

УДК 528.942

**Карпачевский А.М., Новаковский Б.А.**  
**Возможности использования инструментов ГИС-пакета ArcGIS**  
**для структурного анализа электрических сетей**

В работе рассмотрены основные понятия сетевого анализа применительно к электрическим сетям, а также возможности модулей и геоинформационных инструментов пакета ArcGIS для расчета трех ключевых показателей: электросетевой центральности линий электропередач, альтернативности электроснабжения и топологической удаленности потребителя. Выявлены особенности электрических сетей как модели комплексной сети: иерархичность согласно классам напряжения, разные функциональные типы вершин сети (электростанции и электрические подстанции) и наличие специфических типов соединения – отпаек. В исследовании проведено сравнение двух моделей представления географических сетей – геометрической и транспортной – и соответствующих им модулей ГИС-пакета ArcGIS – Utility Network и Network Analyst. Обосновано, что несмотря на то, что электрические сети по своей сущности являются геометрическими, гораздо удобнее их представление в виде транспортной модели. Это дает гораздо больше возможностей анализа и автоматизации. Структура электрических сетей может быть визуализирована с помощью предложенных трех показателей на карте, фрагмент которой приведен в работе. Такие карты могут быть использованы для выявления уязвимых участков сети, что важно при планировании мероприятий по развитию энергосистемы.

**Ключевые слова:** геоинформационный анализ, пространственная структура, сетевой анализ, теория графов, топология, электрические сети.

**Karpachevsky A.M., Novakovsky B.A.**  
**Capabilities of ArcGIS tools for structure analysis of power grids**

The paper deals with the basic concepts of network analysis in relation to electric networks, as well as the possibility of modules and geographic information tools of ArcGIS package for the calculation of three key indicators: power grid centrality of power lines, alternativeness of power supply and topological distance to the consumer. The peculiarities of electric networks as models of complex networks: hierarchy according to voltage classes, different functional types of vertices of the network (power plants and electrical substations) and the presence of specific types of connection of the taps. The study compares two models of representation of geographical networks – geometric and transport-and their corresponding modules GIS package ArcGIS – Utility Network and Network Analyst. It is proved that despite the fact that electric networks are inherently geometric, it is much more convenient to represent them in the form of a transport model. This gives you much more analysis and automation. The structure of electrical networks can be visualized using the proposed three indicators on the map, a fragment of which is given in the work. Such maps can be used to identify vulnerable areas of the network, which is important when planning activities for the development of the power system.

**Keywords:** GIS-analysis, spatial structure, network analysis, graph theory, topology, electrical networks.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Емиличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. Лекции по теории графов : учебное пособие. – М. : ЛЕНАНД, 2017. – 390 с.
2. Новаковский Б.А., Каргашин П.Е., Карпачевский А.М. Геоинформационный анализ устойчивости энергосистемы к климатическим нагрузкам // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 1. – С. 127-135.
3. Системный оператор Единой энергетической системы. Глоссарий [Электронный ресурс]. – URL: [http://so-ups.ru/index.php?id=rza\\_goals\\_rel](http://so-ups.ru/index.php?id=rza_goals_rel) (дата обращения: 12.08.2017).
4. Тархов С.А. Эволюционная морфология транспортных сетей. – Смоленск ; М. : Изд-во «Универсум», 2005. – 384 с.
5. Фаддеев А.М. Оценка уязвимости энергосистем России, стран Ближнего зарубежья и Европы // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2016. – № 1. – С. 46-53.
6. Fischer M.M. GIS and network analysis // Handbook of Transport Geography and Spatial Systems / D. Hensher, K. Button, K. Haynes, P. Stopher (eds.). – Pergamon, 2003. – (Handbooks in Transport ; Book 5).
7. Kansky K.J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // Chicago University, Department of geography, Research Paper. – 1963. – No. 84. – 156 p.
8. Barthelemy M. Morphogenesis of spatial networks. – Springer, 2018. – 331 p.
9. Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D.-U. Complex networks: Structure and dynamics // Physics Reports. – 2006. – V. 424. – P. 175-308.

## REFERENCES

1. Emelichev V.A., Melnikov O.I., Sarvanov V.I., Tysh-kevich R.I. Lectures on graph theory : a tutorial. M. : LENAND, 2017. 390 p.
2. Novakovskiy B.A., Kargashin P.E., Karpachevskiy A.M. GIS-analysis of the power grid sustainability to climatic loads // Geodesy and Cartography. 2019. V. 80, No. 1. P. 127-135.
3. System operator of the United power grid. Glossary [Electronic resource]. URL: [http://so-ups.ru/index.php?id=rza\\_goals\\_rel](http://so-ups.ru/index.php?id=rza_goals_rel) (date of access: 12.08.2017).
4. Tarhov S.A. Evolutionary morphology of transport networks. Smolensk ; Moskva : Izdatel'stvo «Universum», 2005. 384 p.
5. Faddeev A.M. Vulnerability assessment of power systems in Russia, CIS and Europe // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2016. No. 1. P. 46-53.
6. Fischer M.M. GIS and network analysis // Handbook of Transport Geography and Spatial Systems / D. Hensher, K. Button, K. Haynes, P. Stopher (eds.). Pergamon, 2003.
7. Kansky K.J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // Chicago University, Department of geography, Research Paper. 1963. No. 84. 156 p.
8. Barthelemy M. Morphogenesis of spatial networks. Springer, 2018. 331 p.
9. Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D.-U. Complex networks: Structure and dynamics. Physics Reports. 2006. V. 424. P. 175-308.

**Карпачевский Андрей Михайлович**, кандидат географических наук, инженер Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (ФГБУ ВО МГУ имени М.В. Ломоносова). 119991, Россия, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, Главное здание, Географический факультет. E-mail: karpach-am@yandex.ru.

*Karpachevsky Andrey Michailovich, PhD in Cartography, engineer, Federal State Educational Institute of Higher Education Lomonosov Moscow State University. 119991, Russia, Moscow, GSP-1, 1 Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: karpach-am@yandex.ru.*

**Новаковский Богуслав Августович**, доктор географических наук, профессор Федерального государственного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (ФГБУ ВО МГУ имени М.В. Ломоносова). 119991, Россия, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, Главное здание, географический факультет. E-mail: dcaph@mail.ru.

*Novakovsky Boguslav Avgustovich, PhD in Cartography, professor, Federal State Educational Institute of Higher Education Lomonosov Moscow State University. 119991, Russia, Moscow, GSP-1, 1 Leninskiye Gory, MSU, Faculty of Geography. E-mail: dcaph@mail.ru.*

**Титов И.Е., Панов А.В., Кречетников В.В., Шубина О.А., Микаилова Р.А.  
Прикладные ГИС для поддержки радиационно-экологического мониторинга  
в регионах размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов**

В статье рассмотрены основные требования к геоинформационной системе (ГИС) радиационно-экологического мониторинга атмосферного воздуха, наземных и водных экосистем в районе размещения ядерно- и радиационно-опасных объектов. Проведен анализ ГИС и систем поддержки принятия решений (СППР), использующих ГИС-технологии при проведении радиационно-экологического мониторинга, оценки последствий радиоактивного загрязнения территорий, а также их реабилитации. Представлен анализ программных продуктов для создания ГИС и предложен перечень программ, использование которых будет наиболее эффективным при создании ГИС-проекта поддержки радиационно-экологического мониторинга. Представлена схема радиационно-экологического мониторинга с применением геоинформационных технологий, а также структура и состав ГИС-проекта.

**Ключевые слова:** ГИС-проекты, радиационно-экологический мониторинг, ядерно- и радиационно-опасные объекты (ЯРОО), радиационная обстановка.

