

Academia. Архитектура и строительство, № 3, стр. 76–81.
Academia. Architecture and Construction, no. 3, pp. 76–81.

Исследования и теория
Научная статья
УДК 528.7:004.89
DOI: 10.22337/2077-9038-2024-3-76-81

Классификация плотного облака точек при моделировании рельефа

Данилова Лада Олеговна (Волжский). Институт по проектированию предприятий промышленности резиновых технических изделий «Гипрорезинотехника» (Россия, 404111, Волжский, Волгоградская область, ул. Молодежная, 12. ИППРТИ). Эл. почта: mail4lada@gmail.com.

Рашевский Николай Михайлович (Волгоград). Кандидат технических наук. Кафедра «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» Волгоградского государственного технического университета (Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1. ВолГТУ). Эл. почта: rashevsky.n@gmail.com.

Рекунов Сергей Сергеевич (Волгоград). Кандидат технических наук, доцент. Кафедра «Строительная механика» Волгоградского государственного технического университета (Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1. ВолГТУ). Эл. почта: rekunoff@mail.ru.

Трудов Ярослав Анатольевич (Волгоград). Кафедра «Системы автоматизированного проектирования и поискового конструирования» Волгоградского государственного технического университета (Россия, 400005, Волгоград, пр. Ленина, 28. ВолГТУ). Эл. почта: TrudovYaroslav@yandex.ru.

Гуртяков Александр Сергеевич (Волгоград). Кандидат технических наук. Кафедра «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» Волгоградского государственного технического университета (Россия, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1. ВолГТУ). Эл. почта: agurtyakov@gmail.com.

Аннотация. В статье рассмотрены существующие алгоритмы классификации элементов модели поверхности. Приведён порядок действия для фотограмметрической обработки снимков беспилотных летательных аппаратов. Описано оборудование, необходимое при подготовке исходных материалов аэрофотосъёмки для фотограмметрии. Представлены особенности обработки данных, полученных с беспилотных летательных аппаратов, с использованием программного комплекса «Agisoft Metashape». Предложен новый подход к классификации элементов модели поверхности и группировки однотипных элементов в отдельные слои плотного облака точек, а также проанализирована возможность построения достоверной цифровой модели рельефа по материалам аэрофотосъёмки полностью в автоматическом режиме. Подведены итоги проведённой работы по связке «геодезия – генплан – здание» и выявлены положительные и проблемные стороны применения новых информационных технологий в проектировании.

Ключевые слова: фотограмметрия, беспилотный летательный аппарат, цифровая модель рельефа, классификация плотного облака точек, проектирование генерального плана

Финансирование. Исследование выполнено за счёт гранта Российского научного фонда и Администрации Волгоградской области № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>.

Благодарность. Авторы выражают благодарность коллегам по организациям ОАО «Гипрорезинотехника» и ООО «Геоника», а также кафедре «Цифровые технологии в урбанистике, архитектуре и строительстве» ИАиС ВолГТУ, принимавшим участие в разработке проекта.

Для цитирования. Данилова Л.О., Рашевский Н.М., Рекунов С.С., Трудов Я.А., Гуртяков А.С. Классификация плотного облака точек при моделировании рельефа // Academia. Архитектура и строительство. – 2024. – № 3. – С. 76–81. – DOI: 10.22337/2077-9038-2024-3-76-81.

Статья написана по материалам доклада на VIII Международном симпозиуме «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». Россия, Тамбов, 17–21 мая 2023 года.

© Данилова Л.О., Рашевский Н.М., Рекунов С.С., Трудов Я.А., Гуртяков А.С., 2024.

Dense Point Cloud Classification in Terrain Modeling

Danilova Lada O. (Volzhsky). Institute for Design of Industrial Enterprises for Rubber Technical Products, Giprotekhnika JSC (12, Molodezhnaya str, Volzhsky, Volgograd region, 404111, Russia. IDIERTP). E-mail: mail4lada@gmail.com.

Rashevskiy Nikolay M. (Volgograd). Candidate of Technical Sciences. Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering of the Volgograd State Technical University (1, Akademicheskaya str, Volgograd, 400074, Russia. VSTU). E-mail: rashevsky.n@gmail.com.

