науч.-практ. конф. «EurasiaScience». – М. : Научно-издательский центр «Актуальность.РФ», 2020. – С. 84–86.
15. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (ОНД-86) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200000112>.
16. Шагидуллин А. Р., Сизов А. Н., Шагидуллина Р. А. Актуализация методики расчета мощности эмиссии вредных веществ автотранспортом при его движении по городским улицам [Электронный ресурс] // Российский журнал прикладной экологии. – 2015. – № 1. – С. 58–63. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualizatsiya-metodiki-rascheta-moschnosti-emissii-vrednyh-veschestv-avtotransportom-pri-ego-dvizhenii-po-gorodskim-ulitsam>.
17. ГОСТ 32965-2014. Дороги автомобильные общего пользования. Методы учета интенсивности движения транспортного потока: межгосударственный стандарт. – М. : Стандартинформ, 2016. – 23 с.
18. Федеральная трасса «Таврида». Технические характеристики проекта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://archive-gkdor.rk.gov.ru/ru/structure/201804040959tekhnicheskie_kharakteristiki_proekta.
19. Зарипов Ш. Х., Марданов Р. Ф., Гильфанов А. К., Шарафутдинов В. Ф., Никоненкова Т. В. Математические модели переноса загрязнений в окружающей среде. – Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 47 с.
20. Об охране атмосферного воздуха [Электронный ресурс] : федер. закон от 04.05.1999 № 96–ФЗ. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/.

21. Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» [Электронный ресурс] : постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 22.12.2017 № 165. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/556185926>.

22. Федоров В. П., Шаталова Н. В. Стратегия долгосрочного развития магистральных автомобильных дорог [Электронный ресурс] // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2009. – № 2 (21). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategiya-dolgosrochnogo-razvitiya-magistralnyh-avtomobilnyh-dorog>.

23. РД 52.04.667-2005 Документы о состоянии загрязнения атмосферы в городах для информирования государственных органов, общественности и населения. Общие требования к разработке, построению, изложению и содержанию [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200067118>.

24. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Российской Федерации в 2018 году» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gosdoklad-ecology.ru/2018/atmosfernyy-vozdukh/kachestvo-atmosfernogo-vozdukha/>.

25. Справочник оценщика недвижимости – 2018. Земельные участки. Ч. 1 / Под ред. Л. А. Лейфера. – Нижний Новгород : ООО «Информ-оценка», 2018. – 285 с.

26. Об утверждении Федерального стандарта оценки «Определение кадастровой стоимости (ФСО № 4)» : Приказ Минэкономразвития России [Электронный ресурс]: утвержден от 22 октября 2010 г. № 508. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113247/.

27. Об утверждении результатов государственной кадастровой оценки земельных участков, расположенных на территории Республики Крым [Электронный ресурс] : распоряжение Совета министров Республики Крым от 29.11.2016 № 1498-р. – Режим доступа: <https://rk.gov.ru/ru/document/show/6765>.

Получено 09.03.2021

© А. Ю. Мельничук, Е. В. Антоненко, 2021

INFLUENCE OF THE SURFACE ATMOSPHERIC LAYER POLLUTION ON THE CADASTRAL COST OF LAND PLOTS FOR PRIVATE HOUSING CONSTRUCTION WITHIN THE BOUNDARIES OF THE FEDERAL ROAD "TAVRIDA" TERRITORIES

Aleksandr Yu. Melnichuk

Agrotechnological Academy V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Agrarnoe, Simferopol, 295492, Russia, D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Land Management and Cadaster, e-mail: omelnichuk61@mail.ru

Ekaterina V. Antonenko

Agrotechnological Academy V. I. Vernadsky Crimean Federal University, Agrarnoe, Simferopol, 295492, Russia, Ph. D. Student, Department of Land Management and Cadaster, e-mail: antonenkatrina87@gmail.com

Environmental problems of transport impact on the natural environment in Russia do not lose their relevance. Automobile transport is the leading source of environmental pollution, and the amount of emissions can reach 90 %. These processes are actively manifested within the boundaries of the influence of high-traffic roads. Thus, the tasks of taking into account the pollution level of the surface atmospheric layer in order to clarify the cadastral value of lands located within the boundaries of roadside territories acquire particular relevance. The work used mathematical models to calculate the emission power and surface concentrations of the pollutant (Gaussian atmospheric diffusion model). The interpolation method was used to determine the correction factors for different zones of pollution with carbon monoxide. The authors considered the carbon monoxide pollution density of the roadside territories and stated that the part of federal road "Tavrida" (settlement Zuia) has 121 land plots on the higher-polluted territory, which have the permitted use of "private housing construction" (PHC), therefore it is considered necessary to correct their cadastral cost taking into account air pollution. The obtained results allows to clarify the local correction coefficients used in the cadastral assessment of roadside territories.

Keywords: air pollution, motorway, roadside areas, land assessment, cadastral valuation of land, individual housing construction, pricing factor, local correction factor

REFERENCES

1. Bondarenko, E. V., & Dvornikov, G. P. (2004). *Dorozhno-transportnaya ekologiya [Road transport ecology]*. Orenburg: GOU OGU Publ., 113 p. [in Russian].
2. Lepikhina, O. Yu., & Kiselev, V. A. (2012). Substantiation of the choice of the method for determining the correlation coefficients of the estimated indicators of the cadastral value of land in medium-sized cities in the north-western region. *Vserossiiskij zhurnal nauchnykh publikacij [All-Russian Journal of Scientific Publications]*, 1(11), 28–29. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/obosnovanie-vybora-metoda-opredeleniya-koeffitsientov-korrelatsii-otsenочnyh-pokazateley-kadaastrovoy-stoimosti-zemel-srednih-1> [in Russian].
3. Berlyand, M. E. (1975). *Sovremennye problemy atmosfernoj diffuzii i zagryazneniya atmosfery [Current problems of atmospheric diffusion and air pollution]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 448 p. [in Russian].
4. Volkodaeva, M. V., & Poluektova, M. M. (2007). Analysis of the influence of vehicle emissions on the level of air pollution near Moskovsky and Nevsky avenues in Saint Petersburg in 1996–2006. *Informacionnyj byulleten' "Voprosy ohrany atmosfery ot zagryazneniya" [Information Bulletin "Questions of Protection of the Atmosphere from Pollution"]*, 2(32), 22–33 [in Russian].
5. Dakhova, O. O., Huchunaev, B. M., & Kupovykh, G. V. (2016). Chemical and physical pollution of urban ecosystems by road transport. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskij region. Seriya: Estestvennye nauki [Proceedings of Universities. North Caucasian Region. Series: Natural Sciences]*, 4(192), 67–72. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/himicheskoe-i-fizicheskoe-zagryaznenie-gorodskih-ekosistem-avtotransportom> [in Russian].
6. Ogudov, A. S., Kreymer, M. A., & Turbinsky, V. V. (2015). Ecological disaster and emergency planning zones in territory management. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(29), 111–128 [in Russian].
7. Kho, F. W. L., Law, P. L., Ibrahim, S. H., & Sentian, J. (2007). Carbon monoxide levels along roadway. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 27–34.
8. Gourgue, H., Aharoune, A., & Ihlal, A. (2015). Study of the air pollutants dispersion from several point sources using an improved Gaussian model. *Journal of Materials and Environmental Science*, 6(6), 1584–1591.
9. Grekhov, M. A. (2014). The ecological component of the cadastral assessment as a regulator of fair property relations. *Imushchestvennye otnosheniya v Rossijskoj Federacii [Property Relations in the Russian Federation]*, 1(148), 77–86. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskaya-komponeta-kadaastrovoy-otsenki-kak-regulyator-spravedlivyh-imushchestvennyh-otnosheniy> [in Russian].
10. Popp, E. A., & Tatarenko V. I. (2014). On the need to take into account the impact of the environmental component on the cadastral value of real estate on the territory of localities. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotosurveying]*, 4/S, 165–170 [in Russian].
11. Yemets, O. A. (2010). Changing the value of land when creating a national network of international transport corridors. *Mistobuduvannya ta teritorial'ne planuvannya [Urban Planning and Spatial Planning]*, 36, 151–158 [in Ukrainian].
12. Shulgan, R. B., Bachishin, B. D., & Trokhimets, S. M. (2010). Adjustment of the monetary value of agricultural land for technogenic pollution of the territory by the level of concentration of pollutants. *Inzhenerna geodeziya [Engineering Geodesy]*, 56, 131–140 [in Ukrainian].
13. Federal Law of November 08, 2007 No. 257–FZ. On highways and road activities in the Russian Federation and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation: Retrieved from http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_72386/ [in Russian].
14. Antonenko, E. V., & Melnichuk, A. Yu. (2020). Terminological aspects of land assessment works of roadside territories. In *Sbornik materialov XXXIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "EurasiaScience" [Proceedings of the XXXIV International Scientific and Practical Conference "EurasiaScience"]* (pp. 84–86). Moscow: Research and Publishing Center "Actuality.RF", [in Russian].
15. Methodology for calculating the concentration of harmful substances in the atmospheric air contained in the emissions of enterprises (OND-86). Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200000112> [in Russian].
16. Shagidullin, A. R., Sizov, A. N., & Shagidullina, R. A. (2015). Updating the methodology for calculating the power of emission of harmful substances by vehicles when driving along city streets. *Rossiiskij zhurnal prikladnoj ekologii [Russian Journal of Applied Ecology]*, 1, 58–63. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/aktualizatsiya-metodiki-rascheta-moschnosti-emissii-vrednyh-veschestv-avtotransportom-pri-ego-dvizhenii-po-gorodskim-ulitsam> [in Russian].
17. Standards Russian Federation. (2016). GOST 32965-2014 Automobile roads for general use. Methods for accounting for the intensity of traffic flow: interstate standard. Moscow: Standartinform Publ., 23 p. [in Russian].

18. Federal highway "Tavrida". Technical characteristics of the project. Retrieved from https://archive-gkdor.rk.gov.ru/ru/structure/201804040959tehnicheskie_kharakteristiki_proekta [in Russian].
19. Zaripov, Sh. Kh., Mardanov, R. F., Gilfanov, A. K., Sharafutdinov, V. F., & Nikonenkova, T. V. (2018). *Matematicheskie modeli perenosa zagryaznenij v okruzhayushchej srede [Mathematical Models of Pollution Transfer in the Environment]*. Kazan: Kazan University Publ., 47 p. [in Russian].
20. Federal Law of May 04, 1999 No. 96-FZ. On the protection of atmospheric air. Retrieved from http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_22971/ [in Russian].
21. On the approval of hygienic standards GN 2.1.6.3492-17 "Maximum permissible concentrations (PDK) of pollutants in the air of urban and rural settlements": Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of December 22, 2017 No. 165. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/556185926> [in Russian].
22. Fedorov, V. P., & Shatalova, N. V. (2009). Strategy for the Long-Term Development of Main Highways. *Transport Rossijskoj Federacii. Zhurnal o nauke, praktike, ekonomike [Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economics]*, 2(21), 20–22 [in Russian].
23. Guidance document. (2005). RD 52.04.667-2005. Documents on the state of air pollution in cities to inform government agencies, the public and the population. General requirements for development, construction, presentation and content. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200067118> [in Russian].
24. State report "On the state and protection of the environment in the Russian Federation in 2018". Retrieved from <https://gosdoklad-ecology.ru/2018/atmosfernnyy-vozdukh/kachestvo-atmosfernogo-vozdukha/> [in Russian].
25. Leifer, L. A. (2018). *Spravochnik ocenshchika nedvizhimosti – 2018. Zemel'nye uchastki. Ch. 1 [Handbook of real estate appraisers - 2018. Land plots. Part 1]* Nizhny Novgorod: "Inform-Assessment" Publ., 285 p. [in Russian].
26. Order of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation of October 22, 2010 No. 508. On the approval of the Federal Standard of assessment "Determination of cadastral value (FSO No. 4)". Retrieved from http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_113247/ [in Russian].
27. Order Council of Ministers of the Republic of Crimea of November 29, 2016 No. 1498-r. About the approval of results of the state cadastral assessment of the land plots located in the territory of the Republic of Crimea. Retrieved from <https://rk.gov.ru/ru/document/show/6765> [in Russian].

Received 09.03.2021

© A. Yu. Melnichuk, E. V. Antonenko, 2021

УДК 332.3

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-136-145

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ МАЛЫХ ФОРМ ХОЗЯЙСТВОВАНИЯ

Виктория Александровна Павлова

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2, кандидат экономических наук, доцент, зав. кафедрой землеустройства, тел. (812)476-92-81, e-mail: vikalpav@mail.ru

Елена Александровна Степанова

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2, старший преподаватель кафедры землеустройства, тел. (812)476-92-81, e-mail: lestepan@mail.ru

Екатерина Леонидовна Уварова

Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, 2, зав. лабораторией землеустроительного проектирования и инновационных технологий в землеустройстве, тел. (812)476-92-81, e-mail: katrinka-66@mail.ru

На основе анализа многочисленных исследований авторами сделан вывод о том, что сельское хозяйство играет ведущую роль в развитии АПК и формировании новых отношений на селе, но для обеспечения надлежащего функционирования малых форм хозяйствования необходимо решить проблему оптимизации их землепользования. Создание «умного землепользования» занимает одну из ключевых позиций при оптимизации использования их территорий. Данная работа посвящена определению наиболее значимых факторов формирования и функционирования малых форм хозяйствования как наиболее быстро подстраивающихся к современным экономическим, правовым и социальным изменениям. Приведен статистический анализ становления и развития малых форм хозяйствования АПК РФ по ряду показателей: состав угодий, производство сельскохозяйственной продукции, площадь. Авторами обозначены группы факторов, влияющих на оптимальные параметры землепользования (ограничивающие, оптимизирующие, поддерживающие), а также были определены их веса с помощью метода анализа иерархий как важным звеньям на пути к созданию «умного землепользования».

Ключевые слова: малые формы хозяйствования, оптимизация, землепользование, оптимальные параметры

Введение

Задачи оптимизации находят свое отражение в интеллектуализации цифровой экономики, а именно в разработке «умных» технологий во всех сферах жизнедеятельности современного общества. По мнению ряда ученых, таких как А. П. Карпик, Д. В. Лисицкий, К. С. Байков, А. Г. Осипов, В. Н. Савиных, Д. А. Шаповалов, С. Н. Волков и других авторов, в том числе зарубежных, современные научные разработки в части оптимизации пространства должны быть направлены на создание интегральных инструментов, которые можно использовать в качестве аналитических систем, направленных на учет взаимодействия факторов и объектов, что позволит

в дальнейшем «спланировать, осуществить и проконтролировать оптимальную организацию территории» [1–4]. Создание «умного землепользования» занимает одну из ключевых позиций при оптимизации использования территорий. Данная работа посвящена определению наиболее значимых факторов формирования и функционирования землепользования малых форм хозяйствования как наиболее быстро подстраивающихся к современным экономическим, правовым и социальным изменениям, и установлению степени их взаимовлияния как важным звеньям на пути к созданию «умного землепользования».

Изменение структуры сельскохозяйственного землепользования, бесспорно, подобает считать одним из итогов осуществленных зе-

мельных и аграрных преобразований. Площадь нашего государства составляет 1 712,5 млн. га (на 01.01.2021 г.) [5], из которой необходимо выделить для дальнейшего рассмотрения земли сельскохозяйственного назначения. Обозначенные земли предназначены для обеспечения продовольственной безопасности, поэтому крайне необходимо сохранить и приумножить производительный потенциал АПК, а также установить и оптимизировать использование земельных ресурсов как основного элемента богатства государства [6, 7].

В сельском хозяйстве выделяют несколько хозяйственных укладов, таких как крупные, средние и малые формы хозяйствования. Самой многочисленной по количеству участников является последняя группа. В нее входят так называемые мелкотоварные хозяйства, которые в большинстве своем ориентированы на производство сельскохозяйственной продукции в малом количестве, в основном для удовлетворения собственных нужд, без оформления юридического лица. В рамках настоящего исследования к малым формам хозяйствования в АПК отнесены личные подсобные хозяйства (ЛПХ) и часть крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ).

Основное количество крестьянско-фермерских хозяйств образовалось в результате реорганизации ранее существовавших в Российской Федерации колхозов и совхозов [8, 9]. Крестьянско-фермерские хозяйства включают в себя как крестьянские, так и просто фермерские хозяйства. В России эти термины не имеют существенной разницы. Крестьянские хозяйства в своей основе предполагают использование семейного труда, а главной целью становится удовлетворение собственных потребностей. Хозяйства фермерской направленности, в отличие от крестьянских, используют наемный труд наряду с семейными контрактами и являются узкоспециализированными и товарными. Чаще всего именно фермерские хозяйства не относятся к группе мелкотоварных сельскохозяйственных производителей.

ЛПХ также можно разделить на два вида:

– небольшие приусадебные хозяйства, расположенные на землях населенных пунк-

тов. Данный вид хозяйства имеет полностью потребительский характер;

– большие приусадебные хозяйства, идентичные крестьянско-фермерским хозяйствам, т. е. имеющие предпринимательский характер, ориентированные как на выращивание сельскохозяйственной продукции для собственных нужд, так и с целью сбыта излишков на ближайших рынках.

Развитие капиталистических отношений в АПК, безусловно, связано с формированием мелкотоварного сектора аграрной экономики. Процесс его формирования должен проходить константно на основе конкуренции и следующей дифференциации (рис. 1).

Рис. 1. Дифференциация малых форм хозяйствования

Материалы и методы

Анализ трудов современных ученых показал, что становление новых отношений на селе взаимосвязано с развитием агропромышленного комплекса в целом, где основным звеном выступает сельское хозяйство как таковое [10–15], но для обеспечения надлежащего функционирования малых форм хозяйствования необходимо решить ряд проблем.

В рамках данной работы авторы использовали такие методы научного исследования, как аналитический, монографический, а также метод анализа иерархий Т. Саати (МАИ).

Информационной основой данного исследования послужили бюллетени о состоянии сельского хозяйства Федеральной службы государственной статистики, государственные отчеты о состоянии и использовании земель в Российской Федерации за 2005–2019 гг.

Результаты

На основе статистического анализа указанных выше материалов мы пришли к следующим выводам.

1. Неурегулированность правовой базы использования земель малыми формами хозяйствования приводит к трудностям кредитования аграрного сектора и, как следствие, к его низкой эффективности.

2. По данным Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии, пахотные земли являются основной частью земель как крестьянско-фермерских хозяйств, так и личных подсобных, поэтому растениеводство является в них преобладающим производственным направлением (рис. 2).

Рис. 2. Использование сельскохозяйственных угодий мелкотоварными хозяйствами в 2019 г. (в % к общей площади)

3. По данным Федеральной службы государственной статистики, наблюдается значительный рост производства сельскохозяй-

ственной продукции крестьянско-фермерскими хозяйствами. Такой факт обосновывается увеличением площадных характеристик хозяйств и повышением технологического уровня обеспечения производства в них. ЛПХ же, в свою очередь, имеют тенденцию к укрупнению и переходу в более устойчивые товарные формы хозяйствования, такие как КФХ, что приводит к снижению их доли в производстве сельскохозяйственной продукции в целом по стране (табл. 1).