**Titov I.E., Panov A.V., Krechetnikov V.V., Shubina O.A., Mikailova R.A.  
Applied GIS for supporting radioecological monitoring in the vicinity of nuclear  
and radiation hazardous facilities**

The article describes the main requirements for the geo-information system (GIS) of radioecological monitoring of atmospheric air, terrestrial and aquatic ecosystems in the vicinity of nuclear and radiation hazardous facilities. The analysis of GIS and decision support systems (DSS) using GIS-technologies during radioecological monitoring, the assessment of the consequences of radioactive contamination of territories and their remediation has been carried out. The analysis of software products for developing the GIS has been presented and a list of programs, the use of which would be the most effective at the development of GIS project for the support of radioecological monitoring, has been proposed. The scheme of radioecological monitoring using geo-information technologies, as well as the structure and composition of the GIS project have been presented in the paper.

**Keywords:** GIS projects, radioecological monitoring, nuclear and radiation hazardous facilities, radiation situation.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. RODOS: Decision support system for off-site nuclear emergency management in Europe : Final report of the RODOS project / J. Ehrhardt, A. Weis (eds). – European Commission, Brussels, 2000. – Report EUR 19144 EN.
2. АРМ анализа и прогноза радиационной обстановки : руководство пользователя. – Книга 2. – Обнинск : НПО «Тайфун», 1995.
3. Яцало Б.И., Алексахин Р.М., Мирзеабасов О.А. Оптимизация радиационной защиты в агрофере: методы и компьютерные системы поддержки принятия решений // Радиационная биология. Радиозэкология. – 1997. – Т. 37, вып. 4. – С. 703-716.

4. Баранов С.А. Разработка системы радиоэкологического мониторинга на основе геоинформационных технологий : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.01 / Баранов Сергей Александрович. – Обнинск, 2009. – 150 с.
5. Баранов С.А., Мукушева М.К., Тлебаев М.Б. Применение ГИС-технологий для создания системы поддержки принятия решений // Гидрометеорология и экология. – 2006. – № 2. – С. 126-138.
6. Шубина О.А., Титов И.Е., Кречетников В.В., Ряднов А.А. Геоинформационная система для обоснования возвращения в хозяйственный оборот территорий, временно выведенных из землепользования после аварии на ЧАЭС // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – №1-2 (55). – С. 130-133.

#### REFERENCES

1. RODOS: Decision support system for off-site nuclear emergency management in Europe. Ed. by J. Ehrhardt and A. Weis. Final project report. EUR 19144 EN. 2000.
2. ARM analysis and prediction of radiation situation. User manual. Book 2. Obninsk : RPA «Typhoon», 1995.
3. Yatsalo B., Alexakhin R., Mirzeabassov O. Optimisation of Radiation Protection in Agrosphere: Methods and Computerised Decision Support Systems // Radiation Biology. Radioecology. 1997. V. 37. No 4. P. 705-718).
4. Baranov S.A. The development of the system of radioecological monitoring based on geoinformation technologies : dissertation of candidate of Sciences. Obninsk, 2009. 150 p.
5. Baranov S.A., Mukusheva M.K., Tlebaev V.B. The application of GIS-technologies for creation of decision support system // Hydrometeorology and Ecology. 2006. No. 2. P. 126-138.
6. Shubina O., Titov I., Krechetnikov V., Ryadnov A.A. A geographic information system to support the return to economic use lands excluded after the Chernobyl accident // International Research Journal. 2017. No. 1-2 (55). P. 130-133.

**Титов Игорь Евгеньевич**, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: [titan13\\_08@mail.ru](mailto:titan13_08@mail.ru).

*Titov Igor Evgenevich, research scientist in Federal state budgetary scientific institution Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga Region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km. E-mail: [titan13\\_08@mail.ru](mailto:titan13_08@mail.ru).*

**Панов Алексей Валерьевич**, доктор биологических наук, зам. директора по научно-организационной и инновационной деятельности Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: [riar@mail.ru](mailto:riar@mail.ru).

*Panov Aleksey Valerevich, Doctor of Biological Sciences, Deputy Director for scientific-organizational and innovative activity in Federal state budgetary scientific institution Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga Region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km. E-mail: [riar@mail.ru](mailto:riar@mail.ru)*

**Кречетников Виктор Владимирович**, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: [viktor.krechetnikov@mail.ru](mailto:viktor.krechetnikov@mail.ru).

*Krechetnikov Viktor Vladimirovich, research scientist in Federal state budgetary scientific institution Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga Region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km. E-mail: viktor.krechetnikov@mail.ru.*

**Шубина Ольга Андреевна**, кандидат биологических наук, ученый секретарь Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: olgashu76@gmail.com.

*Shubina Olga Andreevna, Ph.D (Biol), scientific Secretary in Federal state budgetary scientific institution Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga Region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km. E-mail: olgashu76@gmail.com.*

**Микаилова Рена Александровна**, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии» (ФГБНУ ВНИИРАЭ). 249032, Калужская область, г. Обнинск, Киевское шоссе, 109 км. E-mail: renchik\_vhi@mail.ru.

*Mikailova Rena Aleksandrovna, research scientist in Federal state budgetary scientific institution Russian Institute of Radiology and Agroecology (RIRAE). 249032, Russian Federation, Kaluga Region, Obninsk, Kievskoe shosse 109 km. E-mail: renchik\_vhi@mail.ru.*

**Злобина А.Г., Журбин И.В.**

**Комплексные геофизические исследования археологических памятников и принципы интерпретации данных**

Геофизика широко используется при неразрушающих исследованиях объектов историко-культурного наследия. Неоднозначность интерпретации данных вызвана комплексом объективных причин: ограничениями геофизических методов и существенной неоднородностью культурного слоя археологических памятников. Поэтому актуальна разработка алгоритма исследований, позволяющего уменьшить количество ошибок первого и второго рода и, соответственно, повысить качество неразрушающих исследований объектов историко-культурного наследия. Предлагается алгоритм, включающий этапы комплексных геофизических измерений (магнито- и электроразведка), обработки (сегментация) и интерпретации (на основе априорной информации о форме и размерах предполагаемых объектов поиска, а также о типах геофизических аномалий, соответствующих объектам).

Экспериментальные исследования на территории средневекового Кушманского III селища выявили неизвестную ранее линию укреплений и позволили восстановить рядовую планировку поселения. При реконструкции планировки было определено расположение разноплановых сооружений – ров, основания сооружений из прокаленной и уплотненной глины, ямы жилых и производственных построек, очаги и пр. Получена оценка степени сохранности культурного слоя. Результаты интерпретации подтверждены почвенными бурениями и раскопками. Информация, полученная в результате неразрушающих исследований, принципиально важна с точки зрения сохранения объектов историко-культурного наследия.

**Ключевые слова:** электроразведка, магниторазведка, обработка, интерпретация, археологические памятники, планировка.

**Zlobina A.G., Zhurbin I.V. Complex geophysical surveys of archeological sites and principles of data interpretation**

The geophysics is widely used at nondestructive researches of objects of historical and cultural heritage. The ambiguity of data interpretation is caused by a complex of objective reasons: restrictions of geophysical methods and significant heterogeneity of the cultural layer of archaeological sites. Therefore the development of the algorithm of researches allowing to reduce the number of errors of the first and second kinds is relevant and, respectively, to increase the quality of nondestructive researches of objects of historical and cultural heritage. The algorithm including stages of complex geophysical measurements (magnetic and resistivity surveys), processing (segmentation) and interpretation (on the basis of a priori information on the form and sizes of expected objects of search, and also about types of the geophysical anomalies corresponding to objects) is offered.