Rekunov Sergey S. (Volgograd). Candidate of Technical Sciences, Docent. Department of Structural Mechanics of the Volgograd State Technical University (1, Akademicheskaya str, Volgograd, 400074, Russia. VSTU). E-mail: rekunoff@mail.ru.

Trudov Yaroslav A. (Volgograd). Department of CAD of the Volgograd State Technical University (28, Lenina ave, Volgograd, 400005, Russia. VSTU). E-mail: TrudovYaroslav@yandex.ru.

Gurtyakov Alexander S. (Volgograd). Candidate of Technical Sciences. Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering of the Volgograd State Technical University (1, Akademicheskaya str, Volgograd, 400074, Russia. VSTU). E-mail: agurtyakov@gmail.com.

Abstract. The article considers the existing algorithms for classifying elements of a surface model. The procedure for photogrammetric processing of images of unmanned aerial vehicles is given. The equipment necessary for the preparation of initial materials of aerial photography for photogrammetry is described. The features of processing data obtained from unmanned aerial vehicles using the «Agisoft Metashape» software package are presented. A new approach to the classification of elements of a surface model and grouping similar elements into separate layers of a dense point cloud is proposed. The possibility of constructing a reliable digital elevation model based on aerial photography in a fully automatic mode is analyzed. The results of the work carried out on the connection «geodesy–general plan–building» were summed up and the positive and problematic aspects of the use of new information technologies in design.

Keywords: photogrammetry, unmanned aerial vehicle, digital elevation model, dense point cloud classification, master plan design

Funding. The study has been supported by the grant from the Russian Science Foundation (RSF) and the Administration of the Volgograd Oblast (Russia) No. 22-11-20024, <https://rscf.ru/en/project/22-11-20024/>.

Acknowledgments. The authors express gratitude to colleagues in the organizations Giprotekhnika OJSC and Geonica LLC, as well from the Department of Digital Technologies for Urban Studies, Architecture and Civil Engineering, VSTU involved in the development of the project.

For citation. Danilova L.O., Rashevskiy N.M., Rekunov S.S., Trudov Ya.A., Gurtyakov A.S. Dense Point Cloud Classification in Terrain Modeling. In: *Academia. Architecture and Construction*, 2024, no. 3, pp. 76–81, doi: 10.22337/2077-9038-2024-3-76-81.

Введение

Реалии сегодняшнего дня требуют от проектных организаций соответствия определенному уровню владения новыми технологиями информационного моделирования. Применение данных технологий позволяет проектной организации обеспечивать получение модели, содержащей информацию не только о самом объекте капитального строительства (ОКС), но и о его связи с окружающим пространством.

Как классическое проектирование начинается с предпроектной проработки и выполнения инженерных изысканий, так и информационное проектирование требует наличия цифровой подосновы в виде геодезического и геологического

пространства для размещения в них информационной модели ОКС. Одним из основных и доступных способов получения пространственных данных о территории участка, планируемого к застройке, является фотограмметрическая обработка материалов, полученных при помощи аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [1].

Современное программное обеспечение для обработки данных аэрофотосъемки, например, «Agisoft Metashape», всё более ориентировано на автоматизацию процессов, но большой объём работ по фильтрации приходится выполнять вручную для получения более точных и информативных цифровых моделей рельефа (ЦМР) с целью применения их

в проектировании. Задача данного исследования связана с анализом возможности построения оптимальной ЦМР по материалам аэрофотосъемки, полученным при помощи БПЛА полностью в автоматическом режиме.

Современные задачи и проблемы обработки данных аэрофотосъёмки

На данный момент всё больше совершенствуются методы и автоматизируются технические средства получения исходной информации о пространственных данных местности при помощи аэрофотосъемки с БПЛА [2]. Аэрофотосъёмка позволяет в сжатые сроки зафиксировать большие площади изучаемой земной поверхности с необходимой точностью и получить исходные материалы для последующей цифровой фотограмметрической обработки [3]. Аэрофотосъёмка предоставляет объективные сведения и помогает выявлять объекты местности, которые тяжело различить при визуальном обследовании [4].