4. Малые формы хозяйствования в России в основном формируются путем покупки, аренды или выделения земельных долей, так же, как и крупные сельскохозяйственные организации. Поэтому в период с 1990 по 1994 г. (период реорганизации бывших колхозов и совхозов) наблюдается тенденция значительного роста числа крестьянских (фермерских) хозяйств. В дальнейшем экономически нестабильные КФХ были ликвидированы, а оставшиеся хозяйства укрупнены (рис. 3).

По сравнению с 1990 г. средняя площадь КФХ выросла в 2019 г. на 86,1 % и составила 76,6 га. Таким образом, количество ферм и занимаемая ими площадь индивидуально оптимизируются. Это, в свою очередь, способствует укреплению устойчивых позиций среднего звена в системе многоукладного агропромышленного комплекса.

Установленный тренд наблюдается также для ведения приусадебного хозяйства. Площадь приусадебного хозяйства по данным Росреестра в среднем выросла за период реформирования земельно-имущественных отношений практически в 10 раз и составляет 2 га.

Таблица 1

Структура производства сельскохозяйственной продукции по видам хозяйств
(в текущих ценах в млрд. руб.; в процентах от общего объема)

	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.
Хозяйства всех категорий	100	100	100	100	100	100	100
в том числе:							
сельскохозяйственные организации	73,7	50,2	45,9	44,6	44,5	54,0	57,7
хозяйства населения	26,3	47,9	50,2	49,3	48,3	34,5	28,6
крестьянские (фермерские) хозяйства	0	1,9	3,9	6,1	7,2	11,5	13,7

Рис. 3. Динамика изменения количественных характеристик крестьянско-фермерских хозяйств (за исключением аренды у других (организаций, предприятий и граждан)

Но в отдельных случаях размеры приусадебного хозяйства превышают десяток гектар. Данная возможность появилась у землевладельцев вследствие законодательного закрепления выдела земельной доли для создания ЛПХ. Предоставленную возможность законодатели связывали с банкротством сельскохозяйственных предприятий, и, как следствие, отсутствие рабочих мест в сельской местности.

Обсуждение

Еще в начале XX в. отечественные ученые (Н. Д. Кондратьев, А. В. Чаянов, А. Н. Челинцев) изучали предельные и оптимальные площади хозяйств. Они подчеркнули необходимость сельскохозяйственной кооперации и формирования узконаправленных хозяйств. В своих работах Н. Д. Кондратьев утверждал, что консолидация хозяйств путем объединения более мелких посредством производственной кооперации позволит повысить производительность этих хозяйств [16].

На оптимальную площадь земельного участка хозяйства влияет целый ряд факторов [17–22]. На наш взгляд, эти факторы можно разделить на группы:

1) ограничивающие факторы, основное назначение которых определить минимально возможную площадь землепользования;

2) оптимизирующие факторы, оказывающие непосредственное влияние на оптимальный состав угодий хозяйства, площадь его землепользования и способствуют развитию производства;

3) поддерживающие факторы, влияющие на обеспечение устойчивости землепользования хозяйства и возможности развития хозяйства в долгосрочном периоде.

Рассмотрим состав факторных групп более подробно.

Ограничивающим фактором для крестьянско-фермерских хозяйств должна стать возможность реализации сельскохозяйственной продукции на местных рынках, а для личных подсобных хозяйств – необходимость производить достаточные объемы продукции для собственных нужд, окупаемость производства.

Оптимизирующими факторами как для крестьянско-фермерских хозяйств, так и для ЛПХ являются трудовые ресурсы семьи. На оптимизацию производства, нацеленного на продажу излишков продукции (что более характерно для КФХ) будут также оказывать влияние инвестиции и возможность кредитования.

Роль поддерживающих факторов для КФХ выполняют специализация, уровень механизации производственных процессов, оку-

паемость средств, рентабельность производства. Для личных подсобных хозяйств такую роль будут играть психологические факторы (возможность работы на своей земле).

Отсутствие полной и достоверной статистической информации о землепользовании существующих крестьянско-фермерских хозяйств и личных подсобных хозяйств препятствует определению факторных весов для каждой группы путем статистического анализа. Для определения степени влияния факторов, влияющих на параметры сельскохо-

зяйственных хозяйствующих субъектов, мы использовали метод экспертных оценок.

Анализ иерархий по Т. Саати (МАИ) позволяет решить поставленные задачи. В основу данного метода заложен принцип деления исследуемого объекта на более простые составляющие, которые в дальнейшем подвергаются попарному сравнению, заранее выбранными экспертами [23–26]. Соответствующие матрицы приоритетов для ограничивающих, оптимизирующих и поддерживающих факторов представлены в табл. 2–4.

Таблица 2

Матрица приоритетов ограничивающих факторов для ЛПХ

Факторы (критерии)	Необходимость производить достаточные объемы продукции для собственных нужд	Окупаемость производства	Сумма по строкам
Необходимость производить достаточные объемы продукции для собственных нужд	1	0,3	1,3
Окупаемость производства	3	1	4
Сумма по столбцам	4	1,3	5,3

Таблица 3

Матрица приоритетов оптимизирующих факторов для КФХ

Факторы (критерии)	Обеспеченность трудовыми ресурсами	Наличие инвестиций	Возможность кредитования	Сумма по строкам
Обеспеченность трудовыми ресурсами	1	5	3	9
Наличие инвестиций	0,2	1	0,2	1,4
Возможность кредитования	0,3	5	1	6,3
Сумма по столбцам	1,5	11	4,2	16,7

Таблица 4

Матрица приоритетов поддерживающих факторов для КФХ

Факторы (критерии)	Специализация производства	Уровень механизации производственных процессов	Окупаемость средств	Обеспечение рентабельности производства	Сумма по строкам
Специализация производства	1	5	0,2	0,14	6,34
Уровень механизации производственных процессов	0,2	1	0,14	0,14	1,48
Окупаемость средств	5	7	1	0,3	13,3
Обеспечение рентабельности производства	7	7	3	1	18
Сумма по столбцам	13,2	20	4,34	1,58	39,12

Следующим шагом в определении степени влияния факторов является вычисление вектора приоритета по представленной матрице. Вектор приоритета – это набор весов отдельных факторов в каждой группе факторов. Чтобы получить вектор приоритета, нужно сделать следующее: разделить каждое значение конкретного показателя в столбце на суммарное значение по этому же столбцу, произвести

процедуру сложения всех значений в строке с последующим делением полученного значения на количество элементов строки.

В результате произведенных вычислений были получены значения влияния факторов, которые оптимизируют параметры землепользования личных подсобных хозяйств и крестьянско-фермерских хозяйств.

Данные представлены в табл. 5, 6.

Таблица 5

Расчетные веса по группам факторов для ЛПХ

Оптимальные параметры землепользования	Группа факторов	Наименование фактора	Веса фактора
Минимальная площадь землепользования	Ограничивающие	Необходимость производить достаточные объемы продукции для собственных нужд	0,24
		Окупаемость производства	0,76
Оптимальный состав угодий и площадь землепользования (обеспечение развития производства)	Оптимизирующие	Обеспеченность трудовыми ресурсами	1
Конфигурация, размещение границ, компактность, максимально возможная площадь землепользования при заданных параметрах (обеспечение устойчивости землепользования)	Поддерживающие	Психологические факторы	1

Таблица 6

Расчетные веса по группам факторов для КФХ

Оптимальные параметры землепользования	Группа факторов	Наименование фактора	Веса фактора
Минимальная площадь землепользования	Ограничивающие	Возможность сбыта	1
Оптимальный состав угодий и площадь землепользования (обеспечение развития производства)	Оптимизирующие	Обеспеченность трудовыми ресурсами	0,61
		Наличие инвестиций	0,09
		Возможность кредитования	0,30
Конфигурация, размещение границ, компактность, максимально возможная площадь землепользования при заданных параметрах (обеспечение устойчивости землепользования)	Поддерживающие	Специализация производства	0,11
		Уровень механизации производственных процессов	0,05
		Окупаемость средств	0,29
		Обеспечение рентабельности производства	0,55

Выводы

Представленные в результате проведенного исследования данные могут быть использованы в ряде направлений.

1. Полученные сочетания факторов и степень их взаимного влияния на основные характеристики землепользования малых форм хозяйствования позволяют определить условия функционирования хозяйств и обеспечения их устойчивого развития (например, крестьянское хозяйство может начать функционировать при наличии рынка сбыта).

2. Выделенные группы хозяйств в современных условиях не имеют четкого алгоритма оптими-

зации своих размеров, так как их функционирование происходит в условиях неопределенности. На основе анализа полученных весов ограничивающих, оптимизирующих и поддерживающих факторов можно выделить наиболее значимые факторы для них. Количественное повышение значений этих факторов может интенсифицировать производственные процессы и увеличить размеры производства в хозяйствах.

3. Представленные группы факторов с учетом степени их влияния на землепользования малых форм хозяйствования и его характеристики могут быть использованы при разработке оптимизационных моделей (например, корреляционно-регрессионных моделей).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Лисицкий Д. В., Байков К. С., Осипов А. Г., Савиных В. Н. Геопространственный дискурс опережающего и прорывного мышления // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 4. – С. 53–67.
2. Волков С. Н., Шаповалов Д. А. Цифровое землеустройство – проблемы и перспективы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, землеустройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 9 т. Т. 3. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – С. 26–35.
3. Vulević T., Todosijević M., Dragović N., Zlatić M. Land use optimization for sustainable development of mountain regions of western Serbia // Journal of Mountain Science. – 2018. – Vol. 15. – P. 1471–1480. doi: 10.1007/s11629-017-4777-1.
4. Pennington D. N., Dalzell B., Nelson E., Mulla D., Taff S., Hawthorne P., Polasky S. Cost-effective Land Use Planning: Optimizing Land Use and Land Management Patterns to Maximize Social Benefits // Ecological Economics. – 2017. – Vol. 139. – P. 75–90. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.04.024.
5. Официальный сайт Росреестра РФ [Электронный ресурс]. – Доступ из справ.-информационной системы «Яндекс».
6. Миклашевская О. В., Сизов А. П. Совершенствование государственной политики в сфере пространственного развития сельскохозяйственных территорий // Актуальные вопросы землепользования и управления недвижимостью : сб. статей Всероссийской науч.-практ. конф. (с междунар. участием). – Екатеринбург : Уральский государственный горный университет, 2019. – С. 343–352.
7. Гарманов В. В., Шишов Д. А., Заварин Б. В. Методико-методологические аспекты управления сельскохозяйственным землепользованием : монография. – СПб. : СПбГАУ, 2018. Часть 1. – 155 с.
8. Шибанова Т. Б., Бурова И. А. К вопросу об основных организационно-правовых формах сельскохозяйственных предприятий в России и зарубежных странах // Известия СПбГАУ. – 2014. – № 35. – С. 196–201.
9. Морозов А. В., Быкова Е. Н., Сулин М. А. Оценка размещения земельного участка крестьянского (фермерского) хозяйства с учетом пространственных условий использования территории // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2020. – Т. 64, № 1. – С. 93–103.
10. Бороздин С. В. Земельные отношения и аграрные реформы : монография. – М. : ЮНИТИ-ДАНА, Единство, 2002. – 239 с.
11. Карпова О. А. Система регулирования земельных отношений. // Совершенствование теории и методики организации использования земли и ее оценка при переходе к рыночным отношениям : сб. науч. тр. ОмСХИ. – Омск, 1992. – С. 9–14.
12. Непоклонов В. Б., Хабарова И. А., Хабаров Д. А., Киойбаш В. А., Абдугапирова И. Ф. Повышение эффективности использования земель сельскохозяйственного назначения // Междунар. сельскохозяйственный журнал. – 2018. – № 2. – С. 12–15.
13. Лебедева Т. А., Гагарин А. И., Лебедев Ю. В. Устойчивое землепользование на интенсивно осваиваемых территориях // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 201–211.

14. Гарманов В. В., Шишов Д. А., Сулин М. А., Заварин Б. В., Павлова В. А., Глейзер В. И., Терлеев В. В., Уварова Е. Л., Осипов А. Г., Богданов В. Л., Баденко В. Л. Управление сельскохозяйственным землепользованием. Прикладные аспекты : монография. – СПб. : СПбГАУ, 2018. – Часть 1. – 247 с.
15. Сизов А. П., Портнов А. М., Паулюс К., Мансбергер Р. Критерии оценки устойчивого развития пригородных территорий городских агломераций: проблемы и пути решений // Естественные и технические науки. – 2019. – № 12 (138). – С. 201–209.
16. Кондратьев Н. Д. К вопросу о дифференциации деревни. // Пути сельского хозяйства. – 1927. – № 5. – С. 123–140.
17. Липски С. А. Земельные отношения и землеустройство: основные результаты десятилетия реформ : монография. – М. : ГУЗ, 2000. – 236 с.
18. Мординцев А. Я. Оптимизация землевладения крестьянского хозяйства. // Развитие земельных отношений на современном этапе : сб. науч. тр. СПбГАУ. – СПб. : Центр оперативной полиграфии ООО «Аргус», 2003. – С. 52–55.
19. Santiphop T., Shrestha R. P., Hazarika M. K. An analysis of factors affecting agricultural land use patterns and livelihood strategies of farm households in Kanchanaburi Province, Thailand // Journal of Land Use Science. – 2012. – Vol. 7 (3). – P. 331–348. doi: 10.1080/1747423X.2011.587208.
20. Celio E., Grêt-Regamey A. Understanding farmers' influence on land-use change using a participatory Bayesian network approach in a pre-Alpine region in Switzerland // Journal of Environmental Planning and Management. – 2016. – Vol. 59 (11). – P. 2079–2101. doi: 10.1080/09640568.2015.1120713.
21. Карпик А. П., Жарников В. Б., Ларионов Ю. С. Рациональное землепользование в системе современного пространственного развития страны, его основные принципы и механизмы // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 232–246.
22. Павлова В. А. Изменение структуры сельскохозяйственного землепользования как результат реформирования земельных отношений. // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2014. – № 9. – С. 58–64.
23. Саати Т. Принятие решений при зависимостях и обратных связях. Аналитические сети. – М. : Ленанд, 2015. – 360 с.
24. Непоклонов В. Б., Хабарова И. А., Хабаров Д. А., Аверьянова Е. А., Гилюк А. В., Абдугапирова И. Ф., Киойбаш В. А. Использование экономико-математических методов и моделей для землеустроительных целей // Междунар. сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 6. – С. 30–33.
25. Lepikhina O. Yu., Skachkova M. E., Mihaelyan T. A. Ranking of options of real estate use by expert assessments mathematical processing // Journal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 1015. – P. 032084.
26. Лепихина О. Ю. Методика определения наилучшего и наиболее эффективного использования земельного участка на основе экспертных методов // Экономика и предпринимательство. – 2014. – № 4-2 (45). – С. 934–940.

Получено 12.03.2021

© В. А. Павлова, Е. А. Степанова, Е. Л. Уварова, 2021

OPTIMIZATION OF SMALL-SCALE LAND USE

Victoria A. Pavlova

Saint-Petersburg State Agrarian University, 2, Peterburgskoe Shosse St., Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia, Ph. D., Associate Professor, Head of the Department of Land Management, phone: (812)476-92-81, e-mail: vikalpav@mail.ru

Elena A. Stepanova

Saint-Petersburg State Agrarian University, 2, Peterburgskoe Shosse St., Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia, Senior Lecturer, Department of Land Management, phone: (812)476-92-81, e-mail: lestepan@mail.ru

Ekaterina L. Uvarova

Saint-Petersburg State Agrarian University, 2, Peterburgskoe Shosse St., Pushkin, St. Petersburg, 196601, Russia, Head of the Laboratory on Land Management, Design and Innovative Technologies in Land Management, phone: (812)476-92-81, e-mail: katrinka-66@mail.ru

In the course of the work on the presented study, the scientific works of leading scientists in the field of land management were analyzed. In the course of their analysis, it was determined that the leading role in the development of the agro-industrial complex and the formation of new relations in rural areas belongs to agriculture. Accordingly, to ensure the proper functioning of small agricultural producers, it is necessary to solve the problem of optimizing their land use. The authors believe that one of the key positions in optimizing the use of territories should be played by "smart land use" and the process of its creation. The paper reveals the process of determining the most significant factors in the formation and functioning of small forms of management, since it is small forms of management that are the most flexible and easily adaptable to the rapidly changing modern economic, legal and social conditions. The evidence base was a statistical analysis of the formation and development of small forms of agriculture of the Russian Federation on a number of indicators: the composition of land, agricultural production, area. The authors propose to identify several groups of factors that affect the optimal parameters of land use. Groups of factors are designated as limiting, optimizing, and supporting. The study also determined the weights of factors that affect the optimal size of land use within each group using the hierarchy analysis method. The proposed factors and the identified dependencies are embedded in the "smart land use" model.

Keywords: small forms of management, optimization, land use, optimal parameters

REFERENCES

1. Karpik, A. P., Lisickij, D. V., Bajkov, K. S., Osipov, A. G. & Savinyh, V. N. (2017). Geospatial discourse of advanced and breakthrough thinking *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(4), 53–67 [in Russian].
2. Volkov, S. N., & Shapovalov, D. A. (2019). Digital land management-problems and prospects. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3, no. 2. Ekonomicheskoe razvitie Sibiri i Dal'nego Vostoka. Ekonomika prirodopol'zovaniia, zemleustroistvo, lesoustroistvo, upravlenii e nedvizhimost'iu [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 3, No. 2. Economic Development of Siberia and the Far East. Environmental Economics, Land Management, Forestry Management and Property Management]* (pp. 26-35). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
3. Vulević, T., Todosijević, M., Dragović, N., & Zlatic, M. (2018). Land use optimization for sustainable development of mountain regions of western Serbia. *Journal of Mountain Science*, 15, 1471–1480. doi: 10.1007/s11629-017-4777-1.
4. Pennington, D. N., Dalzell, B., Nelson, E., Mulla, D., Taff, S., Hawthorne, P., & Polasky, S. (2017). Cost-effective Land Use Planning: Optimizing Land Use and Land Management Patterns to Maximize Social Benefits *Ecological Economics*, 139, 75–90. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.04.024.
5. Official site of the Russian State Register. (n. d.). Retrieved from Yandex online system.
6. Miklashevskaya, O. V., & Sizov, A. P. (2019). Improvement of state policy in the sphere of spatial development of agricultural territories. In *Sbornik statej Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiem): Aktual'nye voprosy zemlepol'zovaniya i upravleniya nedvizhimost'yu [Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (with International Participation): Current Issues of Land Use and Real Estate Management]* (pp. 343–352). Yekaterinburg: UGGU Publ. [in Russian].
7. Garmanov, V. V., Shishov, D. A., & Zavarin, B. V. (2018). *Metodiko-metodologicheskie aspekty upravleniya sel'skohozyajstvennym zemlepol'zovaniem: T. Ch. 1 [Methodological aspects of agricultural land use management: Part 1]*. St. Petersburg: SPbGAU, 155 p. [in Russian].
8. Shibanova, T. B., & Burova, I. A. (2014). On the question of the main organizational and legal forms of agricultural enterprises in Russia and foreign countries *Izvestiya SPbGAU [Izvestiya SPbGAU]*, 35, 196–201 [in Russian].
9. Morozov, A. V., Bykova, E. N., & Sulin, M. A. (2020). Evaluation of the placement of the land plot of the peasant (farmer) economy taking into account the spatial conditions of the use of the territory *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 64(1), 93–103 [in Russian].
10. Borozdin, S. V. (2002) *Zemel'nye otnosheniya i agrarnye reform [Land relations and agrarian reforms]*. Moscow: YUNITI-DANA, Edinstvo Publ., 239 p. [in Russian].
11. Karpova, O. A. (1992). System of regulation of land relations In *Sbornik nauchnykh trudov OmSKHI: Sovershenstvovanie teorii i metodiki organizatsii ispol'zovaniya zemli i ee ocenka pri perekhode k rynochnym*

otnosheniyam [Collection of Scientific Works of the OmSHI: Improving the Theory and Methodology of the Organization of Land Use and its Assessment in the Transition to Market Relations] (pp. 9–14). Omsk: OmSKHI Publ. [in Russian].