Experimental studies on the territory of the medieval Kushmanskoe III settlement revealed a previously unknown line of fortifications and allowed to restore the row layout of the settlement. During the reconstruction of the layout, the location of various constructions – ditch, the foundation of structures made of calcined and compacted clay, pits of residential and industrial buildings, hearths, etc., was determined. An estimate of the degree of preservation of the cultural layer is obtained. The results of the interpretation are confirmed by soil drills and excavations. The information obtained as a result of nondestructive research is fundamentally important from the point of view of the preservation of objects of historical and cultural heritage.

**Keywords:** resistivity survey, magnetic survey, processing, interpretation, archaeological sites, layout.

**Злобина Анна Григорьевна**, кандидат технических наук, научный сотрудник Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН (УдмФИЦ УрО РАН). 426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, д. 34. E-mail: ELF54@yandex.ru.

*Zlobina Anna Grigor'evna, Candidate of Engineering Sciences, Researcher in Udmurt Federal Research Center of UB RAS (UdmFRC UB RAS). 426067, Izhevsk, T. Baramzina str., 34. E-mail: ELF54@yandex.ru.*

**Журбин Игорь Витальевич**, доктор исторических наук, кандидат технических наук, главный научный сотрудник Удмуртского федерального исследовательского центра УрО РАН (УдмФИЦ УрО РАН). 426067, г. Ижевск, ул. Т. Барамзиной, д. 34. E-mail: zhurbin@udm.ru.

*Zhurbin Igor Vital'evich, Doctor of Historical Sciences, Candidate of Engineering Sciences, Main Researcher in Udmurt Federal Research Center of UB RAS (UdmFRC UB RAS). 426067, Izhevsk, T. Baramzina str., 34. E-mail: zhurbin@udm.ru.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Россия как археологическое пространство / отв. ред. Н.А. Макаров. – М. : Институт археологии РАН, 2016. – 152 с.
2. Никитин А.А., Хмелевской В.К. Комплексование геофизических методов. – Тверь : ООО «Издательство ГЕРС», 2004. – 294 с.
3. Обнаружение и разделение гравитационных и магнитных аномалий : учебное пособие / Ю.И. Блох. – М. : МГГА, 1995. – 80 с.
4. David A., Linford N., Linford P. Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation. – Swindon : English Heritage, 2008. – 59 p.
5. Чемякина М.А. Диагностика культовых комплексов Барабинской лесостепи геофизическими методами // Вестник НГУ. Серия: История, филология. – 2010. – Т. 9, вып. 3: Археология и этнография. – С. 74-84.
6. Возможности синтеза геофизической и археологической информации при интерпретации результатов раскопок (на примере поселения бронзового века Каменный амбар) / Н.А. Берсенева, А.В. Епимахов, В.В. Носкевич, Н.В. Федорова // Вестник археологии, антропии и этнографии. – 2015. – № 1 (28). – С. 4-14.
7. Zhurbin I.V., Borisov A.V. Capabilities of consistent application of geophysical and geochemical surveys of medieval settlements destroyed by plowing // Archaeological Prospection. 2018. – V. 25, No. 3. – P. 219-230.
8. Журбин И.В., Федорина А.Н. Комплексные геофизические исследования поселений Суздальского Ополя // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2017. – Т. 45, № 2. – С. 62-70.
9. Злобина А.Г. Алгоритм обнаружения и удаления помех на сегментированной геофизической карте // Естественные и математические науки в современном мире : сб. ст. по матер. XLIV Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск : СибАК, 2016. – С. 76-82.
10. Журбин И.В., Догадин С.Е. Алгоритм формирования сводных карт при малоуглубинной электроразведке археологических памятников // Геоинформатика. – 2013. – № 3. – С. 41-48.
11. Положение о порядке проведения археологических полевых работ и составления научной отчетной документации [Электронный ресурс]. – М. : Институт археологии РАН, 2018. – 64 с. – URL: [http://archaeolog.ru/media/2018/Polozhenie\\_2018\\_2.pdf](http://archaeolog.ru/media/2018/Polozhenie_2018_2.pdf) (дата обращения: 06.12.2018).
12. Журбин И.В., Иванова М.Г. Геофизические исследования Кушманского городища Уччакар в Прикамье // Археология, этнография и антропология Евразии. – 2018. – Т. 46, № 1. – С. 76-85.



13. Hargrave M.L. Geophysical detection of features and community plan at New Philadelphia, Illinois // *Historical Archaeology*. – 2010. – No. 44 (1). – P. 43-57.
14. Злобина А.Г., Журбин И.В. Восстановление границы объекта по данным малоглубинной электроразведки методом нечеткой кластеризации // *Геоинформатика*. – 2015. № 3. – С. 19-25.
15. Иванова М.Г., Журбин И.В. Археологические и геофизические исследования средневековых поселений бассейна р. Чепцы // *Российская археология*. – 2014. – № 1. – С. 40-53.
16. Иванова М.Г. Иднакар: Древнеудмуртское городище IX-XIII вв. – Ижевск : Удмуртский институт истории, языка и литературы УрО РАН, 1998. – 294 с.
17. Иванова М.Г. Отчет об исследованиях на Кушманском городище Уччакар, Кушманском III селище и Кушманском II селище в Ярском районе Удмуртской Республики в 2016 г. – Т. 1 // Научно-отраслевой архив Удмуртского института истории, языка и литературы УрО РАН. РФ. Оп. 2. Д. 1693. CD 104.

### REFERENCES

1. Russia as archaeological space / Ed. by N.A. Makarov. M. : Institute of Archaeology RAS, 2016. 152 p.
2. Nikitin A.A., Kmelevskoy V.K. Integration of geophysical methods. Tver : Ltd. «Publisher GERS», 2004. 294 p.
3. Detection and division of gravitational and magnetic anomalies / Yu.I. Bloh. M. : MGGA, 1995. 80 p.
4. David A., Linford N., Linford P. Geophysical Survey in Archaeological Field Evaluation. Swindon : English Heritage, 2008. 59 p.
5. Chemyakina M.A. Diagnostics of the cult complexes of the Barabinskaya forest-steppe zone by geophysical methods // *Novosibirsk State University Bulletin. Series: History and Philology*. 2010. V. 9, Is. 3: Archeology and Ethnography. P. 74-84.
6. Capabilities of synthesizing geophysical and archaeological information in the interpretation of excavation results (by the example of the Bronze Age settlement of Kamenny Ambar) / N.A. Berseneva, A.V. Epimahov, V.V. Noskevich, N.V. Fedorova // *Academic journal of Archaeology, Anthropology and Ethnography*. 2015. No. 1 (28). P. 4-14.
7. Zhurbin I.V., Borisov A.V. Capabilities of consistent application of geophysical and geochemical surveys of medieval settlements destroyed by plowing // *Archaeological Prospection*. 2018. V. 25, No. 3. P. 219-230.
8. Zhurbin I.V., Fedorina A.N. Comprehensive geophysical studies at the Suzdal Opolye settlements // *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*. 2017. V. 45, No. 2. P. 62-70.
9. Zlobina A.G. Algorithm for detection and removal of interference on a segmented geophysical map // *Natural and mathematical Sciences in the modern world : Proceedings of the XLIV International scientific and practical conference*. Novosibirsk : SibAK, 2016. P. 76-82.
10. Zhurbin I.V., Dogadin S.E. The algorithm of the total card generating with nearsurface resistivity survey of archaeological sites // *Geoinformatika*. 2013. No. 3. P. 41-48.
11. Regulations on the procedure of archaeological field work and preparation of scientific reporting documentation. M. : Institute of Archaeology RAS, 2018. 64 p. URL: [http://archaeolog.ru/media/2018/Polozhenie\\_2018\\_2.pdf](http://archaeolog.ru/media/2018/Polozhenie_2018_2.pdf) (date of access: 06.12.2018).
12. Zhurbin I.V., Ivanova M.G. Geophysical studies at the Kushmanskoye (Uchchakar) fortified settlement, Kama basin // *Archaeology, Ethnology and Anthropology of Eurasia*. 2018. V. 46, No. 1. P. 76-85.
13. Hargrave M.L. Geophysical detection of features and community plan at New Philadelphia, Illinois // *Historical Archaeology*. 2010. No. 44 (1). P. 43-57.
14. Zlobina A.G., Zhurbin I.V. The restoration of the borders of the object according to the shallow resistivity survey by the method of fuzzy clustering // *Geoinformatika*. 2015. No. 3. P. 19-25.