Результатами цифровой фотограмметрической обработки снимков являются такие цифровые продукты как ортофотоплан, плотное облако точек, полигональная модель, ЦМР, на основе которых и формируется исследуемое геопространство. Одной из основных задач обработки данных аэрофотосъёмки является получение ЦМР, то есть модели чистой земной поверхности рассматриваемой территории. ЦМР является частным случаем модели поверхности, поэтому для получения оптимальной (достоверной) модели рельефа самыми главными задачами являются безошибочная классификация точек облака по характерным признакам и чёткое разделение сгруппированных точек на соответствующие слои [5].

Все перечисленные выше процессы обработки данных аэрофотосъёмки в специальных современных программах в основном автоматизированы [6]. Хотя методы и алгоритмы автоматизации классификации и фильтрации точек плотного облака по определённым выявленным параметрам в литературе описаны не так подробно. Для решения прикладных задач информационного моделирования объекта в увязке с топоповерхностью требуется более полное понимание и описание такого рода технологий [7].

Автоматизация процессов фотограмметрии значительно ускоряет обработку и облегчает работу операторов-геодезистов, но на данный момент не всегда обеспечивает требуемое качество выполнения процессов. Необходимо усовершенствование имеющихся и разработка новых методов и алгоритмов автоматизации.

Исследование подхода к автоматизации обработки данных аэрофотосъёмки с БПЛА при построении цифровой модели рельефа

В данной работе приведены обобщающие результаты совместных проработок ОАО «Гипрорезинотехника» (г. Волжский) и ООО «Геоника» (г. Волгоград) по связке «геодезия – генплан – здание».

При подготовке исходных материалов аэрофотосъёмки для фотограмметрии ООО «Геоника» применён следующий комплекс оборудования: БПЛА DJI Phantom 4 v.2, БПЛА DJI Mavik mini 2, Электронный тахеометр Nikon Nivo 5M, GNSS приемник EFT m2. Для обработки данных, полученных с БПЛА, использовался программный комплекс «Agisoft Metashape» (ПК АМ). В руководстве пользователя указано, что в программе «Agisoft Metashape» реализована технология создания трёхмерных моделей высокого качества на основе цифровых фотографий. Там же отмечается, что процесс создания трёхмерной модели полностью автоматизирован.

Визуальный анализ исходных снимков показал их хорошее качество, но на снимках присутствуют световые блики, размытие изображения, заслонённые и однотонные (не текстурированные) области. При фотограмметрической обработке таких снимков указанные дефекты приводят к искажению или потере информации. Так, заслонённые пиксели на одном снимке не смогут быть сопоставлены с пикселями из другого изображения по спектральному признаку при выполнении «сшивки» в разреженное облако точек. Количество снимков влияет на плотность и, следовательно, на достоверность облака точек.

Штатный алгоритм классификации точек рельефа ПК АМ основан на анализе плотного облака точек путём ис-

¹ Все иллюстрации в статье, кроме особо оговорённых, взяты из открытого доступа сети Интернет.



Рис. 1. Автоматическая классификация точек рельефа: а) результат с максимальным уровнем превышения 0,5 м; б) результат с максимальным уровнем превышения 0,1 м

следования выбранной пользователем области съёмки по заданным параметрам [максимальный угол (°), максимальное расстояние (м)]. Предположение об отношении точки к рельефу делается на основании «высоты», то есть самая низкая точка в области – это точка рельефа. По этим точкам методом интерполирования строится поверхность рельефа. Затем выполняется анализ всего массива точек в заданной области относительно выявленной поверхности рельефа: к каждой ранее определённой точке рельефа «строится» виртуальный луч под определённым углом над поверхностью и выполняется анализ точек. Все точки, попавшие под луч, относятся к классу точек «земля, рельеф», а все точки выше луча – к классу точек «не назначенные» [8]. Результат классификации точек рельефа в ПК АМ представлен на рисунке 1.