12. Nepoklonov, V. B., Habarova, I. A., Habarov, D. A., Kiojbash, V. A., & Abdugapirova, I. F. (2018). Improving the efficiency of agricultural land use. *Mezhdunarodnyy sel'skohozyajstvennyy zhurnal [International Agricultural Journal]*, 2, 12–15 [in Russian].

13. Lebedeva, T. A., Gagarin, A. I., & Lebedev, Yu. V. (2017). Sustainable land use in intensively developed territories *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(2), 201–211 [in Russian].

14. Garmanov, V. V., Shishov, D. A., Sulin, M. A., Zavarin, B. V., Pavlova, V. A., Glejzer, V. I., Terleev, V. V., Uvarova, E. L., Osipov, A. G., Bogdanov, V. L., & Badenko, V. L. (2018). *Upravlenie sel'skohozyajstvennym zemlepol'zovaniem. prikladnye aspekty: T. Ch. 1 [Management of agricultural land use. applied aspects: Part 1]*. St. Petersburg: SPbGAU, 247 p. [in Russian].

15. Sizov, A. P., Portnov, A. M., Paulyus, K., & Mansberger, R. (2019). Criteria for assessing the sustainable development of suburban areas of urban agglomerations: problems and solutions *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and Technical Sciences]*, 12(138), 201–209 [in Russian].

16. Kondratyev, N. D. (1927). On the issue of differentiation of the village. *Puti sel'skogo hozyajstva [Ways of Agriculture]*, 5, 123–140 [in Russian].

17. Lipski, S. A. (2000). *Zemel'nye otnosheniya i zemleustrojstvo: osnovnye rezul'taty desyatiletiya reform [Land relations and land management: the main results of the decade of reforms]*. Moscow: GUZ Publ., 236 p. [in Russian].

18. Mordincev, A. Ya. (2003). Optimization of land ownership of the peasant economy. In *Sbornik nauchnykh trudov SPbGAU: Razvitie zemel'nykh otnoshenij na sovremennom etape [Collection of Scientific Works of SPbGAU: Development of Land Relations at the Present Stage]* (pp. 52–55). St. Petersburg: Argus Publ. [in Russian].

19. Santiphop, T., Shrestha, R. P., & Hazarika, M. K. (2012). An analysis of factors affecting agricultural land use patterns and livelihood strategies of farm households in Kanchanaburi Province, Thailand. *Journal of Land Use Science*, 7(3), 331–348. doi: 10.1080/1747423X.2011.587208.

20. Celio, E. & Grêt-Regamey, A. (2016). Understanding farmers' influence on land-use change using a participatory Bayesian network approach in a pre-Alpine region in Switzerland. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(11), 2079–2101. doi: 10.1080/09640568.2015.1120713.

21. Karpik, A. P., Zharnikov, V. B., & Larionov, Yu. S. (2019). Sustainable land management in the system of modern spatial development of the country, its basic principles and mechanisms. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4), 232–246 [in Russian].

22. Pavlova, V. A. (2014). Change in the structure of agricultural land use as a result of land relations reform. *Zemleustrojstvo, kadastr i monitoring zemel' [Land Management, Cadastre and Land Monitoring]*, 9, 58–64 [in Russian].

23. Saati, T. (2015). *Prinyatie reshenij pri zavisimostyah i obratnykh svyazyah. Analiticheskie seti [Decision-making with dependencies and feedbacks. Analytical networks]*. Moscow: Lenand Publ., 360 p. [in Russian].

24. Nepoklonov, V. B., Habarova, I. A., Habarov, D. A., Averyanova, E. A., Gilyuk, A. V., Abdugapirova, I. F., & Kiojbash, V. A. (2017). The use of economic and mathematical methods and models for land management purposes. *Mezhdunarodnyy sel'skohozyajstvennyy zhurnal [International Agricultural Journal]*, 6, 30–33 [in Russian].

25. Lepikhina, O. Yu., Skachkova, M. E., & Mihaelyan, T. A. (2018). Ranking of options of real estate use by expert assessments mathematical processing. *Journal of Physics: Conference Series*, 1015, P. 032084.

26. Lepikhina, O. Yu. (2014). Methodology for determining the best and most effective use of the land plot on the basis of expert methods *Ekonomika i predprinimatel'stvo [Economics and Entrepreneurship]*, 4-2(45), 934–940 [in Russian].

Received 12.03.2021

© V. A. Pavlova, E. A. Stepanova, E. L. Uvarova, 2021

МЕТРОЛОГИЯ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

УДК 006:[528.531+528.517]

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-146-159

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ ТАХЕОМЕТРОВ И СВЕТОДАЛЬНОМЕРОВ

Георгий Афанасьевич Уставич

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, профессор кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55, e-mail: ystavich@mail.ru

Николай Сергеевич Косарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)706-91-95, e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Дмитрий Андреевич Баранников

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)753-95-82, e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

Иван Абид оглы Мезенцев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

Дмитрий Витальевич Бирюков

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (913)895-78-66, e-mail: birykovdmitriy1@gmail.com

Для обеспечения единства измерений необходимо выполнять периодические поверки геодезических приборов в соответствии с требованием соответствующих нормативных документов. Применительно к тахеометрам и светодальномерам обеспечение единства измерений должно выполняться путем проведения ежегодных периодических поверок с применением стационарных эталонных базисов 2-го или 3-го разряда, которые раньше были созданы практически во всех регионах страны. Однако к настоящему времени на территории РФ сохранилось всего два таких базиса. Причиной такого положения стало отсутствие надлежащего метрологического обеспечения длин линий самих эталонных базисов, вызванное необходимостью проведения организационных мероприятий, отсутствие подготовленных специалистов, а также значительные финансовые расходы на проведение полевых работ. В связи с этим возникла научно-техническая задача разработки локальной поверочной схемы (ЛПС) для обеспечения периодических поверок тахеометров и светодальномеров во всем диапазоне измеряемых расстояний, которая не требует создания стационарных эталонных базисов. Для этого предлагается схема ЛПС, основанная на применении способа прямых измерений расстояний. Сущность ее заключается в одновременном измерении выбранных расстояний эталонным и поверяемым тахеомет-

рами. Для этого на расположенных рядом двух штативах устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, которыми измеряется одно и то же расстояние. После этого тахеометры меняются местами и измерения повторяются. По окончании измерений производится сравнение измеренных расстояний эталонным и поверяемым тахеометрами. Затем по разности этих расстояний делается вывод о соответствии точности поверяемого прибора, заявленной в техническом паспорте. Результаты реализации предлагаемой ЛПС показали, что его схема обеспечивает точность измерений на уровне эталонного базиса 2-го разряда, а методика и точность передачи единицы длины соответствует требованиям нормативных документов.

Ключевые слова: метрологическая аттестация, локальная поверочная схема, тахеометр, ошибка измерений, эталонный прибор, расстояние, влияние температуры воздуха, способы сличения и прямых измерений

Введение

Для обеспечения единства измерений, выполняемых различными средствами измерений на территории Российской Федерации, федеральным законом [1] установлен порядок проведения соответствующих мероприятий. Применительно к геодезическим измерениям, например, линейным, выполняемым геодезическими приборами различного назначения и точности, обеспечение единства измерений соблюдается путем выполнения требований соответствующих нормативных документов [2–6]. Кроме того, мероприятия по обеспечению единства измерений (поверка, аттестация) должны выполняться с применением установленных нормативными документами эталонов.

Применительно к проведению периодических поверок светодальномеров (светодальномерных насадок) и тахеометров указанными нормативными документами в качестве эталонов длины регламентируется использовать линейные отрезки стационарных базисов соответствующего разряда (1, 2 и 3-го разрядов) [7–9]. В свою очередь эти линейные отрезки должны измеряться набором инварных проволок БП-1 или группой (не менее трех) высокоточных фазовых дальномеров; тем самым на них передается эталонная единица длины. Далее на этих базисах производится поверка рабочих средств линейных измерений.

В отношении стационарных линейных базисов необходимо отметить, что в настоящее время за редким исключением они не пригодны к проведению поверок рабочих

средств линейных измерений по следующим причинам:

- утрата части центров эталонного базиса данного разряда точности;
- прекращение периодических поверок этих базисов.

Основной причиной такого положения является прекращение периодических поверок еще существующих базисов вышестоящим эталонным средством измерений, вследствие чего не обеспечивается сохранение эталонной длины линейных отрезков и длины базиса в целом. Вместе с тем число специализированных организаций, которые имеют лицензию на проведение поверок тахеометров (светодальномеров, насадок) значительно больше. Следовательно, не все специализированные организации при проведении поверок указанных приборов могут обеспечить поверку их дальномерной части во всем диапазоне измеряемых расстояний (до 3–5 км) [10–13].

С учетом этого автором работы [13] предлагается схема проведения поверки тахеометров без применения стационарных линейных базисов. Эта поверка производится путем одновременного измерения (способом прямых измерений) произвольно выбранного расстояния эталонным и поверяемым тахеометрами (светодальномерами, насадками). Данная схема основана на применении в качестве эталонных средств измерений высокоточных фазовых дальномеров, которые, в свою очередь, поверяются с использованием исходного эталона единицы длины [15].

Для реализации данной схемы авторами предлагается на одной платформе, закреплен-

ной на штативе, устанавливать эталонный и поверяемый тахеометры, после чего одновременно, с разницей во времени 5–10 с, производить измерения конкретной линии на один отражатель. Так как при выполнении поверки необходимо иметь несколько линий с разными длинами, то изменение их длин может производиться двумя способами:

- перемещением отражателя по отношению к установленным на штативе тахеометрам;

- перемещением штатива с тахеометрами по отношению к отражателю.

Для исключения систематической ошибки за центрирование тахеометров измерение линий производится при двух положениях платформы: 0 и 180°.

Данная схема поверки по сравнению со стационарными линейными базами имеет следующие достоинства:

- отсутствует необходимость создавать стационарные линейные базы в различных регионах страны, включая регионы с наличием вечной мерзлоты;

- в связи с этим отсутствует необходимость выполнять комплекс работ по поверке стационарных линейных базисов вышестоящим эталонным средством в полевых условиях с установленной периодичностью, которая требует значительных материальных и временных затрат;

- реализация данной методики позволяет выполнять одним комплектом эталонного тахеометра поверки рабочих средств измерений в различных регионах страны. В этом случае каждый прибор для выполнения линейных измерений можно поверять в своем регионе, что приведет к значительному уменьшению финансовых затрат на транспортные расходы. Если организация, имеющая лицензию на проведение указанных поверок, имеет в наличии еще один эталонный тахеометр, то его также можно использовать для контроля результатов поверки;

- так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами (светодальномерами, насадками) выполняются одновременно при одинаковых значениях температуры, влажности и давления воздуха, то отсутствует необходимость введения поправок за метеосло-

вия. В данном случае определяется разность расстояний, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- в связи с тем, что измеряемые линии выбираются произвольно, отсутствует необходимость приводить измеряемые линии к исходной уровенной поверхности.

Недостатками данной схемы поверки являются:

- необходимость обеспечения надежного скрепления платформы с установленными на ней эталонным и поверяемым тахеометрами непосредственно со штативом;

- обеспечение поворота платформы с тахеометрами на 180° с ошибкой m_a порядка 45,0–60,0", так как в противном случае может произойти изменение длины измеряемой линии до 0,5–1,0 мм.

Следующей методикой поверки светодальномеров и тахеометров является методика, основанная на применении стационарных интерференционных компараторов, с помощью которых можно измерять (поверять) линейные отрезки длиной до 24,0 м.

Достоинством данной методики является возможность уверенного измерения длины линии в лабораторных условиях со средней квадратической ошибкой измерения равной 0,000 01 мм. Недостатком методики является отсутствие возможности выполнить поверку тахеометра (светодальномера) во всем возможном диапазоне измерения ими длин линий (до 5–7 км).

С учетом сказанного, в отношении состояния в настоящее время стационарных линейных базисов, можно сделать вывод, что исследования и разработка методики поверки рабочих средств линейных измерений являются актуальными и полезными геодезическому производству.

Поверочные схемы и методики измерений

Для устранения указанных выше недостатков методики поверки линейных рабочих средств измерений с применением эталонных тахеометров предлагается две схемы выполнения измерений (рис. 1).

Рис. 1. Схемы поверки тахеометров (светодальномеров):

а) первая поверочная схема; б) вторая поверочная схема

При их реализации выбирается равнинный участок местности, на которой можно разметить линию длиной до 1,0–1,5 км, а также линейные отрезки длиной 100,0–300,0 м. С целью исключения влияния пыли или дыма от выхлопных газов на результаты измерений линию желательно выбирать на расстоянии 50–70 м от автомобильной дороги. Для уменьшения влияния на результаты поверки метеопараметров измерения необходимо выполнять в сухую погоду, при отсутствии резких порывов ветра и температуре воздуха не выше 20–25 °С. С целью исключения влияния восходящих потоков воздуха измерения нельзя выполнять сразу после дождя. Если измерения будут выполняться в пасмурную погоду и интенсивность движения транспорта будет незначительной, то линию можно выбрать и на обочине автомобильной дороги. Если поверка будет производиться в зимний период, то измерения необходимо выполнять при отсутствии осадков и температуре воздуха не ниже –10 °С.

Первая локальная поверочная схема. При ее реализации могут быть использованы две методики выполнения измерений:

- с применением одного штатива, на который поочередно устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, и одного штатива с отражателем, который переставляется по мере увеличения длин линий;

- с применением одного штатива, на который поочередно устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, и заранее расположенных вдоль измеряемых линий нескольких штативов, на которые поочередно устанавливается отражатель.

При реализации первой методики в точках А и В (рис. 1, а) на штативах устанавливаются соответственно эталонный тахеометр и отражатель. Для обеспечения получения качественных результатов поверки необходимо выполнить следующие требования:

- штативы должны быть исправными, без люфтов в соединениях;
- штативы должны устанавливаться на бетонное основание или твердый грунт;
- не допускается установка штативов в летний период на асфальтовое покрытие;
- при выполнении измерений в зимнее время грунт, бетонное или асфальтовое покрытие должно быть тщательно очищено от снега и льда;
- для увеличения устойчивости штативов к их станковому винту необходимо подвешивать груз весом до 5–6 кг.

После выполнения указанных требований приступают к измерениям. Для этого установленные на штативах А и В соответственно эталонный тахеометр и отражатель тщательно приводятся в рабочее положение и проверяется их устойчивость. Для ослабления влия-

ния солнечной радиации над тахеометром обязательно устанавливается геодезический зонт. Расстояние между штативами A и B может быть любым. Однако в связи с тем, что при выполнении инженерно-геодезических работ на промплощадке длина измеряемых расстояний находится в пределах 30–80 м, то длину первой эталонной линии AB рекомендуется устанавливать в пределах 50–60 м. После этого производится измерение расстояния AB двадцать раз, что составляет одну серию. Затем эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр и серия из двадцати измерений повторяется.

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после чего штатив с отражателем переносится и устанавливается в точке C . С целью проведения поверки на различных расстояниях эталонную линию BC необходимо увеличить (в нашем случае она равна 230 м). После этого также выполняется измерение данной линии тремя приемами. Затем аналогичные действия выполняются и при установке штатива с отражателем в точках D и E . При этом также необходимо увеличивать длину эталонных линий.

Необходимо отметить, что нами рекомендуется устанавливать длину эталонных линий исходя из видов геодезических работ, при выполнении которых будет применяться поверяемый тахеометр. Например, если измерения будут выполняться на гребне плотины, то длины эталонных отрезков необходимо увеличить.

Важной особенностью рекомендуемых нами схем является тот факт, что при выполнении поверки величина поправки отражателя не влияет на полученные результаты, так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами выполняются на один отражатель.

Измерения с установкой отражателя на штативах в точках B , C , D и E составляют прямой ход. После этого аналогичным образом выполняется обратный ход. При выполнении обратного хода штатив с отражателем не центрируется над точками E , D , C и B , прямого хода, а может устанавливаться с отклонением примерно 0,5–1,0 м.

По окончании измерений приступают к обработке полученных результатов измерений. Для этого вычисляется:

- среднее значение всех длин линий для прямого и обратного ходов, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- разности $\Delta_{пр}$ и $\Delta_{обр}$ средних значений всех длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами в прямом и обратном ходе;
- среднее значение $\Delta_{ср}$ разности длин каждой линии;
- величины СКО измерений в каждом приеме для всех линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами, вычисленные по формуле Бесселя;
- величины СКО измерений для всех значений длин линий, вычисленные по формуле Гаусса.

При реализации второй методики в точке A (рис. 1, a) на штативе устанавливается эталонный тахеометр, а в точках B , C , D и E заранее устанавливаются штативы с подвешенными к ним грузами (в нашем случае их четыре). После этого производится измерение расстояния AB также двадцатью приемами, что составляет одну серию. Затем эталонный тахеометр аккуратно вынимается из трегера, на его место устанавливается поверяемый тахеометр и серия из двадцати измерений расстояния AB повторяется.

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после чего отражатель аккуратно вынимается из трегера штатива B и устанавливается в трегер штатива C . После этого также выполняется три приема измерений эталонным и поверяемым тахеометрами.

Такие измерения далее производятся с использованием установленных штативов в точках D и E . Указанные действия составляют прямой ход, после чего измерения выполняются в обратном ходе. Для этого отражатель аккуратно устанавливается в трегер штативов D , C и B .

Отличие второй методики от первой заключается в том, что в данном случае заранее установленными штативами фиксируются длины линий между ними, которые измеряются в прямом и обратном ходах. Разность

длин линий, полученная из прямого и обратного ходов, является дополнительным контролем качества выполнения поверки (измерений).