15. Ivanova M.G., Zhurbin I.V. Archaeological and geophysical studies of the medieval settlements in the river Cheptsa basin // Russian archeology. 2014. No. 1. P. 40-53.
16. Ivanova M.G. Idnakar: an ancient Udmurt fortified settlement of IX-XIII centuries. Izhevsk : Udmurt Institute of History, Language and Literature of Ural Branch of RAS, 1998. 294 p.
17. Ivanova M.G. The report on researches on Kushmanskoe an ancient fortified settlement Uchkakar, Kushmanskoe III settlement and Kushmanskoe II settlement in Yarsky district of the Udmurt Republic in 2016. V. 1 // Scientific and industry archive of Udmurt Institute of History, Language and Literature of Ural Branch of RAS. RF. Op. 2. D. 1693. CD 104.

**Гордеев Н.А., Молчанов А.Б.**

**Автоматизация структурно-геоморфологического метода реконструкции  
сдвиговых тектонических напряжений Л.А. Сим**

Предложен и протестирован оригинальный способ автоматизации структурно-геоморфологического (СГ) метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Л.А. Сим. Данный способ основан на применении определенного набора алгоритмов компьютерного зрения к исходным картам высот или спутниковым снимкам местности. Способ состоит из трех этапов: на первом этапе производится дешифрование необходимых линеаментов, на втором – поиск и измерение углов между соприкасающимися линеаментами, на третьем – классификация по М.В. Гзовскому.

Выделение линеаментов может быть выполнено как вручную (путем нанесения векторных фигур на участок спутникового снимка или наложения готовой схемы), так и автоматически при помощи алгоритма скелетизации бинаризованной карты высот. На следующем этапе применяется процедура поиска т.н. особых точек на скелетизованном изображении или нанесенной вручную векторной маске. Далее в точках пересечения прилегающих линеаментов и линии разлома производится измерение углов. Для этого сравнивается яркость пикселей на окружностях с центром в особой точке и радиусом, подбираемым так, чтобы шаг измерения не превышал заданной погрешности. Точки-вершины развернутых углов отбрасываются, а значения острых углов записываются в массив для последующей классификации по Гзовскому.

Этап классификации реализован в виде цепи условий, проверяемых для каждого значения углов из полученного массива. Условия состоят в принадлежности угла заданному интервалу с фиксированным средним и изменяемым допустимым разбросом. Каждый тип имеет разный набор условий. После проверки всех условий для всех найденных значений углов вычисляются вероятности принадлежности разлома к тому или иному типу.

Для тестирования был выбран регион Лено-Оленекского междуречья. Территория тестирования приурочена к северо-востоку Сибирской платформы. Исходные карты высот были взяты из данных ASTER GDEM v2.

В целом, проведенное тестирование следует считать успешным, поскольку большая часть (21/25) исследуемых разломов была правильно классифицирована. При этом, конечно, был выявлен ряд замечаний на будущее.

Таким образом, к настоящему моменту было создано и успешно протестировано программное средство, позволяющее автоматизировать СГ метод Л.А. Сим и значительно ускорить работы по определению неотектонических напряжений этим методом.

**Ключевые слова:** структурно-геоморфологический метод, неотектоника, компьютерное зрение, OpenCV, Python, скелетизация.

**Gordeev N.A., Molchanov A.B. Automation of L.A.**

**Sim structural-geomorphological method for reconstruction of shear tectonic stresses**

The development of the application is based on the automation and upgrading the structural-geomorphological (SGM) neotectonic stresses reconstruction method of L.A. Sim. This method is based on the application of a specific set of computer vision algorithms to the original elevation maps or satellite images of the terrain. The method consists of three stages: at the first stage, the necessary lineaments are decrypted, at the second – the search and measurement of angles between contiguous lineaments, at the third – classification by M.V. Gzovsky.

Selection of lineaments can be performed both manually and automatically using the skeletonization algorithm of a binarized height map. At the next stage, the procedure of searching for specific points on a skeletonized image or a hand-marked vector mask is applied. Next, at the points of intersection of the fault line with adjacent lineaments, angles are measured. The classification stage is implemented as a chain of conditions that are checked for each value of the angles from the resulting array. Conditions are represented by the angle belonging to a given interval with a fixed average and unadjustable spread. Each type has a different set of conditions. After checking all the conditions for all found angle values, the probabilities of a fault belonging to one or another type are calculated.

The region of the Leno-Olenek interfluvium was chosen for testing. The testing territory refers to the northeast of the Siberian platform. The initial elevation maps were taken from ASTER GDEM v2 data.

Testing should be considered successful because the most of the faults under consideration (21/25) were classified correctly. At the same time, a number of remarks have been identified for the future work.

Thus, a software tool that allows to automate the method L.A. Sim and significantly speed up the work on the determination of neotectonic stresses by this method has been created and successfully tested.

**Keywords:** structural geomorphological method, neotectonics, computer vision, OpenCV, Python, skeletonization.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гзовский М.В. Тектонические поля напряжений // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. – 1954. – № 5. – С. 390-410.
2. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М. : Наука, 1975. – 375 с.
3. Гордеев Н.А. Тектонофизический анализ линеаментов Оленекского поднятия // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле : мат-лы конф. : в 2 т. – Т. 1. – М. : ИФЗ, 2016. – С. 48-52.
4. Гордеев Н.А., Сим Л.А. Комплексный подход изучения новейшей геодинамики, основанный на геологических и тектонофизических методах // Воздействие внешних полей на сейсмический режим и мониторинг их проявлений : тез.докл. Междунар. юбилейной науч. конф., г. Бишкек, 3-7 июля 2018 г. – С. 169-173.
5. Костенко Н.П., Макарова Н.В., Корчуганова Н.И. Выражение в рельефе складчатых и разрывных деформаций. Структурно-геоморфологическое дешифрирование аэрофотоснимков, космических снимков и топографических карт. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1999. – 118 с.
6. Макарова Н.В., Суханова Т.В. Геоморфология : учебное пособие / отв. ред. В.И. Макаров, Н.В. Короновский. – 2-е изд. – М. : КДУ, 2009. – 414 с.
7. Михайлова А.В. Геодинамические характеристики структур, образовавшихся в слое над активными разломами фундамента (по данным тектонофизического моделирования) // Геофизика XXI столетия: 2006 год : сб. трудов Восьмых геофизических чтений им. В.В. Федынского, 2-4 марта 2006, Москва. – М. : ИНТЕК-ГЕОН ; ГЕРС, 2007. – С. 111-118.
8. Ребецкий Ю.Л. Напряженное состояние слоя при продольном горизонтальном сдвиге блоков его фундамента // Поля напряжений и деформаций в земной коре. – М. : Наука, 1987. – С. 4-56.
9. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геол. и разведка. – 1991. – № 10. – С. 3-22.
10. Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Европы // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. – М. : Наука, 2000. – С. 326-350.