Штатный алгоритм классификации точек плотного облака по классам ПК АМ основан на семантическом анализе плотного облака точек для интерпретации реконструированных данных по взаимному геометрическому расположению точек на основе предлагаемой комбинации из следующих классов: «Земля», «Высокая растительность», «Здания», «Дорожное покрытие», «Автомобиль» и «Искусственный объект» [8]. Результат классификации точек плотного облака ПК АМ представлен на рисунке 2.

Анализ автоматической классификации плотного облака точек (общее количество 153 503 355 точек) с учётом досто-

верности полученных результатов показал, что в автоматическом режиме около 30% точек плотного облака не поддаются классификации в качестве точек рельефа и более 50% – в качестве иных элементов поверхности. Все не классифицированные в автоматическом режиме точки пользователю необходимо прорабатывать вручную. Результат классификации точек плотного облака в ПК АМ представлен на рисунке 3.

На основе проведённых исследований выявлены следующие параметры плотного облака точек, влияющие на результат классификации:

- 1) исходные параметры: угол съёмки; количество снимков, полученных при аэрофотосъёмке; качество снимков (число пикселей, отсутствие дефектов съёмки);
- 2) извлекаемые параметры: пространственные координаты точек, цвета точек, текстура ЦМР.

Анализ показал, что на результат классификации существенное влияние оказывают исходные параметры, то есть параметры непосредственно аэрофотосъёмки и снимков. Влияние извлекаемых параметров на классификацию оказалось незначительным.

Проведённая работа позволила выявить задачи в части увязки геодезии и генплана, которые требуют решения для преодоления барьера интероперабельности применения новых информационных технологий и достижения оптимального результата. К существующим положительным аспектам относятся:



Рис. 2. Автоматическая классификация точек: а) результаты с различным уровнем достоверности; б) сравнение с исходным снимком

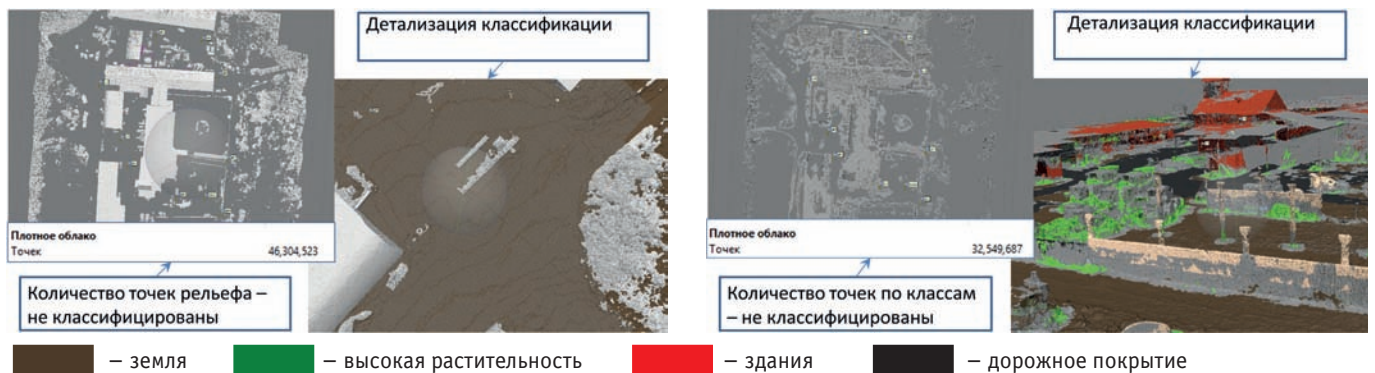


Рис. 3. Результат анализа работы алгоритма классификации: а) рельеф; б) по классам

- высокая скорость выполнения полевых работ;
- возможность съёмки труднодоступных территорий;
- высокая производительность камеральных работ;
- возможность детальной визуализации объекта съёмки;