По окончании измерений приступают к обработке полученных результатов измерений. Для этого вычисляется:

- среднее значение всех длин линий для прямого и обратного ходов, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- среднее значение всех длин линий, полученное из прямого и обратного ходов, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;
- величины СКО измерений в каждом приеме для всех линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами, вычисленные по формуле Бесселя;
- величины СКО измерений для всех значений длин линий, вычисленные по формуле Гаусса;
- разности $\Delta_{\text{пр}}$ и $\Delta_{\text{обр}}$ средних значений всех длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами в прямом и обратном ходе;
- среднее значение $\Delta_{\text{ср}}$ разности длин каждой линии;
- среднее значение $\Delta_{\text{ср}}$ разностей длин всех длин линий по абсолютной величине.

Вторая локальная поверочная схема. При ее реализации также могут быть использованы две методики изменения длин эталонных линий с использованием двух штативов и одного отражателя.

Для реализации первой методики в точках A и A_1 (рис. 1, б) на штативах устанавливаются соответственно эталонный и поверяемый тахеометры, а в точке B на штативе устанавливается отражатель. Требования к обеспечению устойчивости штативов указаны выше. Для удобства выполнения измерений расстояние между штативами A и A_1 можно делать равным 60–70 см. При этом расстояния AB и A_1B между собой могут отличаться на любую величину, например, на 10–50 см. Это обусловлено тем, что измерение каждого расстояния будет производиться при двух установках тахеометров (эталонного и поверяемого) с последующим нахождением средних значений.

После приведения эталонного и поверяемого тахеометров в рабочее положение их зрительные трубы наводятся на отражатель, и наблюдатель поочередно, с интервалом не более 10–15 с (можно и одновременно), выполняет измерение линии; в этом случае эталонным тахеометром, установленным на штативе A , измеряется линия AB , а поверяемым, установленным на штативе A_1 , – линия A_1B .

Измерение линий каждым тахеометром производится двадцать раз, что составляет одну серию. После этого тахеометры аккуратно вынимаются из трегеров и переставляются местами. В этом случае эталонный тахеометр будет установлен на штативе A_1 , а поверяемый – на штативе A . После этого снова двадцать раз выполняется измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами соответственно линий A_1B и AB .

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после чего штатив с отражателем переносится и устанавливается в точке C с последующим измерением тремя приемами линий AC и A_1C . Затем аналогичные действия выполняются и при установке штатива с отражателем в точках D и E .

При выполнении поверки величина поправки отражателя не влияет на полученные результаты, так как измерения эталонным и поверяемым тахеометрами выполняются на один отражатель.

Измерения с установкой отражателя на штативах в точках B , C , D и E составляют прямой ход. После этого аналогичным образом выполняется обратный ход. При выполнении обратного хода штатив с отражателем не центрируется над точками E , D , C и B прямого хода, а устанавливается произвольно, примерно с отклонением 0,5–1,0 м.

Для реализации второй методики в точках A и A_1 (рис. 1, б) на штативах устанавливаются соответственно эталонный и поверяемый тахеометры. Затем в точках B , C , D и E на произвольно выбранных расстояниях устанавливаются штативы с подвешенными к ним грузами.

После приведения эталонного и поверяемого тахеометров в рабочее положение двадцать раз выполняется измерение линий соот-

ветственно AB и A_1B . Затем тахеометры аккуратно вынимаются из трегеров, переставляются местами и тремя приемами измеряются линии A_1B и AB .

Указанный объем измерений составляет один прием. Таких приемов выполняется не менее трех, после отражатель переносится и устанавливается в точке C с последующим измерением тремя приемами линий AC и A_1C . Затем аналогичные действия выполняются и при установке отражателя на штативы в точках D и E .

Измерения с установкой отражателя на штативы B , C , D и E составляют прямой ход.

После этого аналогичным образом выполняется обратный ход. При выполнении обратного хода отражатель аккуратно вынимается из трегера каждого штатива и устанавливается в следующий трегер.

Результаты исследований

При реализации первой ЛПС получены следующие результаты. В табл. 1 приведены средние значения длин линий из трех приемов, полученных с применением первой методики, а при использовании второй методики приведены в табл. 2.

Таблица 1

Средние значения длин линий при произвольной установке штатива с отражателем

Линии	Ход прямо, м		Ход обратно, м		D пр., мм	D обр., мм	D ср., мм
	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>			
AB	50,6248	50,624	50,6812	50,680	0,8	1,2	1,0
AC	101,2834	101,282	101,2908	101,280	1,4	0,8	1,1
AD	149,3812	149,383	149,3726	149,375	–1,8	–2,4	–2,1
AE	300,7477	300,750	300,7304	300,733	–2,3	–2,6	–2,4
							/1,6/

Таблица 2

Средние значения длин линий при установке отражателя на стационарные штативы

Линии	Ход прямо, м		Ход обратно, м		Среднее, м		D пр., мм	D обр., мм	D ср., мм
	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>	<i>TCR 1201</i>	<i>GeoMax</i>			
AB	50,2384	50,237	50,2386	50,237	50,2385	50,237	1,4	1,6	1,5
AC	100,6257	100,627	100,6255	101,627	100,6256	100,627	–1,3	–1,5	–1,4
AD	150,1342	150,136	150,1347	150,138	150,1344	150,137	–1,8	–3,3	–2,6
AE	300,4723	300,470	300,4728	300,471	300,4726	300,470	2,3	1,7	2,6
/2,1/									

Применительно к указанным длинам линий величины СКО измерений из трех приемов оказались следующими:

– для линии AB : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,8$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AB} = 0,7$ мм;

– для линии AC : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,9$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AC} = 0,7$ мм;

– для линии AD : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,2$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AD} = 1,4$ мм;

– для линии AE : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,3$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AE} = 1,2$ мм.

Применительно к указанным длинам линий величины СКО измерений из трех приемов оказались следующими:

– для линии AB : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,9$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AB} = 1,1$ мм;

– для линии AC : по формуле Бесселя $m_{AB} = 0,9$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AC} = 1,4$ мм;

– для линии AD : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,3$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AD} = 1,6$ мм;

– для линии AE : по формуле Бесселя $m_{AB} = 1,6$ мм, а по формуле Гаусса $m_{AE} = 1,8$ мм.

Некоторым недостатком первой ЛПС (двух методик) поверки является остаточное влияние на полученные результаты возмож-

ного изменения температуры воздуха, так как измерение линий эталонным и поверяемым тахеометрами производится с интервалом 12–15 мин.

Результаты измерений с использованием второй ЛПС (первой методики) приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты поверки тахеометра первой методикой с двумя штативами при произвольной установке отражателя (ход прямо, $t = +21$ °С)

S , м	TCR 1201, мм		GeoMax, мм		Разность Δ_1		Сумма расстояний (1 + 2)		Разности Δ_2, Δ_3
	1	2	1	2	1–1	2–2	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	50 045,7	50 297,4	50 046,8	50 298,1	–1,1	–0,7	100 343,1	100 344,9	–1,8
							50 171,6	50 172,4	–0,8
100	99 652,2	99 905,4	99 653,0	99 905,7	–0,8	–0,3	199 557,6	199 558,7	–1,1
							99 778,8	99 779,4	–0,6
150	150 310,4	150 562,8	150 310,0	150 562,3	0,4	0,5	300 873,2	300 872,3	0,9
							150 436,6	150 436,2	0,4
300	300 840,2	300 589,2	300 840,0	300 588,8	0,2	0,4	601 429,4	601 428,8	0,6
							300 714,7	300 714,2	0,5
500	499 070,7	499 320,9	499 069,8	499 320,0	0,9	0,9	998 391,6	998 389,8	1,8
							499 195,8	499 194,9	0,9

Таблица 4

Результаты поверки тахеометра первой методикой с двумя штативами при произвольной установке отражателя (ход обратно $t = +22$ °С)

S , м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности Δ_1		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности Δ_2 и Δ_3
	штатив A	штатив A_1	штатив A	штатив A_1	$A - A$	$A_1 - A_1$	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	50 097,4	50 292,1	50 097,8	50 292,8	–0,4	–0,7	100 389,5	100 390,6	–1,1
							50 194,8	50 195,3	–0,5
100	99 600,6	99 796,4	99 600,0	99 795,3	0,6	–1,1	199 397,0	199 395,3	1,7
							99 695,5	99 697,6	0,9
150	150 368,0	150 562,4	150 370,5	150 564,2	–1,5	–1,8	300 930,4	300 934,7	–4,3
							150 465,2	150 467,4	–2,2
300	301 633,2	301 829,5	301 631,4	301 827,2	1,8	2,3	603 462,7	603 458,6	4,1
							301 731,4	301 729,3	2,1
500	499 050,5	499 244,4	499 052,6	499 245,8	–2,1	–1,4	998 294,9	998 298,4	–3,5
							499 147,4	499 149,4	–2,0

По окончании измерений приступают к обработке полученных результатов измерений. Для этого в прямом ходе вычисляются (табл. 3):

- средние значения линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 при установке эталонного и поверяемого тахеометров соответственно на штативах A и A_1 ;

- средние значения этих же линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 после перестановок эталонного и поверяемого тахеометров соответственно на штативы A_1 и A ;

- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Бесселя;

- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Гаусса;

- разности Δ_1 средних значений (из двадцати измерений) длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- суммы $A_0 = (A + A_1)$ и среднее $A_0 = (A + A_1)/2$ значение условных линий A_0B , A_0C , A_0D и A_0E ,

измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- разности Δ_2 и Δ_3 соответственно, сумм $A_0 = (A + A_1)$ и средних значений $A_0 = (A + A_1)/2$ линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- среднее значение разностей Δ_3 по абсолютной величине (в нашем примере оно равно 1,2 мм).

Аналогичные вычисления производятся и в обратном ходе (см. табл. 4).

После этого по результатам измерений вычисляется:

- среднее значение $\Delta_{\text{ср}}$ разностей Δ_3 по абсолютной величине длин линий из прямого и обратного ходов (в нашем случае оно равно 1,3 мм);

- величина СКО, полученная по разностям Δ_3 , из прямого и обратного ходов (в нашем случае она равна 1,3 мм).

Результаты измерений с использованием второй ЛПС (второй методики) приведены в табл. 5 и 6.

Таблица 5

Результаты поверки тахеометра второй методикой с двумя штативами при установке отражателя на стационарные штативы (ход прямо, $t = +20^\circ\text{C}$)

S , м	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности Δ_1		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности Δ_2 и Δ_3
	штатив A	штатив A_1	штатив A	штатив A_1	$A - A$	$A_1 - A_1$	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	51 177,7	51 149,4	51 177,0	51 150,8	0,7	–1,4	102 327,1	102 327,8	–0,7
							51 163,6	51 163,9	–0,3
100	104 762,2	104 735,0	104 763,1	104 735,9	–1,1	–0,9	209 497,2	209 499,0	–1,8
							104 748,6	104 749,5	–0,9
150	153 687,4	153 561,8	153 686,0	153 560,3	1,4	1,5	307 249,2	3 007 246,3	2,9
							153 624,6	153 623,2	1,4
300	302 140,2	302 112,2	302 141,0	302 113,8	–0,8	–1,6	604 252,4	604 254,8	–2,4
							302 126,2	302 127,4	–1,2
500	510 649,6	510 623,3	510 652,0	510 625,0	–2,4	–1,7	1 021 272,9	1 021 277,0	–4,1
							510 636,4	510 638,5	–2,1

Таблица 6

Результаты поверки тахеометра второй методикой с двумя штативами при установке отражателя на стационарные штативы (ход обратно, $t = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

$S, \text{ м}$	TCR 1201 (средние значения из 20 измерений, мм)		GeoMax (средние значения из 20 измерений, мм)		Разности Δ_1		Сумма расстояний $A_0 = (A + A_1)/2$		Разности Δ_2 и Δ_3
	штатив A	штатив A_1	штатив A	штатив A_1	$A - A$	$A_1 - A_1$	TCR 1201	GeoMax	TCR 1201 – GeoMax
50	51 178,2	51 150,6	51 176,8	51 149,3	1,2	1,3	102 328,8	102 326,1	–2,7
							51 164,4	51 163,0	–1,4
100	104 760,3	104 735,2	104 762,4	104 737,4	–2,1	–2,2	209 495,5	209 499,8	–4,3
							104 747,8	104 749,9	–2,1
150	153 688,2	153 563,4	153 686,2	153 560,7	2,0	2,7	307 251,6	307 246,9	4,7
							153 625,8	153 623,4	2,4
300	302 141,5	302 114,0	302 139,0	302 111,8	2,5	2,2	604 255,5	604 250,8	4,7
							302 127,8	302 125,4	2,4
500	510 648,2	510 622,6	510 650,7	510 625,4	–2,5	–2,8	1 021 270,8	1 021 276,1	–5,3
							510 635,4	510 638,0	–2,6

После проложения прямого и обратного ходов вычисляются:

- средние значения линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 при установке эталонного и поверяемого тахеометров соответственно на штативы A и A_1 ;

- средние значения этих же линий AB и AB_1 , AC и AC_1 , AD и AD_1 , AE и AE_1 после перестановок эталонного и поверяемого тахеометров соответственно на штативы A_1 и A ;

- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Бесселя;

- величины СКО измерений для всех значений линий из трех приемов, измеренных поверяемым тахеометром, в прямом ходе, вычисленные по формуле Гаусса;

- разности Δ_1 средних значений (из двадцати измерений) длин линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- суммы $A_0 = (A + A_1)$ и среднее $A_0 = (A + A_1)/2$ значение линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- разности Δ_2 и Δ_3 соответственно, сумм $A_0 = (A + A_1)$ и средних значений $A_0 = (A + A_1)/2$ линий, измеренных эталонным и поверяемым тахеометрами;

- среднее значение разностей Δ_3 по абсолютной величине (в нашем примере оно равно 2,2 мм).

После этого по результатам измерений окончательно вычисляется:

- среднее значение $\Delta_{\text{ср}}$ разностей Δ_3 по абсолютной величине длин линий из прямого и обратного ходов (в нашем случае оно равно 1,7 мм);

- величину СКО, полученную по разностям Δ_3 , из прямого и обратного ходов (в нашем случае она равна 1,3 мм).

Из полученных результатов поверки следует, что поверяемый тахеометр относится к классу точных тахеометров.

В заключение отметим еще раз, что на качество выполненной поверки значительное влияние оказывает стабильность положения штативов, на которые устанавливаются эталонный и поверяемый тахеометры, а также отражатель.

Обсуждение результатов

Выполненные исследования подтвердили возможность проведения поверки тахеометров и светодальномеров с применением в качестве эталона 2-го разряда высокоточных фазовых дальномеров (тахеометров), а в качестве устройств (центров эталонного базиса)

фиксации длин линий-штативов. Тем самым создается поверочная система, которая достаточно просто может быть реализована в любом регионе РФ. Данное техническое решение не противоречит требованиям локальной поверочной схеме [2, 15]. Кроме того, организация, имеющая лицензию на выполнение поверки тахеометров и светодалномеров, может одним эталонным комплектом выполнять поверки в разных регионах.

Следовательно, производственным организациям нет необходимости затрачивать значительные финансовые и временные ресурсы на транспортировку поверяемого тахеометра (светодалномера) к месту нахождения специализированной организации, например, из Якутии в Новосибирск. В этом случае для решения данной задачи бригада из специализированной организации, например, из Новосибирска, вылетает с эталонным комплектом в Якутию и проводит поверку всех тахеометров (светодалномеров) данного региона. Так как такая метрологическая поверка производится ежегодно, то можно заранее согласовать время ее выполнения с организациями.

Непосредственно нашими исследованиями установлено, что:

- вес эталонного комплекта (тахеометр и два качественных штатива) составляет 11 кг; если два качественных штатива арендовать в регионе выполнения поверок, то вес данного комплекта не будет превышать 6–7 кг;
- транспортировка эталонного комплекта к месту выполнения измерений может быть выполнена любым транспортом;
- с целью исключения возможных механических повреждений эталонного тахеометра его транспортировка должна производиться со всеми предосторожностями: в салоне самолета, в купе поезда и в салоне автомобиля;
- выбор трассы для разбивки измеряемых линий не требует значительных затрат времени, так как для выполнения поверки может быть использован практически любой рельеф местности в населенных пунктах с твердым покрытием;
- время расстановки штативов с отражателем с использованием автомобильного транспорта не превышает одного часа;

– если при проведении поверки используются методики с произвольными длинами линий, то изменение расстояния между ними может производиться перемещением отражателя или тахеометров. В обоих случаях это перемещение может выполняться автомобильным транспортом по одной из следующих схем: «эталонный и поверяемый тахеометры неподвижны – перемещается отражатель» и «отражатель неподвижен – перемещаются эталонный и поверяемый тахеометры»;

– контроль полученных результатов в процессе выполнения измерений не представляет затруднений, так как значения измеряемых линий эталонным и поверяемым тахеометрами примерно одинаковы, и наблюдатель легко может обнаружить грубую ошибку.

Заключение

На основании выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

- предлагаемая ЛПС позволяет обеспечить передачу единицы длины на уровне точности стационарного эталонного базиса 2-го разряда;
- один комплект оборудования данной ЛПС позволяет проводить метрологическую аттестацию светодалномеров и тахеометров в разных регионах РФ, например, Западной Сибири или Дальнего Востока;
- метрологическая аттестация может проводиться практически в любом месте (город, сельское поселение);
- стоимость проведения метрологической аттестации с помощью предлагаемой ЛПС значительно меньше по сравнению с использованием эталонного базиса, а также уменьшается время на ее проведение.

В заключение необходимо ответить на вопрос о поверке самого эталонного тахеометра. Эта поверка должна производиться ежегодно с использованием рабочего эталона 1-го разряда, который в настоящее время подерживается в рабочем состоянии в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Федеральный научно-технический центр геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных» (ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об обеспечении единства измерений [Электронный ресурс] : федер. закон от 26.06.2008 № 102-ФЗ (ред. от 08.12.2020). – Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. ГОСТ 8.129–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений времени и частоты. – М. : Стандартинформ, 2013. – 8 с.
3. ГОСТ Р 53606–2009. Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2010. – 12 с.
4. ГОСТ Р 51774–01. Тахеометры электронные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2001. – 10 с.
5. ГОСТ 8.503–84. Государственная система обеспечений единства измерений. Государственная поверочная схема для средств измерений длины в диапазоне от 24 до 75 000 м. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.
6. МИ БГЕИ 40–03. Базисы эталонные. Методы поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 6 с.
7. МИ БГЕИ 30–94. Применение светодальномера СП-2 (Топаз) для аттестации базисов Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 1995. – 8 с.
8. МИ БГЕИ 15–03. Светодальномеры. Методика и средства поверки. Методика института. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 12 с.
9. Генике А. А., Бланк А. М. Особенности реализации метода метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 14–18.
10. Генике А. А., Бланк А. М., Чудновский В. С. О мерах метрологического контроля спутниковых координатных определений // Геодезия и картография. – 2002. – № 12. – С. 25–29.
11. Роблес Х. Геометрия спутниковых наблюдений при создании метрологического полигона // Геодезия и картография. – 2001. – № 7. – С. 7–12.
12. Широф Ф. В., Татевян Р. А., Кафтан В. И. К вопросу оценки точности измерения СГА больших расстояний // Геодезия и картография. – 2003. – № 8. – С. 11–13.
13. Уставич Г. А. К вопросу создания эталонных базисов для аттестации спутниковой аппаратуры и светодальномеров // Геодезия и картография. – 1999. – № 9. – С. 7–14.
14. Крылов В. Д., Спиридонов А. И. Роль компараторов и обеспечения единства измерений // Геодезия и картография. – 2003. – № 10. – С. 46–50.
15. РД 68-8.17–98. Локальные поверочные схемы для средств измерений топографо-геодезического и картографического назначения. – М. : ЦНИИГАиК, 1999. – 26 с.