11. Сим Л.А. Применение полевых методов реконструкции тектонических напряжений по данным о разрывах для решения теоретических и практических задач // Современная тектонофизика. Методы и результаты : мат-лы Второй молодежной тектонофиз. школы-семинара, 17-21 окт. 2011 г., ИФЗ РАН, г. Москва. – М. : ИФЗ РАН. – Т. 2: Лекции. – С. 156-171.
12. Kass M. et.al. Snakes: Active contour models. International Journal of Computer Vision. – 1988. – V. 1 (4). – 321-331.
13. Masoud A., Koike K. Applicability of computer-aided comprehensive tool (LINDA: LINEament Detection and Analysis) and shaded digital elevation model for characterizing and interpreting morphotectonic features from lineaments [Electronic resource] // Computers & Geosciences. – 2017. – V. 106. – P. 89-100). – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2017.06.006> (date of access: 12.09.2018).
14. Zlatopolsky A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis). Automated linear image features analysis – experimental results. Computers & Geosciences. – 1992. – V. 18, No. 9. – P. 1121-1126.
15. Zlatopolsky A. WinLESSA. Version 3.1. User guide, 2008.

## REFERENCES

1. Gzovsky M.V. Tectonic stress fields // Izv. USSR Academy of Sciences, a series of geophysics. 1954. No. 5. P. 390-410.
2. Gzovsky M.V. Basics of tectonophysics. M. : Science, 1975. 375 p.
3. Gordeev N.A. Tectonophysical analysis of the lineaments of the Olenek uplift // The Fourth Tectonophysical Conference at the Institute of Physical Problems of the Russian Academy of Sciences. Tectonophysics and Topical Issues of Earth Sciences : Reports of the All-Russian Conference : in 2 volumes. V. 1. M. : IPE, 2016. P. 48-52.
4. Gordeev N.A., Sim L.A. The complex approach to the study of modern geodynamics, based on geological and tectonophysical methods // Impact of external fields on the seismic regime and monitoring of their manifestations: Abstracts of reports. International Anniversary scientific. Conf., Bishkek, July 3-7, 2018. P. 169-173.
5. Kostenko N.P., Makarova N.V., Korchuganova N.I. Expression in relief of folded and discontinuous deformations. Structural and geomorphological interpretation of aerial photographs, satellite images and topographic maps. M. : Publishing House of Moscow, 1999. 118 p.
6. Makarova N.V., Sukhanova T.V. Geomorphology: study guide / rep. eds. V.I. Makarov, N.V. Koronovsky. 2nd ed. M. : KDU, 2009. 414 p.
7. Mikhailov A.V. Geodynamic characteristics of structures formed in the layer above active faults of the basement (according to tectonophysical modeling data) // Geophysics of the XXI century: 2006. Sat Proceedings of the Eighth Geophysical Readings V.V. Fedynsky, March 2-4, 2006, Moscow. M. : INTECH-GEON ; GERS, 2007. P. 111-118.
8. Rebetsky Yu.L. The Intensified State of a Layer with a Longitudinal Horizontal Shift of the Foundation Blocks, Stress and Deformation Fields in the Earth's Crust. M. : Science, 1987. P. 4-56.
9. Sim L.A. Study of tectonic stresses by geological indicators (methods, results, recommendations). Izv. Universities. Geol. and razv. 1991. No. 10. P. 3-22.
10. Sim L.A. The influence of global tectogenesis on the newest stress state of European platforms // M.V. Gzowski and the development of tectonophysics. M. : Science, 2000. P. 326-350.
11. Sim L.A. Application of field methods for the reconstruction of tectonic stresses according to the data on discontinuities for solving theoretical and practical problems // Modern Tectonophysics. Methods and results. M-ly Second youth tectonophysics. School Workshop Oct. 17-21, 2011, IPE RAS, Moscow. M. : Institute of Physical Problems RAS. V. 2: Lectures. P. 156-171.
12. Kass M. et.al. Snakes: Active contourmodels. International Journal of Computer Vision. 1988. V. 1 (4). P. 321.
13. Masoud A., Koike K. Applicability of computeraided comprehensive tool (LINDA: LINEament Detection and Analysis) and shaded digital elevation model for characterizing and

interpreting morphotectonic features from lineaments // Computers & Geosciences. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2017.06.006> (date of access: 12.09.2018).

14. Zlatopolsky A. Program LESSA (Lineament Extraction and Stripe Statistical Analysis). Automated linear image features analysis –experimental results // Computers & Geosciences. 1992. V. 18, No. 9. P. 1121-1126.

15. Zlatopolsky A. WinLESSA. Version 3.1. User guide, 2008.

**Гордеев Никита Александрович**, младший научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123242, ГСП-5, Москва Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. E-mail: [gord@ifz.ru](mailto:gord@ifz.ru).

*Gordeev Nikita A., junior researcher O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS. 10 Bol'shaya Gruzinskaya str., Moscow D-242, 123242, GSP-5. E-mail: [gord@ifz.ru](mailto:gord@ifz.ru).*

**Молчанов Алексей Борисович**, аспирант Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, кафедра теоретической физики. Москва, 119991, Ленинские горы, д. 1. E-mail: [alexeybm2009@gmail.com](mailto:alexeybm2009@gmail.com).

*Molchanov Alexey B., post graduate student Lomonosov Moscow State University, Faculty of physics, Theoretical physics department. Moscow, 119991, Leninskie Gory, 1. E-mail: [alexeybm2009@gmail.com](mailto:alexeybm2009@gmail.com).*

**Васильев В.И., Васильева Е.В., Жатнуев Н.С., Санжиев Г.Д.  
Параметры образования и эволюции мантийно-корового мигранта**

Представлены концептуальная и математическая модели транспорта мантийного вещества с пониженной относительно вмещающей среды плотностью в земную кору. На их основе разработана платформа для параметрического моделирования накопления вещества в глубинной камере, а также образования и эволюции мантийно-корового мигранта – программа Vladi Overpressure. Программа позволяет моделировать образование глубинной накопительной камеры трех различных форм, а также формирование и эволюцию мигранта трех различных форм. Для расчета скорости подъема мигранта используются пять уравнений (Ньютона, фон Риттингера, Стокса, Аллена-Лященко, Спера), связывающих между собой следующие параметры: плотность, прочность, температура, динамическая вязкость, предел текучести среды и плотность мигранта.

**Ключевые слова:** мантийно-коровый мигрант, избыточное давление, параметрическое моделирование.

**Vasiliev V.I., Vasilieva E.V., Zhatnuev N.S., Sanzhiev G.D.  
Parameters of origin and evolution of the mantle-crust migrant**

The conceptual and mathematic models of the transport of a mantle substance with reduced relative to the enclosing medium density to the Earth crust are introduced. Based on them, the platform for parametric modeling of the substance accumulation in a depth chamber, formation and evolution of the mantle-crust migrant has been created as software Vladi Overpressure. The software provides to simulate forming of the depth accumulative chamber of three different shapes as well as forming and evolution of the mantle-crust migrant of three different shapes. The rate of the migrant ascent can be calculated by five equations (Newton's, von Rittinger's, Stokes's, Allen-Lyaschenko's, Spera's) that relate the following parameters: density, strength, temperature, dynamic viscosity, yield strength of the enclosing medium, and migrant density.