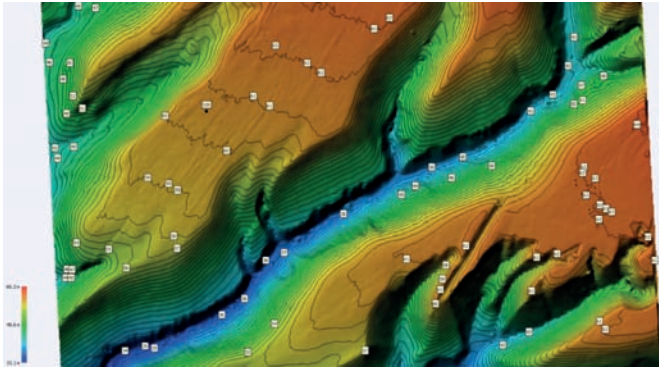


Рис. 4. Построение горизонталей по плотному облаку точек в автоматическом режиме



Рис. 5. Участок с растительностью и застройкой, требующий классификации принадлежности точек облака к объектам местности



Рис. 6. Отображение объекта в ПК «Revit» с видимым облаком точек



Рис. 7. Рендер, полученный при визуализации из ПК «Revit»

- возможность выполнения точных обмерных работ по цифровым моделям с заданным масштабом;
- возможность построения горизонталей по плотному облаку точек в автоматическом режиме на участках с отсутствием густой растительности, застройки и иных перекрывающих объектов местности (рис. 4).

Проблемами применения являются:

- невозможность в автоматическом режиме классифицировать принадлежность точек облака к объектам местности;
- невозможность автоматического построения горизонталей для участков, требующих классификации принадлежности точек облака к объектам местности (рис. 5);
- при визуализации рендеров в ПК «Revit» плотное облако точек не отображается, создание рабочего эскизного проекта требует соединения двух изображений (рис. 6 и 7).

Заключение

В настоящее время существуют реальные предпосылки к созданию новых методик и алгоритмов построения максимально достоверных и подробных цифровых моделей поверхности на основе данных аэрофотосъёмки. Анализ текущей ситуации позволяет сделать вывод, что построение оптимальной ЦМР по материалам аэрофотосъёмки, полученным при помощи БПЛА, полностью в автоматическом режиме возможно при условии решения проблемы корректной классификации принадлежности плотного облака точек к объектам местности.

Получение подробной цифровой модели рельефа, с возможностью производить все необходимые операции с группами точек в составе ЦМР без потери информации в автоматическом режиме, позволит достовернее моделировать решения вертикальной планировки, принимать более обоснованные решения по необходимым конструкциям покрытий, прорабатывать схемы прокладки инженерных сетей, с достаточной точностью рассчитывать объёмы земляных работ, более правильно выполнять привязку информационной модели здания на местности с обязательным учётом существующего рельефа, выполнять визуализацию вписывания проектируемого объекта в существующее территориальное окружение.

Список источников

1. Development of a Methodology for Complex Monitoring of the Development of Urban and Suburban Areas Based on the Intellectual Analysis of Earth Remote Sensing Data and Geospatial Technologies / V. Malikov, N. Sadovnikova, D. Parygin, A. Aleshkevich, O. Savina. – Текст : электронный // Communications in Computer and Information Science. – 2021. – Vol. 1448. – P. 405–417. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-87034-8_29 (дата обращения 22.07.2024).
2. Парыгин, Д.С. Управляемое данными развитие урбанизированных территорий / Д.С. Парыгин. – Текст : непосредственный. – Волгоград : ВолгГТУ, 2021. – 124 с.

3. Современная цифровая фотограмметрия / Хабарова И.А., Валиев Д.С., Чугунов В.А., Хабаров Д.А. – Текст : электронный // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2019. – № 4 (2). – С. 41–47. – URL: <https://e-integral.ru/rubriki/nauki-o-zemle/d0-b8-d0-bd-d1-82-d0-b5-d0-b3-d1-80-d0-b0-d0-bb-4-2019-2-75> (дата обращения 22.07.2024).

4. Management of Information from Surveillance Cameras at the Infrastructure Facility / D. Parygin, A. Gurtyakov, A. Finogeev (и др.). – Текст : электронный // Intelligent Systems Reference Library. – 2022. – Vol. 221. – P. 173–186. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-99329-0_12 (дата обращения 22.07.2024).

5. Хлебникова, Т.А. Экспериментальные исследования точности построения плотной цифровой модели по материалам беспилотной авиационной системы / Т.А. Хлебникова, О.А. Опритова. – Текст : непосредственный // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). – 2018. – Т. 23. – № 2. – С. 119–129.