Получено 05.04.2021

© Г. А. Уставич, Н. С. Косарев, Д. А. Баранников,
И. А. Мезенцев, Д. В. Бирюков, 2021

IMPROVING THE METHODOLOGY FOR METROLOGICAL CERTIFICATION OF TOTAL STATIONS AND LIGHT RANGE FINDERS

Georgij A. Ustavich

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

Nikolay S. Kosarev

Siberian State University of Geosystems and Technology, 10 Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia,
Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (913)706-91-95,
e-mail: kosarevnsk@yandex.ru

Dmitriy A. Barannikov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia,
Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (913)753-95-82,
e-mail: eddieogilvie@yandex.ru

Ivan A. Mezentsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (923)241-80-42, e-mail: vania.mezentzew@yandex.ru

Dmitriy V. Birukov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, Surveying, phone: (913)895-78-66, e-mail: birukovdmitriy1@gmail.com

To ensure the uniformity of measurements, it is necessary to perform periodic verifications of geodetic instruments in accordance with the requirements of the relevant regulatory documents. In relation to total stations and light meters, ensuring the uniformity of measurements should be carried out by conducting annual periodic checks with the use of stationary reference bases of the 2nd or 3rd category, which were previously created in almost all regions of the country. However, to date, only two such bases have been preserved on the territory of the Russian Federation. The reason for this situation was the lack of proper metrological support for the line lengths of the reference bases themselves, caused by the need for organizational measures, the lack of trained specialists, as well as significant financial expenses for field work. In this regard, there was a scientific and technical task of developing a local calibration scheme (LCS) to provide periodic verifications of total stations and light-emitting diodes over the entire range of measured distances, which does not require the creation of stationary reference bases. For this purpose, the LCS scheme is proposed, based on the use of the method of direct distance measurements. Its essence lies in the simultaneous measurement of the selected distances by reference and verified total stations. To do this, a reference total station and a verifiable one are installed on two tripods located next to each other, which measure the same distance. After that, the total stations are swapped and the measurements are repeated. At the end of the measurement, the measured distances are compared with the reference and verified total stations. Then, based on the difference between these distances, a conclusion is made about the accuracy of the device being tested, as stated in the technical data sheet. The results of the implementation of the proposed LCS showed that its scheme provides the accuracy of measurements at the level of the 2nd category reference basis, and the methodology and accuracy of the length unit transmission meets the of regulatory requirements.

Keywords: metrological certification, local calibration scheme, total station, measurement error, reference device, distance, influence of air temperature, methods of comparison and direct measurements

REFERENCES

1. Federal Law of June 26, 2008 No. 102-FZ (ed. of December 08, 2020). On ensuring the uniformity of measurements. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
2. Standards Russian Federation. (2013). GOST R 8.129-99. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for means measuring time and frequency. Moscow: Standartinform Publ., 8 p. [in Russian].
3. Standards Russian Federation. (2010). GOST R 53606-2009. Global navigation satellite system. Methods and technologies of geodetic and cadastral works execution. Metrological support. Basic principles. Moscow: Standartinform Publ., 12 p. [in Russian].
4. Standards Russian Federation. (2001). GOST R 51774-01. Electronic tacheometers. General specifications. Moscow: Standartinform Publ., 10 p. [in Russian].
5. Standards Russian Federation. (1984). GOST 8. 503-84. State system for ensuring the uniformity of measurements. State verification schedule for means of measuring length within the range of 24–75 000 m. Moscow: Standartinform Publ., 7 p. [in Russian].
6. MI BGEI 40-03. (2003). Reference bases. Verification methods. The Institute's methodology. Moscow: CNIIGAIK Publ., 6 p. [in Russian].
7. MI BGEI 30-94. (1995). Application of the SP-2 range finder (Topaz) for certification of bases. The Institute's methodology. Moscow: CNIIGAIK Publ., 8 p. [in Russian].
8. MI BGEI 15-03. (2003). Range finder. Methods and means of verification. The Institute's methodology. Moscow: CNIIGAIK Publ., 12 p. [in Russian].

9. Genike, A. A., & Blank, A. M. (2003). Features of the implementation of the method of metrological control of satellite coordinate definitions. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 14–18 [in Russian].
10. Genike, A. A., Blank, A. M., & Chudnovsky, V. S. (2002). On measures of metrological control of satellite coordinate definitions. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12, 25–29 [in Russian].
11. Robles, J. (2001). Geometry of satellite observations when creating a metrological polygon. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 7–12 [in Russian].
12. Shirov, F. V., Tatevyan, R. A., & Kaftan, V. I. (2003). On the issue of assessing the accuracy of measurement of satellite geodetic equipment for long distances. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 8, 11–13 [in Russian].
13. Ustavich, G. A. (1999). On the issue of creating reference bases for the certification of satellite equipment and range finder. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 9, 7–14 [in Russian].
14. Krylov, V. D., & Spiridonov, A. I. (2003). The role of comparators and ensuring the uniformity of measurements. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 46–50 [in Russian].
15. Guidance Document. (1999). GD 68-8.17-98. Local verification schemes for measuring instruments for topographic and geodetic and cartographic purposes. Moscow: CNIIGAIK Publ., 26 p. [in Russian].

Received 05.04.2021

© G. A. Ustavich, N. S. Kosarev, D. A. Barannikov,
I. A. Mezentsev, D. V. Birukov, 2021

УДК 621.38

DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-4-160-175

ДЕТЕКТОРЫ МИЛЛИМЕТРОВОГО И ТЕРАГЕРЦОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Игорь Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, Плеханового, 10, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института стратегического развития, e-mail: prof.minin@gmail.com

Олег Владиленович Минин

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, Плеханового, 10, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник Института стратегического развития, e-mail: prof.minin@gmail.com

Целью работы является аналитический обзор приемников излучения терагерцового и миллиметрового диапазонов. Произведена классификация приемников терагерцового излучения и их сравнительные характеристики. В работе рассмотрены различные аспекты применения терагерцового излучения, а также основные виды и типы приемников этого излучения. Проведен анализ фотонных и тепловых приемников, терагерцовых приемников на основе ячеек Голея, конвекторов терагерцового излучения в инфракрасное. В результате предложен метод повышения чувствительности приемников электромагнитного излучения на основе применения эффекта фотонной струи.

Ключевые слова: терагерцовый диапазон, фотоника, чувствительность, детекторы теплового типа, фотопроводящие детекторы, диоды Шоттки, конверторы, фотонная струя

Введение

Терагерцовый (ТГц) диапазон частот электромагнитного спектра лежит между инфракрасным диапазоном и областью миллиметровых длин волн. Граница ТГц-диапазона в настоящее время точно не определена. Считается, что нижняя граница терагерцового диапазона длин волн лежит в пределах 100–300 ГГц, а верхняя 3–10 ТГц [1].

ТГц-диапазон является областью сопряжения электроники и фотоники, существенно отличающихся как теоретической базой, так и техникой генерации, осуществления приема и обработки электромагнитных волн [1]. В этой же работе приведен хороший обзор применения ТГц-излучения в различных областях науки и техники.

ТГц- и миллиметровое излучение применяется в устройствах дефектоскопии, интроскопии и системах радиовидения [2–5], для поиска взрывчатых веществ и наркотиков [6], а также в археологии и искусствоведении [7].

Ведутся исследования процессов взаимодействия ТГц-излучения с различными материалами, например, биологическими тканями [8, 9], полимерами [10, 11], сверхпроводящими пленками [12], керамикой [13], метаматериалами [14, 15].

В настоящее время ТГц-излучение используется для томографии и других медицинских исследований [16–18], диагностики живых организмов, в приборах для диагностики рака кожи [19, 20], контроля ожоговых раневых поверхностей [21], влагосодержания биотканей [22], выявления зубного

кариеса [23] и т. д. На основе ТГц-излучения предложены методы лечения: NO-терапия [24], молекулярная ТГц-акустотерапия [25], ТГц-аэротерапия [26], ингаляционная ТГц-акустотерапия [27], термическая деструкция биотканей [28]. Разрабатываются устройства обнаружения и идентификации предметов, скрытых за препятствиями, например, для задач обеспечения безопасности и борьбы с терроризмом [29–32].

Интенсивно исследуются вопросы, посвященные передаче ТГц-сигналов в земной атмосфере и влиянию осадков, испарений, дыма и тумана [33–38]. Обзорные работы [39–43] посвящены детальному анализу проблем реализации ТГц-систем связи для передачи информации.

Детекторы миллиметрового и ТГц-излучения характеризуются набором параметров [44–46]: рабочий диапазон длин волн, порог чувствительности или эквивалентная мощность шума (NEP), вольт-ваттная или ампер-ваттная чувствительность, инерционность или время отклика, пространственное и угловое разрешение, рабочая температура, устойчивость к механическим, электрическим и световым перегрузкам и т. п.

Пространственное Δx и угловое $\Delta \varphi$ разрешения любого детектора подчиняются универсальному дифракционному неравенству $\Delta x \Delta \varphi \geq \lambda$, в котором знак равенства справедлив для оптимальных детекторов антенного типа. Ввиду малости кванта излучения в ТГц-диапазоне наименьший порог чувствительности имеют детекторы, охлаждаемые до температуры жидкого гелия. Наименьшее время отклика имеют детекторы с ха-

рактерными размерами в микронном и субмикронном диапазоне.

Основные результаты исследования

Исходя из принципа действия, детекторы могут быть разделены на три характерные группы [44]. Первая, самая многочисленная, группа – это детекторы теплового типа (термопары, термодатчики и основанные на них калориметры, пироэлектрические детекторы, оптико-акустические детекторы, микроболометры, охлаждаемые и сверхпроводящие болометры), работающие на принципе передачи тепла от широкополосного поглотителя к различным сенсорам. Характерной особенностью этих детекторов является широкий диапазон длин волн и, за исключением специальных микроконструкций, низкое или среднее временное разрешение. Например, пироэлектрические приемники имеют достаточно хорошую чувствительность в диапазоне длин волн 0,4–10 мкм и 300–3000 мкм [45–54].

В качестве приемников ТГц-излучения чаще всего применяются болометрические и диодные детекторы. Принцип работы сверхпроводниковых болометров (СПБ) основывается на явлении электронного разогрева [55, 56]. Российские сверхпроводящие болометры из тонких пленок MoRe и NbN рассмотрены в работах [57–62], а зарубежные, например, в работах [63, 64]. В таблице приведены характеристики сверхпроводящего болометра QNbTES/X фирмы QMC Instruments Ltd., Великобритания и QFI/X. Детектор работает при температуре не более 4,2 К и размещен на кварцевой пластине размерами 5 × 4,7 мм × 300 мкм [63].

Параметры сверхпроводящего болометра QNbTES/X и QFI/X

Эквивалентная шумовая мощность (NEP)	$< 1 \text{ пВт/Гц}^{0,5}$	$> 500 \text{ аВт/Гц}^{0,5}$
Рабочий диапазон частот	100 ГГц ... 20 ТГц	60 ... 500 ГГц
Частота отклика (3 дБ)	2 ГГц ... 1 кГц	1 МГц
Рабочая температура	8 К	4,2 К

В волноводных устройствах широко используется традиционный тип детекторов на диодах Шоттки. Широкую номенклатуру волноводных детекторов на диодах Шоттки с нулевым смещением предлагает фирма Virginia Diodes Inc., США [63].

Гораздо лучшее временное разрешение имеет вторая группа детекторов, основанная на эффекте фотопроводимости [44] (фотопроводимость на мелких примесных уровнях, эффекты нагрева свободных электронов в зоне проводимости, резонансная фотопроводимость

на переходах между уровнями Ландау полупроводника в магнитном поле). Эта группа характеризуется хорошей чувствительностью, однако ее существенным недостатком является необходимость охлаждения до гелиевых температур.

В третью группу можно отнести самые быстродействующие детекторы, основанные на диодах Шоттки микронного и субмикронного размера. Эти малогабаритные детекторы обычно работают при комнатной температуре на стенатуре. Основные недостатки этой группы – неустойчивость микродиодов к различным перегрузкам и довольно средняя чувствительность в низкочастотном диапазоне сигнальной частоты из-за фликкер-шумов.

Детекторы теплового типа (термопары и полупроводниковые датчики), несмотря на сравнительно низкую чувствительность ($NEP[ВтГц^{-1/2}] \approx 10^{-3}–10^{-4}$) и временное разрешение ($\tau \approx 10^0–10^{-3}$ с), могут работать в широком спектральном диапазоне: от 1 до 1 000 мкм и более. Сигнал с этих детекторов пропорционален температуре [45]. Отечественная промышленность выпускала калориметры ИМО-2, ИМО-4С.

Пироэлектрические детекторы [45, 65–72] основаны на пироэффекте – зависимости спонтанной поляризации некоторых кристаллов (TiO_2 , $LiTaO_3$, $LiNbO_3$, $BaTiO_3$ и др.) от температуры. Нагрев кристалла внешним излучением вызывает перетекание зарядов с его внешних металлических электродов через нагрузочное сопротивление. Отечественная промышленность выпускает малогабаритные детекторы МГ-30 и МГ-33 с приемным элементом 1×1 мм², $NEP \approx 6 \cdot 10^{-10}$ ВтГц^{-1/2}, $f_{max} = 200$ Гц. Хотя по паспорту детекторы сертифицированы до длин волн 20 мкм, они обладают хорошей чувствительностью и в субмиллиметровом диапазоне длин волн. За рубежом такие детекторы (но с большей приемной площадкой) выпускаются рядом фирм, например, фирмой Molelectron Detector Inc.

Несколько более высокую чувствительность и лучшую неселективность, чем пироприемники, имеют оптико-акустические детекторы (преобразователи). Оптико-акустический приемник, или термопневматический

детектор, или пневматический приемник излучения работает на принципе расширения газа при его нагреве [45, 73–75]. Оптико-акустический приемник (ОАП) имеет в своей основе конструкцию, впервые предложенную Голеем (М. J. E. Golay) в 1947 г. и часто называемую ячейкой Голея. Электромагнитная энергия поглощается алюминиевой пленкой, тепло от которой передается небольшому объему с ксеноновым газом. Камера имеет подвижную мембрану, которая изгибается во время расширения газа. Одна сторона мембраны имеет зеркальное покрытие, что позволяет изменять направление отраженного от нее оптического луча, падающего на фотоэлемент. Изменение освещенности фотоэлемента приводит к появлению сигнала. Оптико-акустический приемник по своим характеристикам приближается к идеальному приемнику, ограниченному лишь фотонными шумами. Недостатком таких детекторов является относительно низкое быстродействие ($\tau \approx 10^0–10^{-2}$ с), большая чувствительность к различным перегрузкам, увеличение габаритов детектора. Отечественная промышленность выпускает детекторы типа ОАП-7 с $NEP \approx 10^{-10}$ ВтГц^{-1/2}, $f_{max} = 25$ Гц. Эти же детекторы за рубежом продаются фирмой QMC Instruments Ltd.

Усовершенствование оптико-акустического приемника предложено в работе [76]. Оптико-акустический приемник содержит приемную камеру, снабженную входным окном с оптическим конусом, и оптический микрофон, а непосредственно между окном приемной камеры и оптическим конусом располагается диэлектрическая мезомасштабная частица, формирующая фотонную струю или монослой диэлектрических мезомасштабных частиц.

Фотонная струя – это область повышенной концентрации электромагнитной энергии, возникающая непосредственно у границы диэлектрической мезомасштабной частицы с поперечными размерами порядка $\lambda/3–\lambda/4$ и протяженностью от 2 до 10λ [77, 78], где λ – длина волны излучения в свободном пространстве. При этом размер частиц составляет не менее $\lambda/2$. Чем больше размер мезомасштабной частицы, тем эффективнее

осуществляется фокусировка излучения, но при этом возрастают потери излучения на отражение, уменьшая эффективность предлагаемого устройства. При формировании фотонных струй с помощью диэлектрических мезомасштабных частиц достигается высокая локализация высокоинтенсивного ближнего поля в объеме поглощающей пленки приемной камеры ОАП. Данное увеличение поглощения происходит с микроскопической точки зрения за счет того, что диэлектрическая мезомасштабная частица локально усиливает электрическое поле, а это приводит к появлению так называемых горячих пятен – субволновых областей концентрации излучения. Так как горячие пятна возникают в области занятой поглощающей излучение пленкой, то падающее излучение эффективно поглощается в ней. Таким образом, повышается эффективность ввода излучения в приемную камеру ОАП. Поглощенная пленкой энергия излучения передается газу, наполняющему камеру, в результате чего в камере возникают пульсации давления газа с частотой, равной частоте прерывания потока падающего излучения. Эти пульсации воспринимаются оптическим микрофоном.

Близкими по конструкции к пироприемникам являются микроболометры, основанные на тепловой зависимости сопротивления металлов от температуры. Достоинством этих детекторов является гораздо лучшее быстродействие ($NEP \approx 10^{-10} \text{ ВтГц}^{-1/2}$, $f_{\max} = 25 \text{ МГц}$).

Резкий скачок в увеличении чувствительности болометров дает его охлаждение до температур жидкого гелия и ниже. Хорошо известным представителем этого класса приборов являются Si-болометры фирмы Infrared Lab. ($T \approx 1,7 \text{ К}$, $NEP \approx 3 \cdot 10^{-15} \text{ ВтГц}^{-1/2}$, $f_{\max} = 200 \text{ Гц}$), которые за рубежом используются в экспериментах со слабым ТГц излучением фемтосекундных лазеров. В сверхпроводящих болометрах используется сильная нелинейность сопротивления сверхпроводника при выходе из сверхпроводящего состояния [44, 45].

Детекторы на основе фотопроводимости имеют немного меньшую чувствительность, но гораздо лучшее временное разрешение, чем охлаждаемые болометры. Типичные па-

раметры фотосопротивлений при $T \leq 4,2 \text{ К}$, $NEP \approx 10^{-11} - 10^{-13} \text{ ВтГц}^{-1/2}$, $f_{\max} = 10 - 30 \text{ МГц}$. Эти детекторы перекрывают диапазон длин волн от инфракрасного до сантиметрового. Для этого используются эффекты собственной и примесной фотопроводимости, фотопроводимость «горячих» электронов в зоне проводимости. В дальнем инфракрасном и миллиметровом диапазонах хорошо работает n-InSb детектор на «горячих» электронах в зоне проводимости. При наложении магнитного поля этот детектор приобретает узкополосность из-за квантования энергетических уровней (уровни Ландау). Сместить пик чувствительности детектора по длинам волн можно изменением величины магнитного поля.