**Keywords:** mantle-crust migrant, overpressure, parametric modeling.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Большое трещинное Толбачинское извержение. – М. : Наука, 1984. – 638 с.
2. Бурмин В.Ю. Распределение плотности и упругих параметров в Земле // Физика Земли. – 2006. – 7. – С. 76-88.
3. Васильев В.И., Чудненко К.В., Жатнуев Н.С., Васильева Е.В. Комплексное компьютерное моделирование геологических объектов на примере разреза зоны субдукции // Геоинформатика. – 2009. – № 3. – С. 15-30.
4. Васильев В.И., Дамдинов Б.Б. Физико-химическая модель образования рудоносных родингитов и магнетит-хлорит-эпидотовых метасоматитов Восточного Саяна // Литосфера. – 2013. – №5. – С. 72-96.
5. Васильев В.И., Жатнуев Н.С. Термодинамическая модель эволюции флюидозаполненной трещины в зоне пластично-хрупкого перехода // Физико-химические и петрофизические исследования в Науках о Земле : мат-лы X междунар. конференции. – М. : ИФЗ РАН, 2009. – С. 78-82.
6. Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Рычагов С.Н., Васильева Е.В., Санжиев Г.Д. Массоперенос и минералообразование в магматогенно-гидротермальных системах по результатам численного физико-химического моделирования // Литосфера. – 2010. – № 3. – С. 145-152.

7. Васильева Е.В., Васильев В.И., Жатнуев Н.С., Санжиев Г.Д. Тектонофизическое исследование динамики флюидозаполненных полостей в твердой пластичной среде // Материалы III всероссийской тектонофизической конференции. – М. : ИФЗ РАН, 2012. – Т. 1. – С. 265-268.
8. Васильева Е.В., Васильев В.И., Смирнова О.К. Физико-химическая модель стока техногенных вод Бом-Горхонского вольфрамового месторождения в экологическую среду реки Зун-Тигня (Забайкальский край) // Минералогия техногенеза-2015. – Миасс : ИМин УрО РАН, 2015. – С. 155-159.
9. Гордиенко В.В. О вязкости вещества тектоносферы // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. – 2017. – № 1. – С. 45-57.
10. Жатнуев Н.С. Динамика глубинных магм // Доклады РАН. – 2010. – Т. 430, № 6. – С. 787-791.
11. Жатнуев Н.С. Трещинные флюидные системы в зоне пластических деформаций // Доклады РАН. – 2005. – Т. 404, № 3. – С. 380-384.
12. Жатнуев Н.С., Васильев В.И., Санжиев Г.Д. Восходящая миграция флюидов в мантии. Концептуальная, расчетная и аналоговая модели // Отечественная геология. – 2013. – № 3. – С. 24-30.
13. Иванов С.Н. О реологических моделях земной коры: критическое рассмотрение. – Екатеринбург : ИГИГ, 1998. – 40 с.
14. Лященко П.В. Гравитационные методы обогащения. – М. : Гостоптехиздат, 1940. – 359 с.
15. Ньютон И. Математические начала натуральной философии. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
16. Уилли Р. Петрогенезис и физика Земли // Эволюция изв. пород. – М. : Мир, 1983. – С. 468-503.
17. Фараджев Т.Г., Фаталиев М.Д. Горные породы Азербайджана и пути их эффективного разрушения. – Баку : Азернешр, 1965. – 137 с.
18. Allen D.N., Southwell R.V. Relaxation methods applied to determine the motion, in two dimensions, of a viscous fluid past a fixed cylinder // The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics. – 1955. – V. 8. – P. 129-145.
19. Ohtani E., Zhao D. The role of water in the deep upper mantle and transition zone // Russian Geology and Geophysics. – 2009. – V. 50, No. 12. – P. 1073-1078.
20. Rittinger P.R. Lehrbuch der Aufbereitungskunde. – Berlin : Verlag von Ernst&Korn, 1867. – 596 p.
21. Spera F.J. Carbon dioxide in petrogenesis // Contrib. Mineral. Petrol. – 1984. – V. 88. – P. 217-232.
22. Stokes G.G. Mathematical and physical papers. – Cambridge : University Press, 1880. – V. 1. – 328 p.

#### REFERENCES

1. Large Tolbachik fissure eruption. M. : Science, 1984. 638 p.
2. Burmin V. Distribution of density and elastic parameters in the Earth // Physics of the Earth. 2006. No. 7. P. 76-88.
3. Vasiliev V.I., Chudnenko K.V., Zhatnuev N.S., Vasilieva E.V. The complex computer modeling of geological objects on the example of a section of subduction zone // Geoinformatics. 2009. No. 3. P. 15-30.
4. Vasiliev V.I., Damdinov B.B. The physico-chemical model of ore-bearing rodingites and magnetite-chlorite-epidote metasomatites of Eastern Sayan // Lithosphere. 2013. No. 5. P. 72-96.
5. Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S. The thermodynamic model of evolution of fluid-containing fissure in the plastic-brittle transition // Physical-chemical and petrophysical researches in Earth's sciences : Pro-ceedings of the Tenth International Conference. Moscow : IGEM RAS, 2009. P. 78-82.



6. Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Rychagov S.N., Vasilieva E.V., Sanzhiev G.D. Mass-transfer and mineral formation in magmatic-hydrothermal systems based on the results of numerical physical-chemical modeling // *Lithosphere*. 2010. No. 3. P. 145-152.
7. Vasilieva E.V., Vasiliev V.I., Zhatnuev N.S., Sanzhiev G.D. The tectonophysical study of the dynamics of fluid-contained cavities in a solid plastic medium // *Proceedings of the III Russian research conference*. M. : IPE RAS, 2012. V. 1. P. 265-268.
8. Vasilieva E.V., Vasiliev V.I., Smirnova O.K. The physical and chemical model of the flow of technogenic waters of Bom-Gorkhonsky tungsten deposit to the ecological environment of Zun-Tignya river (West Transbaikalia) // *Mineralogy of Technogenesis-2015*. Miass : Institute of Mineralogy UB RAS, 2015. P. 155-159.
9. Gordienko V.V. About viscosity of the tectonosphere substance // *Geology and minerals of the World Ocean*. 2017. No. 1. P. 45-57.
10. Zhatnuev N.S. Dynamics of deep magmas // *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 2010. V. 430, No. 6. P. 787-791.
11. Zhatnuev N.S. The fissure-fluid systems in a zone of plastics deformations // *Reports of the Russian Academy of Sciences*. 2005. V. 404, No. 3. P. 380-384.
12. Zhatnuev N.S., Vasiliev V.I., Sanzhiev G.D. Ascending fluid migration in the mantle. Conceptual, numerical and analog models // *National geology*. 2013. No. 3. P. 24-30.
13. Ivanov S.N. About rheological models of the earth's crust: a critical consideration. Ekaterinburg : IGG URAN, 1998. 40 p.
14. Lyaschenko P.V. The gravity enrichment methods. M. : Gostoptekhizdat, 1940. 359 p.
15. Newton I. *Philosophiae naturalis principia mathematica*. M.: Science, 1989. 688 p.
16. Willie R. *Petrogenesis and physics of the Earth* // *Evolution ign. rocks*. M. : Mir, 1983. P. 468-503.
17. Faradzhev T.G., Fataliyev M.D. *Rocks of Azerbaijan, and the ways of their effective destruction*. Baku : Azernesr, 1965. 137 p.
18. Allen D.N., Southwell R.V. Relaxation methods applied to determine the motion, in two dimensions, of a viscous fluid past a fixed cylinder // *The Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*. 1955. V. 8. P. 129-145.
19. Ohtani E., Zhao D. The role of water in the deep upper mantle and transition zone // *Russian Geology and Geophysics*. 2009. V. 50, No. 12. P. 1073-1078.
20. Rittinger P.R. *Lehrbuch der Aufbereitungskunde*. Berlin : Verlag von Ernst&Korn, 1867. 596 p.
21. Spera F.J. Carbon dioxide in petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1984. V. 88. P. 217-232.
22. Stokes G.G. *Mathematical and physical papers*. Cambridge : University Press, 1880. V. 1. 328 p.