6. Intelligent SDN Architecture with Fuzzy Neural Network and Blockchain for Monitoring Critical Events / A. Finogeev, M. Deev, D. Parygin, A. Finogeev. – Текст : электронный // Applied Artificial Intelligence. – 2022. – Vol. 36. – No. 1. – Art. no. 2145634. – URL: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/08839514.2022.2145634> (дата обращения 22.07.2024).

7. Евстратова, Л.Г. О возможной интеграции методов фотограмметрии и BIM-технологии / Л.Г. Евстратова // Интерэкспо Гео-Сибирь : Сборник статей по материалам международного научного конгресса «Интерэкспо Гео-Сибирь». – 2018. – № 4. – С. 14–18.

8. Фёдоров, П.А. Особенности и проблемные вопросы построения цифровых моделей рельефа в ЦФС «Agisoft Metashape» / П.А. Фёдоров, Л.А. Пластинин. – Текст : непосредственный // Перспективы развития горно-металлургической отрасли : Материалы конференции Всероссийской научно-практической конференции. – 2022. – Т. 1. – С. 145–159.

References

1. Malikov V., Sadovnikova N., Parygin D., Aleshkevich A., Savina O. Development of a Methodology for Complex Monitoring of the Development of Urban and Suburban Areas Based on the Intellectual Analysis of Earth Remote Sensing Data

and Geospatial Technologies. In: *Communications in Computer and Information Science*, 2021, Vol. 1448, pp. 405–417. (In Engl.).

2. Parygin D.S. Upravlyaemoe dannymi razvitie urbanizirovannykh territoriy [Data-Driven Development of Urban Areas]. Volgograd, VSTU Publ., 2021, 124 p. (In Russ.)

3. Valiev D.S., Chugunov V.A., Khabarov D.A. Sovremennaya tsifrovaya fotogrammetriya [Modern Digital Photogrammetry]. In: *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy «Integral» [International Journal of Applied Science and Technology "Integral"]*, 2019, no. 4 (2), pp. 41–47. (In Russ., abstr. in Engl.)

4. Parygin D., Gurtyakov A., Finogeev A., Ignatyev A., Yereshchenko T. Management of Information from Surveillance Cameras at the Infrastructure Facility. In: *Intelligent Systems Reference Library*, 2022, Vol. 221, pp. 173–186. (In Engl.)

5. Khlebnikova T.A., Opritova O.A. Eksperimental'nye issledovaniya tochnosti postroyeniya plotnoi tsifrovoi modeli po materialam bespilotnoi aviatsionnoi sistemy [Experimental Studies of the Dense Digital Model Accuracy by Using Uav]. In: *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 2018, Vol. 23, no. 2, pp. 119–129. (In Russ., abstr. in Engl.)

6. Finogeev A., Deev M., Parygin D., Finogeev A. Intelligent SDN Architecture with Fuzzy Neural Network and Blockchain for Monitoring Critical Events. In: *Applied Artificial Intelligence*, 2022, Vol. 36, no. 1, art. no. 2145634. (In Engl.)

7. Evstratova L.G. O vozmozhnoi integratsii metodov fotogrammetrii i BIM-tekhnologii [On the Possible Integration of Photogrammetric Techniques and Bim Technologies]. In: *Interekspo Geo-Sibir' [Interexpo Geo-Siberia]*, Collection of articles based on materials from the international scientific congress “Interexpo Geo- Sibir” 2018, no. 4, pp. 14–18. (In Russ., abstr. in Engl.)

8. Fedorov P.A., Plastinin L.A. Osobennosti i problemnye voprosy postroyeniya tsifrovyykh modelei rel'efa v TSFS «Agisoft Metashape» [Features and Problematic Issues of Constructing Digital Elevation Models in DFS «Agisoft Metashape»]. In: *Perspektivy razvitiya gorno-metallurgicheskoy otrasli [Prospects for the Development of the Mining and Metallurgical Industry]*, Conference materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference 2022, Vol. 1, pp. 145–159. (In Russ., abstr. in Engl.)