Детекторы на основе диодов Шоттки имеют граничную частоту до $\approx 5 - 6 \text{ ТГц}$ [44] и чувствительность в режиме видеодетектора $NEP \approx 10^{-8} - 10^{-10} \text{ ВтГц}^{-1/2}$. Детектор этого типа неработоспособен без какой-либо антенны, собирающей заметную долю падающего излучения

Электрические методы выпрямления дают возможность преобразовать сигналы СВЧ в постоянный ток или ток низкой частоты. В качестве нелинейных элементов используют детекторы или преобразователи. Вследствие их простоты, высокой чувствительности и доступности детекторные устройства являются наиболее распространенными индикаторами. Нелинейность характеристики позволяет использовать кристаллические детекторы как для детектирования малых сигналов, так и в качестве преобразователей частоты. Если детектор используют в качестве преобразователя частоты, то на него совместно с измеряемым сигналом подается напряжение гетеродина, и на выходе выделяется ток биений [79]. При детектировании слабых сигналов в цепи детектора появляется выпрямленный ток. Например, смесительный диод типа Д-407, выпускаемый промышленностью и рассчитанный на рабочую частоту излучения 75 ГГц , имеет хорошую чувствительность и в более высокочастотной области, примерно до 200 ГГц .

Детекторы с точечным контактом [45]. Полупроводниковые диоды с точечным контактом являются весьма чувствительными, простыми и быстродействующими детектор-

ными устройствами. Эти диоды используются в качестве видеодетекторов и смесителей до длин волн примерно 0,3 мм. Одним из недостатков обычных точечных диодов является нестабильность их характеристик и чувствительность к перегрузкам.

Общим недостатком в СВЧ-приемниках с волноводным входом является их недостаточная чувствительность, обусловленная малыми размерами чувствительного элемента по сравнению с характерным сечением волновода. Инновационным решением этой проблемы является решение, предложенное в [79, 80] для детекторной СВЧ-головки. Задача решена за счет того, что в детекторной головке, содержащей детекторный диод и корпус, выполненный в виде основания и крышки, сопряженных по плоскости, перпендикулярной к волноводному каналу (причем в основании выполнен сквозной волноводный канал, а в крышке – короткозамыкатель; между основанием и крышкой установлена полосковая плата, на которой расположены фильтр, контактная площадка, являющаяся выходом детекторной головки, детекторный диод, оба вывода которого присоединены к проводникам платы с внешней стороны основания непосредственно над сквозным волноводным каналом), установлена диэлектрическая мезоразмерная частица, формирующая фотонную струю, а расстояние между внешней поверхностью основания и детекторным диодом, расположенным на полосковой плате, составляет не более длины фотонной струи, формируемой указанной диэлектрической частицей.

Детекторная головка работает следующим образом. Электромагнитная волна падает на диэлектрическую частицу, формирующую фотонную струю, которая направлена в сквозной волноводный канал в направлении короткозамыкателя, и поступает на волноводно-полосковый переход в зоне сквозного волноводного канала и короткозамыкателя, где происходит преобразование волны H_{01} прямоугольного волновода в квази-ТЕМ волну полосковой линии. Далее электромагнитная волна поступает на детекторный диод, подключенный последовательно полосковой линии. Геометрические размеры полосковой линии выбираются из соображения установки детекторного

диода в зоне с наиболее высоким коэффициентом преобразования СВЧ-поля в постоянный ток. По постоянному току детекторный диод соединен с выходом детекторной головки. Постоянный ток с выхода детекторной головки поступает на центральный контакт коаксиального разъема, корпус которого электрически соединен с корпусом детекторной головки.

Диэлектрическая частица обеспечивает дополнительную локализацию падающего на нее волнового фронта в виде фотонной струи в зоне сквозного волноводного канала, чем обеспечивается дополнительное усиление падающей электромагнитной волны пассивными средствами. При этом поперечный размер области фокусировки (фотонной струи) диэлектрической частицы меньше дифракционного предела и составляет около $1/3$ длины волны в свободном пространстве, что меньше характерных размеров сквозного волноводного канала. Выполнение диэлектрической частицы мезоразмерной (характерный размер порядка длины волны излучения в свободном пространстве) позволяет минимизировать геометрические размеры детекторной головки.

Другими словами, используя эффект фотонной струи в волноводе, возможно сфокусировать электромагнитное поле на чувствительный элемент.

Принцип построения диэлектрических мезоразмерных частиц произвольной трехмерной формы для формирования фотонных струй с поперечным размером каустики порядка трети длины волны и длиной от 0 до 10 длин волн рассмотрен в [77, 81–84]. Выполнение диэлектрической частицы в виде кубика (частица с плоской гранью) позволяет упростить крепление частицы на основании детекторной головки. Предлагаемое техническое решение позволяет увеличить чувствительность детекторной головки при широком поле зрения (угла падения излучения на волноводный канал).

Для подтверждения правильности выбранного технического решения были изготовлены лабораторные образцы детекторных головок Ка-диапазона, в которых в качестве детекторного диода использован 3A149A с балочными выводами. Корпус выполнен из латуни с галь-

ваническим покрытием Ср6. Полосковая плата выполнена на основе двухстороннего фольгированного термостойкого материала с керамическим наполнителем, усиленным стекловолокном RO4003. Диэлектрическая частица была выполнена кубической формы из фторопласта с размером грани, равной длине волны излучения в свободном пространстве. Увеличение усиления, падающего на детекторную головку, составило 8 дБ при изменении угла падения излучения на диэлектрическую частицу в пределах ± 40 градусов [80–85].

В работе [86] исследовалась возможность использования тлеющих разрядов в качестве детекторов электромагнитного излучения на частотах 100 и 250 ГГц. В качестве приемника применялась зеленая неоновая индикаторная лампа № 523.

Для регистрации изображения в ТГц-диапазоне с использованием конверсии ТГц-излучения в тепловое ИК-излучение используются специальные конверторы. Например, известно устройство для создания изображения в ТГц-лучах [87]. Материалом для преобразователей служит вода, стекло, углеродные нанотрубки или материал, содержащий их. Размер преобразователей от 50 до 500 мкм. Известен конвертер ТГц-излучения в ИК-излучение, состоящий из слоя искусственно созданного метаматериала с резонансным поглощением ТГц-излучения, нанесенного на твердую подложку из сапфира, расположенный между входным ТГц-объективом и объективом приемной камеры (видимого света), расположенной со стороны подложки; источник видимого света, настроенный для освещения задней стороны конвертера; и камеру с объективом и детектором, адаптированным для выявления излучения видимого света от задней стороны конвертера. При этом конвертер состоит из жидкокристаллического слоя, нанесенного на жесткую подложку из сапфирового стекла, и содержит поглощающий слой, включающий в себя частицы металла в виде порошка (железа, алюминия, олова или меди), а детектор принимает соответствующее изображению излучение видимого света, сформированное на задней грани конвертера [88]. В работе [89] конвертер терагерцового излучения в инфракрасное излучение состоял

из слоя искусственно созданного метаматериала с резонансным поглощением терагерцового излучения, нанесенного на твердую подложку, расположенный между входным терагерцовым объективом и объективом инфракрасной камеры, при этом конвертер выполнен на основе желатиновой матрицы, содержащей наночастицы металла, и снабжен отсекающим фильтром, размещенным перед матрицей с возможностью фильтрации теплового излучения источника терагерцового излучения с длинами волн не более 30 мкм.

В качестве преобразователей ТГц-излучения в инфракрасное излучение могут быть использованы, например, конверторы терагерцового излучения в инфракрасное [90–98]. Мощность ТГц-излучения, эквивалентная шуму для конвертора, достигает величины порядка 10^{-9} Вт/Гц^{1/2}.

Повысить качество получаемого терагерцового изображения объектов возможно за счет увеличения чувствительности устройства. Это можно достичь за счет размещения на освещенной поверхности конвертора терагерцового излучения монослоя диэлектрических мезоразмерных частиц, формирующих фотонные струи, и с характерным размером частиц не менее $\lambda/2$, где λ – длина волны используемого излучения, при этом выбирают коэффициент преломления материала частиц, лежащий в диапазоне примерно от 1,2 до 1,7.

В результате проведенных исследований было установлено, что при освещении диэлектрической мезоразмерной частицы, например, сферической формы, величина интенсивности электромагнитного поля на ее теневой стороне в области «фотонной» струи по отношению к интенсивности излучения на ее освещенной стороне больше и зависит только от показателя преломления материала n частицы. Например, для $n \approx 1,65$ усиление такой сферической мезоразмерной частицы достигает около 100 [99], в то время как размер пятна (ширина фотонной струи) пропорционален размеру частиц и может быть менее чем $\lambda/3$ – $\lambda/5$. За счет меньшей по объему формируемой области фокусировки достигается большая интенсивность облучения.

В первом приближении интенсивность электромагнитного поля в области фокуса

(фотонной струи) может быть оценена по выражению, для сферической частицы [99]:

$$I_{\max} = \frac{27n^4}{(4-n^2)^3} I_0,$$

где I_0 – интенсивность падающей на частицу волны.

При характерном размере частиц менее $\lambda/2$, где λ – длина волны используемого излучения, область фокусировки типа фотонной струи не формируется.

При коэффициенте преломления материала частиц менее примерно 1,2 область фокусировки становится более дифракционного предела и повышение чувствительности устройства не происходит. При коэффициенте преломления материала частиц более примерно

1,7 область фокусировки типа фотонной струи смещается вовнутрь частицы и повышение чувствительности устройства не происходит.

Заключение

В работе рассмотрены различные аспекты применения терагерцового излучения, а также основные виды и типы приемников этого излучения. Проведен анализ фотонных и тепловых приемников, терагерцовых приемников на основе ячеек Голя, конвекторов терагерцового излучения в инфракрасное. Предложен метод повышения чувствительности приемников электромагнитного излучения на основе применения эффекта фотонной струи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Исаев В. М., Кабанов И. Н., Комаров В. В., Мещанов В. П. Современные радиоэлектронные системы терагерцового диапазона // Доклады ТУСУРа. – 2014. – № 4 (34). – С. 5–16.
2. Минин И. В., Минин О. В. Сканирующее устройство на основе диска Нипкова с субдифракционным разрешением в миллиметровом, терагерцовом, инфракрасном и оптическом диапазонах длин волн : Патент РФ 171360. – Оpubл. 29.05.2017. – Бюл. № 16.
3. Минин И. В., Минин О. В. Устройство формирования изображения объектов с субдифракционным разрешением в миллиметровом, терагерцовом, инфракрасном и оптическом диапазонах длин волн : Патент РФ 182458. – Оpubл. 17.08.2018. – Бюл. № 23.
4. Минин И.В., Минин О.В. Способ формирования изображения объектов с субдифракционным разрешением в миллиметровом, терагерцевом, инфракрасном и оптическом диапазонах длин волн : Патент РФ 2631006. – Оpubл. 15.09.2017. – Бюл. № 26.
5. Ожегов Р. В., Горшков К. Н., Окунев О. В., Гольцман Г. Н., Кошелец В. П., Филиппенко Л. В., Кинёв Н. В. Флуктуационная чувствительность и стабильность приемников с СИС и НЕВ смесителями для терагерцового тепловидения. – М. : МПГУ, 2014. – 104 с.
6. Kemp M. C. Explosive detection by terahertz spectroscopy – a bridge too far // IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 282–292.
7. Jackson J. B., Bowen J., Walker G., Labaune J., Mourou G., Menu M., Fukunaga K. A survey of terahertz applications in cultural heritage conservation science. // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 220–231.
8. Reid C. B., Reese G., Gibson A. P., Wallace V. P. Terahertz time-domain spectroscopy of human blood // Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2013. – Vol. 3, № 4. – P. 363–367.
9. Saviz M., Spathmann O., Streckert J., Hansen V., Clemens M., Faraji-Dana R. Theoretical estimation of safety thresholds for terahertz exposure of surface tissues // Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2013. – Vol. 3, № 5. – P. 635–640.
10. Fischer B. M., Wietzke S., Reuter M., Peters O., Gente R., Jansen C., Vieweg N., Koch M. Investigating material characteristics and morphology of polymers using terahertz technology // Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2013. – Vol. 3, № 3. – P. 259–268.
11. Jin Y. S., Kim G. J., Jeon S. G. Terahertz dielectric properties of polymers // Journal of Korean Physics Society. – 2006. – Vol. 49, № 2. – P. 513–517.
12. Pracht U. S., Heintze E., Clauss C., Hafner D., Bek R., Werner D., Gelhorn S., Scheffler M., Dressel M., Sherman D., Gorshunov B., Il'in K. S., Henrich D., Siegel M. Electrodynamics of the superconducting state in ultra-thin films at THz frequencies // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2013. – Vol. 3, № 3. – P. 269–280.

13. Takano K., Yakiyama Y., Shibuya K., Izumi K., Miyazaki H., Jimba Y., Miyamaru F., Kitahara H., Hangyo M. Fabrication and performance of TiO₂-ceramic-based metamaterials for terahertz frequency range // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2013. – Vol. 3, № 6. – P. 812–819.
14. Withayachumnankul W., Abbott D. Metamaterials in the Terahertz regime // IEEE Photonics Journal. – 2009. – Vol. 1, № 2. – P. 99–118.
15. Chen H.-T., O'Hara J. F., Taylor A. J., Averitt R. D. Complementary planar terahertz metamaterials // Optics Express. – 2007. – Vol. 15, № 3. – P. 1084–1095.
16. Taylor Z. D., Singh R. S., Bennett D. B., Tewari P., Kealey C. P., Bajwa N., Culjat M. O., Stojadinovic A., Lee H., Hubschman J. P., Brown E. R., Grundfest W. S. THz medical imaging: in vivo hydration sensing // IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 201–219.
17. Ajito K., Ueno Y. THz chemical imaging for biological applications // IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 293–300.
18. Гуляев Ю. В., Креницкий А. П., Бецкий О. В., Майбородин А. В., Киричук В. Ф. Терагерцовая техника и ее применение в биомедицинских технология // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 9. – С. 30–35.
19. Woodward R. M., Cole B. E., Wallace V. P., Pye R. J., Arnone D. D., Linfield E. H., Pepper M. Terahertz pulse imaging in reflection geometry of skin cancer and skin tissue // Physics in Medicine and Biology. – 2002. – Vol. 47. – P. 3853–3855.
20. Pickwell E., Cole B. E., Fitzgerald A. J., Wallace V. P., Pepper M. Simulation of terahertz pulse propagation in biological systems // Applied Physics Letters. – 2004. – Vol. 84. – P. 2190–2192.
21. Taylor Z. D., Singh R. S., Culjat M. O., Suen J. Y., Grundfest W. S., Lee H., Brown E. R. Reflective terahertz imaging of porcine skin burns // Optics Letters. – 2008. – Vol. 33. – P. 1258–1260.
22. Bennett D. B., Li W., Taylor Z. D., Grundfest W. S., Brown E. R. Stratified media model for terahertz reflectometry of the skin // IEEE Sensors. – 2010. – Vol. 11. – P. 1530–1534.
23. Hirmer M., Danilov S. N., Giglberger S., Putzger J., Niklas A., Jager A., Hiller K. A., Loffler S., Schmalz G., Redlish B., Schulz I., Monkman G., Ganichev S. D. Spectroscopic study of human teeth and blood visible to terahertz frequencies for clinical diagnostics of dental pulp vitality // International Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves. – 2012. – Vol. 33. – P. 366–375.
24. Бецкий О. В., Киричук В. Ф., Креницкий А. П., Майбородин А. В., Тупикин В. Д. Оксид азота и электромагнитное излучение КВЧ (Информационное взаимодействие в живых объектах, подвергнутых воздействию электромагнитных КВЧ колебаний на частоте молекулярного спектра поглощения и излучения оксида азота) // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. – 2002. – № 10–11. – С. 95–108.
25. Майбородин А. В., Креницкий А. П., Бецкий О. В. Молекулярная КВЧ-акустотерапия // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2003. – № 4. – С. 8–10.
26. Креницкий А. П., Майбородин А. В. КВЧ-аэротерапия – новый, природный, естественный, экологически чистый метод лечения // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2002. – № 4. – С. 21–23.
27. Гуляев Ю. В., Креницкий А. П., Бецкий О. В., Майбородин А. В., Киричук В. Ф. Терагерцовая техника и ее применение в биомедицинских технологиях // Успехи современной радиоэлектроники. – 2008. – № 9. – С. 30–35.
28. Neelakanta P. S., Sharma B. Conceiving THz endometrial ablation: feasibility, requirements and technical challenges // IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology. – 2013. – Vol. 3, № 4. – P. 402–408.
29. Lee Y.-S. Principles of Terahertz Science and Technology. – Berlin: Springer, 2009. – P. 159–170.
30. Handbook of terahertz technology for imaging, sensing and communications / Edited by Daryoosh Saeedkia. – Cambridge : Woodhead Publishing, 2013. – 688 p.
31. Siegel P. H. Terahertz technology // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. – 2002. – Vol. 50, № 3. – P. 910–928.
32. De Maagt P., Bolivar P. H., Mann C. Terahertz science, engineering and systems – from space to earth applications // Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering / ed. by K. Chang. – N.Y. : Wiley-Interscience, 2005. – P. 5176–5194.
33. Yang Y., Mandehgar M., Grischkowsky D. R. Broadband THz pulse transmission through the atmosphere // IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 264–273.
34. Van Exter M., Fattinger C., Grischkowsky D. Terahertz time-domain spectroscopy of water vapor // Optics Letters. – 1989. – Vol. 14. – P. 1128–1130.