**Васильев Владимир Игоревич**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: geovladi@ginst.ru.

*Vasiliev Vladimir Igorevich, candidate of geological and mineralogical sciences, science researcher Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Buryat Republic, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A. E-mail: geovladi@ginst.ru.*

**Васильева Евгения Владимировна**, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: geovladi@ginst.ru.

*Vasilieva Eugenia Vladimirovna, candidate of geological and mineralogical sciences, science researcher Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Buryat Republic, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A. E-mail: geovladi@ginst.ru.*

**Жатнуев Николай Сергеевич**, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: zhat@ginst.ru.

*Zhatnuev Nikolay Sergeevich, doctor of geological and mineralogical sciences, senior science researcher Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Buryat Republic, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A. E-mail: zhat@ginst.ru.*

**Санжиев Галсан Доржиевич**, инженер Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН). 670047, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, д. 6а. E-mail: sandorzik@mail.ru.

*Sanzhiev Galsan Dorzhievich, engineer Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences (GIN SB RAS). 670047, Buryat Republic, Ulan-Ude, Sakhyanova str., 6A. E-mail: sandorzik@mail.ru.*

**Кошель С.М., Энтин А.Л., Самсонов Т.Е.  
Устранение локальных понижений на цифровых моделях рельефа  
с сохранением особенностей исходного поля высот**

Цифровые модели рельефа (ЦМР) активно применяются в задачах, связанных с моделированием распределения поверхностного стока.

Для достоверного анализа необходимо, чтобы ЦМР была приведена к «гидрологически корректной» форме. Это, в первую очередь, означает устранение замкнутых локальных понижений, которые являются препятствием для распространения стока. Существует множество алгоритмов гидрологической коррекции ЦМР (включая заполнение, разрушение границ и комбинированные алгоритмы), но лишь небольшая их часть сохраняет особенности рельефа понижения.

В настоящей работе представлен алгоритм устранения замкнутых локальных понижений, который формирует на их месте наклонную поверхность естественной формы, сохраняя при этом особенности исходного рельефа. При выполнении гидрологической коррекции при помощи предложенного алгоритма область модификации высот не расширяется за пределы собственно локальных понижений, сохраняется также возможность не обрабатывать некоторые, заранее указанные, понижения (бессточные области). Сравнение результатов работы алгоритма с существующими подходами к гидрологической коррекции показывает, что предлагаемое заполнение понижений с учетом особенностей рельефа позволяет получить более достоверную (с точки зрения гидрологического анализа) модель (среди других алгоритмов заполнения) и сопоставимо с результатами алгоритмов разрушения границ понижений.

**Ключевые слова:** цифровая модель рельефа, гидрологический анализ, предварительная обработка ЦМР замкнутые понижения, заполнение (устранение) понижений.

**Koshel S.M., Entin A.L., Samsonov T.E. Feature-preserving removal of local depressions on digital elevation models**

Digital elevation models (DEM) are widely used for hydrological analysis – the assessment of surface runoff properties. ‘Raw’ DEMs are rarely suitable for reliable hydrological analysis, which requires DEM to be in so-called ‘hydrologically correct’ form. Hydrological correctness requires that all closed local depressions (pits) should be removed from DEM. There are a lot of hydrological DEM pre-processing (pit treatment) algorithms, including filling, breaching, and combined approaches, but most of them cannot preserve surface features from initial DEM. This paper presents a new algorithm for filling closed local depressions which replaces every pit with naturally-shaped surface, allowing preservation of initial surface features. Modification procedure of the proposed algorithm does not exceed depression boundaries and cannot change potentially reliable DEM fragments. Comparison of results of hydrological correction obtained by several algorithms shows that proposed feature-preserving filling procedure produces more reliable surface for further hydrological analysis, and the results are comparable to the results of breaching procedure.

**Keywords:** digital elevation model; hydrological analysis; pre-processing; closed depressions; depression treatment; filling.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Gruber S., Peckham S. Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology // *Geomorphometry: concepts, software, applications* / T. Hengl, H.I. Reuter (Eds). – Elsevier, 2009. – V. 33. – P. 171-194.
2. Кошель С.М., Энтин А.Л. Современные методы расчета распределения поверхностного стока по цифровым моделям рельефа // *Геоморфологи. Современные методы и технологии цифрового моделирования рельефа в науках о Земле. Вып. 6.* – М. : Медиа-Пресс, 2016. – С. 24-34.
3. Jones R. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples // *Computers and Geosciences.* – 2002. – V. 28, Issue 9. – P. 1051-1060.
4. O'Callaghan J.F., Mark D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // *Computer vision, graphics, and image processing.* – 1984. – V. 28, Issue 3. – P. 323-344.
5. Lindsay J.B. Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models // *Hydrological Processes.* – 2016. – V. 30, Issue 6. – P. 846-857.
6. Lindsay J.B., Creed I.F. Distinguishing actual and artefact depressions in digital elevation data // *Computers and Geosciences.* – 2006. – V. 32, Issue 8. – P. 1192-1204.
7. Temme A.J.A.M., Schoorl J.M., Veldkamp A. Algorithm for dealing with depressions in dynamic landscape evolution models // *Computers and Geosciences.* – 2006. – V. 32, Issue 4. – P. 452-461.
8. Martz L.W., Garbrecht J. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models // *Hydrological Processes.* – 1998. – V. 12, Issue 6. – P. 843-855.
9. Jenson S.K., Domingue J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.* – 1988. – V. 54, Issue 11. – P. 1593-1600.
10. Martz L.W., de Jong E. CATCH: A FORTRAN program for measuring catchment area from digital elevation models // *Computers & Geosciences.* – 1988. – V. 14, Issue 5. – P. 627-640.
11. Barnes R., Lehman C., Mulla D. An efficient assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models // *Computers and Geosciences.* – 2014. – V. 62. – P. 128-135.
12. Planchon O., Darboux F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models // *CATENA.* – 2002. – V. 46, Issue 2-3. – P. 159-176.
13. Wang L., Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling // *International Journal of Geographical Information Science.* – 2006. – V. 20, Issue 2. – P. 193-213.
14. Barnes R., Lehman C., Mulla D. Priority-flood: An optimal depression-filling and watershed-labeling algorithm for digital elevation models // *Computers & Geosciences.* – 2014. – V. 62. – P. 117-127.
15. Barnes R. Parallel Priority-Flood depression filling for trillion cell digital elevation models on desktops or clusters // *Computers & Geosciences.* – 2016. – V. 96. – P. 56-68.
16. Zhou G., Liu X, Fu S., Sun Z. Parallel identification and filling of depressions in raster digital elevation models // *International Journal of Geographical Information Science.* – 2017. – V. 31, Issue 6. – P. 1061-1078.
17. Zhou G., Sun Z., Fu S. An efficient variant of the Priority-Flood algorithm for filling depressions in raster digital elevation models // *Computers and Geosciences.* – 2016. – V. 90. – P. 87-96.
18. Rieger W. A phenomenon-based approach to upslope contributing area and depressions in DEMs // *Hydrological Processes.* – 1998. – V. 12, Issue 6. – P. 857-872.
19. Martz L.W., Garbrecht J. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM // *Computers & Geosciences.* – 1999. – V. 25, Issue 7. – P. 835-844.
20. Soille P., Vogt J., Colombo R. Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models // *Water Resources Research.* – 2003. – V. 39, Issue 12. – P. 1058.