35. Yang Y., Shutler A., Grischkowsky D. Measurement of the transmission of the atmosphere from 0.2 to 2 THz // *Optics Express*. – 2011. – Vol. 19. – P. 8830–8838.
36. Weber M. J., Yang B. B., Kulie M. S., Bennartz R., Booske J. H. Atmospheric attenuation of 400 GHz radiation due to water vapor // *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*. – 2012. – Vol. 2, № 3. – P. 355–360.
37. Rosker M. J., Wallace H. B. Imaging through the atmosphere at terahertz frequencies // *Proceedings of the International IEEE/MTT-S*. – Honolulu, USA, 2007. – P. 773–776.
38. Brown E. R. Fundamentals of terrestrial millimeter-wave and THz remote sensing // *Int. J. High Speed Electronics and Systems*. – 2003. – Vol. 13, № 4. – P. 995–1097.
39. Federici J., Moeller L. Review of terahertz and subterahertz wireless communications // *Journal of Applied Physics*. – 2010. – Vol. 107, № 11. – Article ID 111101. – 22 p.
40. Song H.-J., Nagatsuma T. Present and future of terahertz communications // *IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology*. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 256–263.
41. Armstrong C. M. The truth about terahertz // *IEEE Spectrum*. – 2012. – No 9. – P. 36–41.
42. Kleine-Ostermann T., Nagatsuma T. A review on terahertz communication research // *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*. – 2011. – Vol. 32, № 2. – P. 143–171.
43. Nagatsuma T., Horiguchi S., Minamikata Y., Yoshimizu Y., Hisatake S., Kuwano S., Yoshimoto N., Terada J., Takahashi H. Terahertz wireless communications based on photonics technologies // *Optics Express*. – 2013. – Vol. 21, № 21. – P. 23736–23747.
44. Кубарев В. В. Детекторы терагерцового излучения // Сб. тр. Первого рабочего совещания «Генерация и применение терагерцового излучения» (Новосибирск, 24-25 ноября 2005 г.). – Новосибирск : Институт ядерной физики им. Г. И. Будкера, 2006. – С. 35–40.
45. Техника субмиллиметровых волн / Колл. авторов под ред. Р. А. Валитова. – М. : Советское радио, 1969. – 480 с.
46. Rodriguez-Morales F., Yngvesson S., Gu D. Integrated terahertz hot-electron-bolometer receivers from FPAs. – *Laser Focus World*, 2007. – P. 77–80.
47. Andreev V. G., Angeluts A. A., Vdovin V. A., Lukichev V. F. Spectral characteristics of nanometer-thick chromium films in terahertz frequency range // *Tech. Phys. Lett.* – 2015. – Vol. 41, № 2. – P. 180–183.
48. Batra A. K., Edwards M. E., Guggilla P., Aggarwal M. D., Lal R. B. Pyroelectric properties of PVDF: MWCNT nanocomposite film for uncooled infrared detectors and medical applications // *Integrated Ferroelectrics*. – 2014. – Vol. 158, № 1. – P. 98–107.
49. Edwards M., Corda J., Egarievwe S., Guggilla P. Measurement of the dielectric, conductance and pyroelectric properties of MWCNT: PVDF nanocomposite thin films for application in infrared technologies // *Proc. SPIE. Infrared Sensors, Devices and Applications III*. – 2013. – Vol. 8868. – Article № 88680E.
50. Goncharenko B. G., Salov V. D., Zhukov A. A., Zorin S. M., Kozlov V. V., Korpukhin A. S. Algorithm for elimination of structural noise in an image intensifier with pyroelectric array // *Journal of Communications Technology and Electronics*. – 2018. – Vol. 63, № 5. – P. 485–490.
51. Hossain A., Rashid M. Pyroelectric Detectors and Their Applications // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 1991. – Vol. 27, № 5. – P. 824–829.
52. Müller R., Bohmeyer W., Kehrt M., Lange K., Monte C., Steiger A. Novel detectors for traceable THz power measurements // *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. – 2014. – Vol. 35, № 8. – P. 659–670.
53. Müller R., Gutschwager B., Hollandt J., Kehrt M., Monte C., Müller R., Steiger A., Characterization of a Large-Area Pyroelectric Detector from 300 GHz to 30 THz // *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. – 2015. – Vol. 36, № 7. – P. 654–661.
54. Rogalski A., Sizov F. Terahertz detectors and focal plane arrays // *Opto-Electronics Review*. – 2011. – Vol. 19, № 3. – P. 346–404.
55. Пентин И. В., Смирнов К. В., Вахтомин Ю. Б., Смирнов А. В., Ожегов Р. В., Дивочий А. В., Гольцман Г. Н. Быстродействующий терагерцевый приемник и инфракрасный счетчик одиночных фотонов на эффекте разогрева электронов в сверхпроводниковых тонкопленочных наноструктурах // *Труды МФТИ*. – 2011. – Т. 3, № 2. – С. 38–42.
56. Karasik B. S., Sergeev A. V., Prober D. E. Nanobolometers for THz photon detection // *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*. – 2011. – Vol. 1, № 1. – P. 97–111.
57. Milostnaya I., Korneev A., Tarhov M., Divoichiy A., Minaeva O., Seleznev V., Kaurova N., Voronov B., Okunev O., Chulkova G., Smirnov K., Gol'tsman G. Superconducting single photon nanowire detectors for IR and THz applications // *Journal of Low Temperature Physics*. – 2008. – Vol. 151. – P. 591–596.

58. Divochiy A., Marsili F., Bitauld D., Gaggero A., Leoni R., Mattioli F., Korneev V., Seleznev V., Kaurova N., Minaeva O., Gol'tsman G., Lagoudakis K., Benkhaoul M., Levy F., Fiore A. Superconducting nanowire photon number resolving detector at telecom wavelength // *Nature Photonics*. – 2008. – № 2. – P. 32–36.
59. Wei J., Olaya D., Karasik B. S., Pereverzev S. V., Sergeev A. V., Gershonson M. E. Ultrasensitive hot-electron nanobolometers for terahertz astrophysics // *Nature Nanotechnology*. – 2008. – Vol. 3. – P. 496–500.
60. Gonzalez F. J., Ilic B., Alda J., Boreman G. D. Antenna-coupled infrared detectors for imaging applications // *IEEE Journal of Selected Topics of Quantum Electronics*. – 2005. – Vol. 11, № 1. – P. 117–120.
61. Hammar A., Cherednichenko S., Bevilacqua S., Drakinskiy V., Stake J. Terahertz direct detection in $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ microbolometers // *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*. – 2011. – Vol. 1, № 2. – P. 390–394.
62. Cherednichenko S., Hammar A., Bevilacqua S., Drakinskiy V., Stake J., Kabanov A. A room temperature bolometers for terahertz coherent and incoherent detection // *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*. – 2011. – Vol. 1, № 2. – P. 395–402.
63. Алавердян С. А., Боков С. И., Булгаков В. О., Зайцев Н. А., Исаев В. М., Кабанов И. Н., Катушкин Ю. Ю., Комаров В. В., Креницкий А. П., Мещанов В. П., Савушкин С. А., Сыромятников А. В., Якунин А. С. Терагерцовый диапазон частот: электронная компонентная база, вопросы метрологического обеспечения // *Обзоры по электронной технике. Сер. 1. Электроника СВЧ*. – М. : ЦНИИ «Электроника», 2012. – 74 с.
64. Insight Product Co. Terahertz Hot Electron Bolometer Detectors from 0.3 to 150 THz , 2011 [Electronic resource]. – Mode of access : <http://www.insight-product.com/detect3.htm>.
65. Andreev V. G., Angeluts A. A., Vdovin V. A., Lukichev V. F. Spectral characteristics of nanometer-thick chromium films in terahertz frequency range // *Tech. Phys. Lett.* – 2015. – Vol. 41, № 2. – 2015. – P. 180–183.
66. Batra A. K., Edwards M. E., Guggilla P., Aggarwal M. D., Lal R. B. Pyroelectric properties of PVDF: MWCNT nanocomposite film for uncooled infrared detectors and medical applications // *Integrated Ferroelectrics*. – 2014. – Vol. 158, № 1. – P. 98–107.
67. Edwards M., Corda J., Egarievwe S., Guggilla P. Measurement of the dielectric, conductance and pyroelectric properties of MWCNT: PVDF nanocomposite thin films for application in infrared technologies // *Proc. SPIE. Infrared Sensors, Devices and Applications III*. – 2013. – Vol. 8868. – Article № 88680E.
68. Goncharenko B. G., Salov V. D., Zhukov A. A., Zorin S. M., Kozlov V. V., Korpukhin A. S. Algorithm for elimination of structural noise in an image intensifier with pyroelectric array // *Journal of Communications Technology and Electronics*. – 2018. – Vol. 63, № 5. – P. 485–490.
69. Hossain A., Rashid M. Pyroelectric Detectors and Their Applications // *IEEE Transactions on Industry Applications*. – 1991. – Vol. 27, № 5. – P. 824–829.
70. Müller R., Bohmeyer W., Kehrt M., Lange K., Monte C., Steiger A. Novel detectors for traceable THz power measurements // *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. – 2014. – Vol. 35, № 8. – P. 659–670.
71. Müller R., Gutschwager B., Hollandt J., Kehrt M., Monte C., Müller R., Steiger A., Characterization of a Large-Area Pyroelectric Detector from 300 GHz to 30 THz // *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*. – 2015. – Vol. 36, № 7. – P. 654–661.
72. Rogalski A., Sizov F. Terahertz detectors and focal plane arrays // *Opto-Electronics Review*. – 2011. – Vol. 19, № 3. – P. 346–404.
73. Панкратов М. А. Современные оптико-акустические приемники излучения // *Оптический журнал*. – 1994. – № 5. – С. 5–6.
74. Гибин И. С., Котляр П. Е. Неохлаждаемые матричные терагерцовые преобразователи изображений. Принципы конструирования // *Прикладная физика*. – 2019. – № 4. – С. 80–86.
75. Гибин И. С., Котляр П. Е. Приемники излучения терагерцового диапазона (обзор) // *Успехи прикладной физики*. – 2018. – Т. 6, № 2. – С. 117–129.
76. Минин И. В., Минин О. В. Оптико-акустический приемник : Патент РФ 170388. – Оpubл. 24.04.2017. – Бюл. № 12.
77. Minin I. V., Minin O. V. Diffractive optics and nanophotonics: Resolution below the diffraction limit. – Springer, 2016. – 75 p.
78. Минин И. В., Минин О. В. Фотонные струи в науке и технике // *Вестник СГУГиТ*. – 2017. – Т. 22, № 2. – С. 212–234.

79. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий : справочник / Под ред. В. В. Ключева. – М. : «Машиностроение», 1976. – 391 с.
80. Минин И. В., Минин О. В. Детекторная головка : патент РФ № 2624608. – Оpubл. 04.07.2017. – Бюл. № 19.
81. Минин И. В., Минин О. В. Радар-детектор : патент РФ № 169537. – Оpubл. 22.03.2017. – Бюл. № 9.
82. Минин И. В., Мини О. В. Фотоника изолированных диэлектрических частиц произвольной трехмерной формы – новое направление оптических информационных технологий // Вестник НГУ. Сер.: Информационные технологии. – 2014. – Т. 12, вып. 4. – С. 59–70.
83. Минин И. В., Минин О. В. Метрология в фотонике и нанооптике. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – 172 с.
84. Минин И. В., Минин О. В. Квазиоптика: современные тенденции развития. – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. – 163 с.
85. Бутков В. П., Губарев Д. Е., Зикий А. Н., Зламан П. Н. Серийные детекторы СВЧ (обзор) // Инженерный вестник Дона. – 2017. – № 1.
86. Abramovich A., Kopeika N. S., Rozban D., Farber E. Inexpensive detector for terahertz imaging // Applied Optics. – 2007. – Vol. 46, № 29. – P. 7207–7211.
87. Pradere C., Batsale J.-C., Chassagne B., Caumes J.-P. Terahertz Imaging Device With Improved Thermal Converter : Patent US 20120032082.
88. Молдосанов К. А. Терагерц-инфракрасный конвертер для визуализации источников терагерцевого излучения : патент РФ 201612489.
89. Кавеев А. К., Молдосанов К. А., Лелевкин В. М., Козлов П. В., Кропотов Г. И., Цыпишка Д. И. Устройство визуализации источников терагерцового излучения : патент РФ 2511070. – Оpubл. 10.04.2014. – Бюл. № 10.
90. Moldosanov K., Postnikov A. A terahertz-vibration to terahertz-radiation converter based on gold nanoobjects: a feasibility study // Beilstein Journal of Nanotechnology. – 2016. – Vol. 7. – P. 983–989.
91. Молдосанов К. А., Лелевкин В. М., Козлов П. В., Кавеев А. К. Терагерц-инфракрасный конвертер на основе металлических наночастиц: потенциал применения // Вестник КРСУ. – 2013. – Т. 13, № 4. – С. 69–77.
92. Kuznetsov S. A., Paulish A. G., Gelfand A. V., Lazorskiy P. A., Fedorinin V. N. Bolometric THz-to-IR converter for terahertz imaging // Applied Physics Letters. – 2011. – Vol. 99. – P. 023501.
93. Паулиш А. Г., Новгородов Б. Н., Хрящев С. В., Кузнецов С. А. Терагерцовый визуализатор на основе ТГц—ИК-конвертора // Автометрия. – 2019. – Т. 55, № 1. – С. 56–63.
94. Kuznetsov S. A., Paulish A. G., Gelfand A. V. et al. Bolometric THz-to-IR converter for terahertz imaging // Appl. Phys. Lett. – 2011. – Vol. 99, № 2. – P. 023501.
95. Padilla W. J., Liu X. Perfect electromagnetic absorbers from microwave to optical [Electronic resource] // Opt. Design & Eng. SPIE Newsroom. – 2010. – 3 p. – Mode of access : <http://spie.org/newsroom/3137-perfect-electromagnetic-absorbers-from-microwave-to-optical?ArticleID=x42025> (дата обращения: 10.09.2018).
96. Паулиш А. Г., Загубисало П. С., Кузнецов С. А. и др. Моделирование теплофизических процессов в визуализаторе субтерагерцового излучения, основанном на тонкоплёночном конвертере из метаматериала // Изв. вузов. Радиофизика. – 2013. – Т. LVI, № 1. – С. 22–38.
97. Кузнецов С. А., Федоринин В. Н., Гельфанд А. В., Паулиш А. Г., Лазорский П. А. Преобразователь терагерцового излучения (варианты) : патент РФ 2447574. – Оpubл. 10.04.2012. – Бюл. № 10.
98. Олейник А. С., Медведев М. А., Мещанов В. П., Коплевацкий Н. А. Приёмник терагерцового излучения на основе плёнки VOx : патент РФ 2701187. – Оpubл. 25.09.2019. – Бюл. № 27.
99. Luk'yanchuk B. S., Paniagua-Domínguez R., Minin I., Minin O., Wang Z. Refractive index less than two: photonic nanojets yesterday, today and tomorrow // Optical Materials Express. – 2017. – Vol. 7, Issue 6. – P. 1820–1847.

Получено 19.11.2020

© И. В. Минин, О. В. Минин, 2021

MILLIMETER AND TERAHERTZ RADIATION DETECTOR

Igor V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Chief Researcher, Institute for Strategic Development, e-mail: prof.minin@gmail.com

Oleg V. Minin

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Professor, Chief Researcher, Institute for Strategic Development, e-mail: prof.minin@gmail.com

The aim of this work is an analytical review of terahertz and millimeter-wave radiation receivers. Classification of terahertz radiation receivers and their comparative characteristics are made. Various aspects of the application of terahertz radiation, as well as the main types and types of receivers of this radiation, are considered in this paper. Photon and thermal receivers, terahertz receivers based on Golay cells, and terahertz-to-infrared convectors are analyzed. As a result, a method for increasing the sensitivity of electromagnetic radiation receivers based on the application of the photon jet effect is proposed.

Keywords: terahertz range, photonics, sensitivity, thermal detectors, detectors based on the effect of photoconductivity, Schottky diodes, converters, photon jet

REFERENCES

1. Isaev, V. M., Kabanov, I. N., Komarov, V. V., & Meshchanov, V. P. (2014). Modern radioelectronic systems of the terahertz range. *Doklady TUSURa [Reports of TUSUR]*, 4(34), 5–16 [in Russian].
2. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2017). Scanning device based on The nipkov disk with sub-diffraction resolution in the millimeter, terahertz, infrared and optical wavelength ranges. Patent of the Russian Federation No. 171360 [in Russian].
3. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2018). Device for forming images of objects with sub-diffraction resolution in the millimeter, terahertz, infrared and optical wavelength ranges. Patent of the Russian Federation No. 182458 [in Russian].
4. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2017). Method for forming images of objects with sub-diffraction resolution in the millimeter, terahertz, infrared and optical wavelength ranges. Patent of the Russian Federation No. 2631006 [in Russian].
5. Ozhegov, R. V., Gorshkov, K. N., Okuneva, O. V., Goltsman, G. N., Koshelev, V. P., Filippenko, L. V., & Kinev, N. V. (2014). *Fluktuatsionnaya chuvstvitel'nost' i stabil'nost' priemnikov s SIS i NEV smesitelyami dlya teragertsovogo teplovideniya [Fluctuation sensitivity and stability of receivers with SIS and NEV mixers for terahertz thermal imaging]*. Moscow: MPSU Publ., 104 p. [in Russian].
6. Kemp, M. C. (2011). Explosive detection by terahertz spectroscopy – a bridge too far. *IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology*, 1(1), 282–292.
7. Jackson, J. B., Bowen, J., Walker, G., Labaune, J., Mourou, G., Menu, M., & Fukunaga, K. (2011). A survey of terahertz applications in cultural heritage conservation science. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(1), 220–231.
8. Reid, C. B., Reese, G., Gibson, A. P., & Wallace, V. P. (2013). Terahertz time-domain spectroscopy of human blood. *Transactions of Terahertz Science and Technology*, 3(4), 363–367.
9. Saviz, M., Spathmann, O., Streckert, J., Hansen, V., Clemens, M., & Faraji-Dana, R. (2013). Theoretical estimation of safety thresholds for terahertz exposure of surface tissues. *Transactions of Terahertz Science and Technology*, 3(5), 635–640.
10. Fischer, B. M., Wietzke, S., Reuter, M., Peters, O., Gente, R., Jansen, C., Vieweg, N., & Koch, M. (2013). Investigating material characteristics and morphology of polymers using terahertz technology. *Transactions of Terahertz Science and Technology*, 3(3), 259–268.
11. Jin, Y. S., Kim, G. J., & Jeon, S. G. (2006). Terahertz dielectric properties of polymers. *Journal of Korean Physics Society*, 49(2), 513–517.
12. Pracht, U. S., Heintze, E., Clauss, C., Hafner, D., Bek, R., Werner, D., Gelhorn, S., Scheffler, M., Dressel, M., Sherman, D., Gorshunov, B., Il'in, K. S., Henrich, D., Siegel, M. (2013). Electrodynamic of the

superconducting state in ultra-thin films at THz frequencies. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 3(3), 269–280.

13. Takano, K., Yakiyama, Y., Shibuya, K., Izumi, K., Miyazaki, H., Jimba, Y., Miyamaru, F., Kitahara, H., & Hangyo, M. (2013). Fabrication and performance of TiO₂-ceramic-based metamaterials for terahertz frequency range. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 3(6), 812–819.

14. Withayachumnankul, W., & Abbott, D. (2009). Metamaterials in the Terahertz regime. *IEEE Photonics Journal*, 1(2), 99–118.

15. Chen, H.-T., O'Hara, J. F., Taylor, A. J., & Averitt, R. D. (2007). Complementary planar terahertz metamaterials. *Optics Express*, 15(3), 1084–1095.

16. Taylor, Z. D., Singh, R. S., Bennett, D. B., Tewari, P., Kealey, C. P., Bajwa, N., Culjat, M. O., Stojadinovic, A., Lee, H., Hubschman, J. P., Brown, E. R., & Grundfest, W. S. (2011). THz medical imaging: in vivo hydration sensing. *IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology*, 1(1), 201–219.

17. Ajito, K., & Ueno, Y. (2011). THz chemical imaging for biological applications. *IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology*, 1(1), 293–300.

18. Gulyaev, Yu. V., Krenitsky, A. P., Betsky, O. V., Mayborodin, A. V., & Kirichuk, V. F. (2008). Terahertz technology and its application in biomedical technologies. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki [Success of Modern Radio Electronics]*, 9, 30–35.

19. Woodward, R. M., Cole, B. E., Wallace, V. P., Pye, R. J., Arnone, D. D., Linfield, E. H., & Pepper, M. (2002). Terahertz pulse imaging in reflection geometry of skin cancer and skin tissue. *Physics in Medicine and Biology*, 47, 3853–3855.

20. Pickwell, E., Cole, B. E., Fitzgerald, A. J., Wallace, V. P., & Pepper, M. (2004). Simulation of terahertz pulse propagation in biological systems. *Applied Physics Letters*, 84, 2190–2192.

21. Taylor, Z. D., Singh, R. S., Culjat, M. O., Suen, J. Y., Grundfest, W. S., Lee, H., & Brown, E. R. (2008). Reflective terahertz imaging of porcine skin burns. *Optics Letters*, 33, 1258–1260.

22. Bennett, D. B., Li, W., Taylor, Z. D., Grundfest, W. S., & Brown, E. R. (2010). Stratified media model for terahertz reflectometry of the skin. *IEEE Sensors*, 11, 1530–1534.

23. Hirmer, M., Danilov, S. N., Giglberger, S., Putzger, J., Niklas, A., Jager, A., Hiller, K. A., Löffler, S., Schmalz, G., Redlich, B., Schulz, I., Monkman, G., & Ganichev, S. D. (2012). Spectroscopic study of human teeth and blood visible to terahertz frequencies for clinical diagnostics of dental pulp vitality. *International Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*, 33, 366–375.

24. Betsky, O. V., Kirichuk, V. F., Krenitsky, A. P., Mayborodin, A. V., Tupikin, V. D. (2002). Nitric oxide and electromagnetic radiation of EHF (Information interaction in living objects exposed to electromagnetic EHF vibrations at the frequency of the molecular spectrum of absorption and radiation of nitric oxide). *Biomeditsinskie tekhnologii i radioelektronika [Biomedical technologies and Radioelectronics]*, 10-11, 95–108 [in Russian].

25. Mayborodin, A. V., Krenitsky, A. P., & Betsky, O. V. (2003). Molecular Quaculture. *Millimetrovye volny v biologii i meditsine [Millimeter Waves in Biology and Medicine]*, 4, 8–10 [in Russian].

26. Krenitsky, A. P., & Mayborodin, A. V. (2002). EHF-aerotherapy – a new, natural, environmentally friendly method of treatment. *Millimetrovye volny v biologii i meditsine [Millimeter Waves in Biology and Medicine]*, 4, 21–23 [in Russian].

27. Gulyaev, Yu. V., Krenitsky, A. P., Betsky, O. V., Mayborodin, A. V., & Kirichuk, V. F. (2008). Terahertz technology and its application in biomedical technologies. *Uspekhi sovremennoy radioelektroniki [Success of Modern Radio Electronics]*, 9, 30–35 [in Russian].

28. Neelakanta, P. S., & Sharma, B. (2013). Conceiving THz endometrial ablation: feasibility, requirements and technical challenges. *IEEE Transactions of Terahertz Science and Technology*, 3(4), 402–408.

29. Lee, Y.-S. (2009). *Principles of Terahertz Science and Technology* (pp. 159–170). Berlin: Springer.

30. Daryoosh Saeedkia. (Ed.). (2013). *Handbook of terahertz technology for imaging, sensing and communications*. Cambridge: Woodhead Publ., 688 p.

31. Siegel, P. H. (2002). Terahertz techonlogy. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 50(3), 910–928.

32. De Maagt, P., Bolivar, P. H., & Mann, C. (2005). Terahertz science, engineering and systems – from space to earth applications. In *Wiley Encyclopedia of RF and Microwave Engineering* (pp. 5176–5194). K. Chang (ed.). N.Y. : Wiley-Interscience.

33. Yang, Y., Mandehgar, M., & Grischkowsky, D. R. (2011). Broadband THz pulse transmission through the atmosphere. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(1), 264–273.

34. Van Exter, M., Fattinger, C., & Grischkowsky, D. (1989). Terahertz time-domain spectroscopy of water vapor. *Optics Letters*, 14, 1128–1130.
35. Yang, Y., Shutler, A., & Grischkowsky, D. (2011). Measurement of the transmission of the atmosphere from 0.2 to 2 THz. *Optics Express*, 19, 8830–8838.
36. Weber, M. J., Yang, B. B., Kulie, M. S., Bennartz, R., & Booske, J. H. (2012). Atmospheric attenuation of 400 GHz radiation due to water vapor. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 2(3), 355–360.
37. Rosker, M. J., & Wallace, H. B. (2007). Imaging through the atmosphere at terahertz frequencies. *Proceedings of the International IEEE/MTT-S* (pp. 773–776). Honolulu, USA.
38. Brown, E. R. (2003). Fundamentals of terrestrial millimeter-wave and THz remote sensing. *Int. J. High Speed Electronics and Systems*, 13(4), 995–1097.
39. Federici, J., & Moeller, L. (2010). Review of terahertz and subterahertz wireless communications. *Journal of Applied Physics*, 107(11), Article ID 111101, 22 p.
40. Song, H.-J., & Nagatsuma, T. (2011). Present and future of terahertz communications. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(1), 256–263.
41. Armstrong, C. M. (2012). The truth about terahertz. *IEEE Spectrum*, 9, 36–41.
42. Kleine-Ostermann, T., & Nagatsuma, T. A. Review on terahertz communication research. *Journal of Infrared, Millimeter and Terahertz Waves*, 32(2), 143–171.
43. Nagatsuma, T., Horiguchi, S., Minamikata, Y., Yoshimizu, Y., Hisatake, S., Kuwano, S., Yoshimoto, N., Terada, J., & Takahashi, H. (2013). Terahertz wireless communications based on photonics technologies. *Optics Express*, 21(21), 23736–23747.
44. Kubarev, V. V. (2005). Detectors of terahertz radiation. In *Sbornik trudov Pervogo rabochego soveshchaniya: Generatsiya i primeneniye teragertsovogo izlucheniya [Proceedings of the First Workshop: Generation and Application of Terahertz Radiation]* (pp. 35–40). Novosibirsk: Budker Institute of Nuclear Physics Publ. [in Russian].
45. Valitov, R. A. (Ed.). (1969). *Tekhnika submillimetrovykh voln [Technique of submillimeter waves]*. Moscow: Sovetskoe radio Publ, 480 p. [in Russian].
46. Rodriguez-Morales, F., Yngvesson, S., & Gu, D. (2007). *Integrated terahertz hot-electron-bolometer receivers from FPAs* (pp. 77–80). Laser Focus World.
47. Andreev, V. G., Angeluts, A. A., Vdovin, V. A., & Lukichev, V. F. (2015). Spectral characteristics of nanometer-thick chromium films in terahertz frequency range. *Tech. Phys. Lett.*, 41(2), 180–183.
48. Batra, A. K., Edwards, M. E., Guggilla, P., Aggarwal, M. D., & Lal, R. B. (2014). Pyroelectric properties of PVDF: MWCNT nanocomposite film for uncooled infrared detectors and medical applications. *Integrated Ferroelectrics*, 158(1), 98–107.
49. Edwards, M., Corda, J., Egariyevwe, S., & Guggilla, P. (2013). Measurement of the dielectric, conductance and pyroelectric properties of MWCNT: PVDF nanocomposite thin films for application in infrared technologies. *Proc. SPIE. Infrared Sensors, Devices and Applications III*, 8868, Article No. 88680E.
50. Goncharenko, B. G., Salov, V. D., Zhukov, A. A., Zorin, S. M., Kozlov, V. V., & Korpukhin, A. S. (2018). Algorithm for elimination of structural noise in an image intensifier with pyroelectric array. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 63(5), 485–490.
51. Hossain, A., & Rashid, M. (1991). Pyroelectric Detectors and Their Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 27(5), 824–829.
52. Müller, R., Bohmeyer, W., Kehrt, M., Lange, K., Monte, C., & Steiger, A. (2014). Novel detectors for traceable THz power measurements. *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 35(8), 659–670.
53. Müller, R., Gutschwager, B., Hollandt, J., Kehrt, M., Monte, C., Müller, R., & Steiger, A. (2015). Characterization of a Large-Area Pyroelectric Detector from 300 GHz to 30 THz. *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 36(7), 654–661.
54. Rogalski, A., & Sizov, F. (2011). Terahertz detectors and focal plane arrays. *Opto-Electronics Review*, 19(3), 346–404.
55. Pentin, I. V., Smirnov, K. V., Vakhtomin, Yu. B., Smirnov, A. V., Ozhegov, R. V., Divochy, A. V., & Goltsman, G. N. (2011). High-speed terahertz receiver and infrared counter of single photons on the effect of electron heating in superconducting thin-film nanostructures. *TRUDY MFTI [Proceedings of MIPT]*, 3(2), 38–42 [in Russian].
56. Karasik, B. S., Sergeev, A. V., & Prober, D. E. (2011). Nanobolometers for THz photon detection. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(1), 97–111.

57. Milostnaya, I., Korneev, A., Tarhov, M., Divochiy, A., Minaeva, O., Seleznev, V., Kaurova, N., Voronov, B., Okunev, O., Chulkova, G., Smirnov, K., & Gol'tsman, G. (2008). Superconducting single photon nanowire detectors for IR and THz applications. *Journal of Low Temperature Physics*, 151, 591–596.
58. Divochiy, A., Marsili, F., Bitauld, D., Gaggero, A., Leoni, R., Mattioli, F., Korneev, V., Seleznev, V., Kaurova, N., Minaeva, O., Gol'tsman, G., Lagoudakis, K., Benkhaoul, M., Levy, F., & Fiore, A. (2008). Superconducting nanowire photon number resolving detector at telecom wavelength. *Nature Photonics*, 2, 32–36.
59. Wei, J., Olaya, D., Karasik, B. S., Pereverzev, S. V., Sergeev, A. V., & Gershenson, M. E. (2008). Ultrasensitive hot-electron nanobolometers for terahertz astrophysics. *Nature Nanotechnology*, 3, 496–500.
60. Gonzalez, F. J., Ilic, B., Alda, J., & Boreman, G. D. (2005). Antenna-coupled infrared detectors for imaging applications. *IEEE Journal of Selected Topics of Quantum Electronics*, 11(1), 117–120.
61. Hammar, A., Cherednichenko, S., Bevilacqua, S., Drakinskiy, V., & Stake, J. (2011). Terahertz direct detection in YBa₂Cu₃O₇ microbolometers. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(2), 390–394.
62. Cherednichenko, S., Hammar, A., Bevilacqua, S., Drakinskiy, V., Stake, J., Kabanov, A. A. (2011). Room temperature bolometers for terahertz coherent and incoherent detection. *IEEE Transactions on Terahertz Science and Technology*, 1(2), 395–402.
63. Alaverdyan, C. A., Bokov, S. I., Bulgakov, V. O., Zaitsev, N. A., Isaev, V. M., Kabanov, I. N., Katushkin, Yu. Yu., Komarov, V. V., Krenitsky, A. P., Meshchanov, V. P., Savushkin, S. A., Syromyatnikov, A. V., Yakunin, A. S. (2012). Terahertz frequency range: electronic component base, issues of metrological support. In *Obzory po elektronnoy tekhnike: Ser. 1, Elektronika SVCh [Reviews of Electronic Equipment: Ser. 1, Electronics Microwave]*. Moscow: Central Research Institute "Electronics" Publ., 74 p. [in Russian].
64. Insight Product Co. Terahertz Hot Electron Bolometer Detectors from 0.3 to 150 THz. (2011). Retrieved from <http://www.insight-product.com/detect3.htm>.
65. Andreev, V. G., Angeluts, A. A., Vdovin, V. A., & Lukichev, V. F. (2015). Spectral characteristics of nanometer-thick chromium films in terahertz frequency range. *Tech. Phys. Lett.*, 41(2), 180–183.
66. Batra, A. K., Edwards, M. E., Guggilla, P., Aggarwal, M. D., & Lal, R. B. (2014). Pyroelectric properties of PVDF: MWCNT nanocomposite film for uncooled infrared detectors and medical applications. *Integrated Ferroelectrics*, 158(1), 98–107.
67. Edwards, M., Corda, J., Egarievwe, S., & Guggilla, P. (2013). Measurement of the dielectric, conductance and pyroelectric properties of MWCNT: PVDF nanocomposite thin films for application in infrared technologies. *Proc. SPIE. Infrared Sensors, Devices and Applications III*, 8868, Article No. 88680E.
68. Goncharenko, B. G., Salov, V. D., Zhukov, A. A., Zorin, S. M., Kozlov, V. V., & Korpukhin, A. S. (2018). Algorithm for elimination of structural noise in an image intensifier with pyroelectric array. *Journal of Communications Technology and Electronics*, 63(5), 485–490.
69. Hossain, A., & Rashid, M. (1991). Pyroelectric Detectors and Their Applications. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 27(5), 824–829.
70. Müller, R., Bohmeyer, W., Kehrt, M., Lange, K., Monte, C., & Steiger, A. (2014). Novel detectors for traceable THz power measurements. *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 35(8), 659–670.
71. Müller, R., Gutschwager, B., Hollandt, J., Kehrt, M., Monte, C., Müller, R., & Steiger, A. (2015). Characterization of a Large-Area Pyroelectric Detector from 300 GHz to 30 THz. *J. Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves*, 36(7), 654–661.
72. Rogalski, A., & Sizov, F. (2011). Terahertz detectors and focal plane arrays. *Opto-Electronics Review*, 19(3), 346–404.
73. Pankratov, M. A. (1994). Modern optical-acoustic radiation receivers. *Opticheskiy zhurnal [Optical Journal]*, 5, 5–6 [in Russian].
74. Gibin, I. S., & Kotlyar, P. E. (2019). Uncooled matrix terahertz image converters. Design principles. *Prikladnaya fizika [Journal of Applied Physics]*, 4, 80–86 [in Russian].
75. Gibin, I. S., & Kotlyar, P. E. (2018). Terahertz radiation receivers (overview). *Uspekhi prikladnoy fiziki [Advances in Applied Physics]*, 6(2), 117–129 [in Russian].
76. Minin, I. V., & Minin O. V. (2017). Opto-acoustic receiver. Patent of the Russian Federation 170388.
77. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2016). Diffractive optics and nanophotonics: Resolution below the diffraction limit. Springer, 75 p.
78. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2017). Photon jets in science and technology. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(2), 212–234 [in Russian].

79. Klyuev, V. V. (Ed.). (1976). *Pribory dlya nerazrushayushchego kontrolya materialov i izdeliy* [Devices for non-destructive testing of materials and products]. Moscow: "Mashinostroenie" Publ., 391 p. [in Russian].
80. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2017). Detector head. Russian patent no. 2624608.
81. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2017). Radar detector. Patent of the Russian Federation no. 169537.
82. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2014). Photonics of isolated dielectric particles of arbitrary three-dimensional shape – a new direction of optical information technologies. *Vestnik NGU. Seriya: Informatsionnye tekhnologii* [Bulletin of NSU. Series: Information Technologies], 12(4), 59–70 [in Russian].
83. Minin, I. V., & Minin, O. V. (2016). *Metrologiya v fotonike i nanooptike* [Metrology in Photonics and nanooptics]. Novosibirsk: SSUGT Publ., 172 p. [in Russian].
84. Minin I. V., & Minin O. V. (2015). *Kvazioptika: sovremennye tendentsii razvitiya* [Quasioptics: current development trends]. Novosibirsk: SSUGT Publ., 163 p. [in Russian].
85. Butkov, V. P., Gubarev, D. E., Zikiy, A. N., & Zlaman, P. N. (2017). Serial microwave detectors (review). *Inzhenernyy vestnik Dona* [Engineering Bulletin of the Don], No. 1 [in Russian].
86. Abramovich, A., Kopeika, N. S., Rozban, D., & Farber, E. (2007). Inexpensive detector for terahertz imaging. *Applied Optics*, 46(29), 7207–7211.
87. Pradere, C., Batsale, J.-C., Chassagne, B., & Caumes, J.-P. Terahertz Imaging Device With Improved Thermal Converter. Patent US 20120032082.
88. Moldokanov, K. A. Terahertz-infrared Converter for visualization of terahertz radiation sources. Patent of the Russian Federation 201612489.
89. Kaveev, A. K., Moldobasanov, K. A., Lelevkin, V. M., Kozlov, P. V., Kropotov, G. I., & Tsypishka, D. I. (2014). Device for visualization of terahertz radiation sources. Patent of the Russian Federation 2511070.
90. Moldosanov, K., & Postnikov, A. (2016). A terahertz-vibration to terahertz-radiation converter based on gold nanoobjects: a feasibility study. *Beilstein Journal of Nanotechnology*, 7, 983–989.
91. Moldosanov, K. A., Lelevkin, V. M., Kozlov, P. V., & Kaveev, A. K. (2013). Terahertz-infrared Converter based on metal nanoparticles: application potential. *Vestnik KRSU* [Bulletin of KRSU], 13(4), 69–77 [in Russian].
92. Kuznetsov, S. A., Paulish, A. G., Gelfand, A. V., Lazorskiy, P. A., & Fedorinin, V. N. (2011). Bolometric THz-to-IR converter for terahertz imaging. *Applied Physics Letters*, 99, P. 023501.
93. Paulish, A. G., Novgorodov, B. N., Hryashchev, S. V., & Kuznetsov, S. A. (2019). Terahertz Visualizer based on a THz-IR Converter. *Avtometriya* [Autometry], 55(1), 56–63 [in Russian].
94. Kuznetsov, S. A., Paulish, A. G., Gelfand, A. V., & et al. (2011). Bolometric THz-to-IR converter for terahertz imaging. *Appl. Phys. Lett.*, 99(2), P. 023501.
95. Padilla, W. J., & Liu, X. (2010). Perfect electromagnetic absorbers from microwave to optical. Opt. Design & Eng. SPIE Newsroom, 3 p. Retrieved from <http://spie.org/newsroom/3137-perfect-electromagnetic-absorbers-from-microwave-to-optical?ArticleID=x42025> (accessed date 10.09.2018).
96. Paulish, A. G., Zagubisalo, P. S., Kuznetsov, S. A., & etc. (2013). Modeling of thermophysical processes in a subterahertz radiation Visualizer based on a thin-film metamaterial Converter. *Izvestiya vuzov. Radiofizika* [Izvestiya Vuzov. Radiophysics], LVI(1), 22–38 [in Russian].
97. Kuznetsov, S. A., Fedorinin, V. N., Gelfand, A. V., Paulish, A. G., Lazorsky, P. A. (2012). Terahertz radiation Converter (variants). Patent of the Russian Federation 2447574.
98. Oleinik, A. S., Medvedev, M. A., Meshchanov, V. P., & Kuplevatsky, N. A. (2019). Terahertz radiation Receiver based on VOx film. Patent of the Russian Federation 2701187.
99. Luk'yanchuk, B. S., Paniagua-Domínguez, R., Minin, I., Minin, O., & Wang, Z. (2017). Refractive index less than two: photonic nanojets yesterday, today and tomorrow. *Optical Materials Express*, 7(6), 1820–1847.

Received 19.11.2020

© I. V. Minin, O. V. Minin, 2021