21. Soille P. Optimal removal of spurious pits in grid digital elevation models // *Water Resources Research*. – 2004. – V. 40, Issue 12. – P. W12509.
22. Lindsay J.B., Creed I.F. Removal of artifact depressions from digital elevation models: Towards a minimum impact approach // *Hydrological Processes*. – 2005. – V. 19, Issue 16. – P. 3113-3126.
23. Grimaldi S., Nardi F., di Benedetto F., Istanbuluoglu E., Bras R.L. A physically-based method for removing pits in digital elevation models // *Advances in Water Resources*. – 2007. – V. 30, Issue 10. – P. 2151-2158.
24. Santini M., Grimaldi S., Nardi F., Petroselli A., Rulli M.C. Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs // *Geomorphology*. – 2009. – V. 113, Issue 1-2. – P. 110-125.
25. Hutchinson M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits // *Journal of Hydrology*. – 1989. – V. 106, Issue 3-4. – P. 211-232.
26. Hutchinson M., Xu T., Stein J. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure // *Geomorphometry*. Redlands, 2011. – P. 19-22.
27. Gallant J.C., Hutchinson M.F. A differential equation for specific catchment area // *Water Resources Research*. – 2011. – V. 47, Issue 5. – W05535.
28. Qin C.-Z., Ai B.-B., Zhu A.-X., Liu J.-Z. An efficient method for applying a differential equation to deriving the spatial distribution of specific catchment area from gridded digital elevation models // *Computers & Geosciences*. – 2017. – V. 100, No. 2. – P. 94-102.
29. Кошель С.М., Энтин А.Л. Вычисление площади водосбора по цифровым моделям рельефа на основе построения линий тока // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. – 2017. – № 3. – С. 42-50.
30. Pan F., Stieglitz M., McKane R.B. An algorithm for treating flat areas and depressions in digital elevation models using linear interpolation // *Water Resources Research*. – 2012. – V. 48, Issue 2. – W00L10.
31. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // *Геоморфология*. – 2014. – № 1. – С. 45-52.
32. Гарцман Б.И., Бугаец А.Н., Тегай М.Д., Краснопеев С.М. Анализ структуры речных систем и перспективы моделирования гидрологических процессов // *География и природные ресурсы*. – 2008. – № 2. – С. 20-29.
33. Danielson J.J., Gesch D.B. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073. – 2011. – 26 p.
34. Conrad O. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 // *Geoscientific Model Development*. – 2015. – V. 8, Issue 7. – P. 1991-2007.
35. Lindsay J.B. Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis // *Computers & Geosciences*. – 2016. – V. 95. – P. 75-84.
36. Цифровые географические основы – ВСЕГЕИ [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.vsegei.com/ru/info/topo/> (дата обращения: 27.10.2018).

#### REFERENCES

1. Gruber S., Peckham S. Land-Surface Parameters and Objects in Hydrology // *Geomorphometry: concepts, software, applications* / T. Hengl, H.I. Reuter (Eds). Elsevier, 2009. V. 33. P. 171-194.
2. Koshel S.M., Entin A.L. Contemporary methods of the overland flow distribution calculation from digital elevation models // *Geomorphologists. Modern methods and techniques of digital elevation modeling in Earth sciences*. Moscow: Media-Press, 2016. P. 24-34.
3. Jones R. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples // *Computers and Geosciences*. 2002. V. 28, Issue 9. P. 1051-1060.
4. O'Callaghan J.F., Mark D.M. The extraction of drainage networks from digital elevation data // *Computer vision, graphics, and image processing*. 1984. V. 28, Issue 3. P. 323-344.

5. Lindsay J.B. Efficient hybrid breaching-filling sink removal methods for flow path enforcement in digital elevation models // *Hydrological Processes*. 2016. V. 30, Issue 6. P. 846-857.
6. Lindsay J.B., Creed I.F. Distinguishing actual and artefact depressions in digital elevation data // *Computers and Geosciences*. 2006. V. 32, Issue 8. P. 1192-1204.
7. Temme A.J.A.M., Schoorl J.M., Veldkamp A. Algorithm for dealing with depressions in dynamic landscape evolution models // *Computers and Geosciences*. 2006. V. 32, Issue 4. P. 452-461.
8. Martz L.W., Garbrecht J. The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models // *Hydrological Processes*. 1998. V. 12, Issue 6. P. 843-855.
9. Jenson S.K., Domingue J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1988. V. 54, Issue 11. P. 1593-1600.
10. Martz L.W., de Jong E. CATCH: A FORTRAN program for measuring catchment area from digital elevation models // *Computers & Geosciences*. 1988. V. 14, Issue 5. P. 627-640.
11. Barnes R., Lehman C., Mulla D. An efficient assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models // *Computers and Geosciences*. 2014. V. 62. P. 128-135.
12. Planchon O., Darboux F. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models // *CATENA*. 2002. V. 46, Issue 2-3. P. 159-176.
13. Wang L., Liu H. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling // *International Journal of Geographical Information Science*. 2006. V. 20, Issue 2. P. 193-213.
14. Barnes R., Lehman C., Mulla D. Priority-flood: An optimal depression-filling and watershed-labeling algorithm for digital elevation models // *Computers & Geosciences*. 2014. V. 62. P. 117-127.
15. Barnes R. Parallel Priority-Flood depression filling for trillion cell digital elevation models on desktops or clusters // *Computers & Geosciences*. 2016. V. 96. P. 56-68.
16. Zhou G., Liu X, Fu S., Sun Z. Parallel identification and filling of depressions in raster digital elevation models // *International Journal of Geographical Information Science*. 2017. V. 31, Issue 6. P. 1061-1078.
17. Zhou G., Sun Z., Fu S. An efficient variant of the Priority-Flood algorithm for filling depressions in raster digital elevation models // *Computers and Geosciences*. 2016. V. 90. P. 87-96.
18. Rieger W. A phenomenon-based approach to upslope contributing area and depressions in DEMs // *Hydrological Processes*. 1998. V. 12, Issue 6. P. 857-872.
19. Martz L.W., Garbrecht J. An outlet breaching algorithm for the treatment of closed depressions in a raster DEM // *Computers & Geosciences*. 1999. V. 25, Issue 7. P. 835-844.
20. Soille P., Vogt J., Colombo R. Carving and adaptive drainage enforcement of grid digital elevation models // *Water Resources Research*. 2003. V. 39, Issue 12. P. 1058.
21. Soille P. Optimal removal of spurious pits in grid digital elevation models // *Water Resources Research*. 2004. V. 40, Issue 12. P. W12509.
22. Lindsay J.B., Creed I.F. Removal of artifact depressions from digital elevation models: Towards a minimum impact approach // *Hydrological Processes*. 2005. V. 19, Issue 16. P. 3113-3126.
23. Grimaldi S., Nardi F., di Benedetto F., Istanbuluoglu E., Bras R.L. A physically-based method for removing pits in digital elevation models // *Advances in Water Resources*. 2007. V. 30, Issue 10. P. 2151-2158.
24. Santini M., Grimaldi S., Nardi F., Petroselli A., Rulli M.C. Pre-processing algorithms and landslide modelling on remotely sensed DEMs // *Geomorphology*. 2009. V. 113, Issue 1-2. P. 110-125.
25. Hutchinson M.F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits // *Journal of Hydrology*. 1989. V. 106, Issue 3-4. P. 211-232.

26. Hutchinson M., Xu T., Stein J. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure // *Geomorphometry*. Redlands, 2011. P. 19-22.
27. Gallant J.C., Hutchinson M.F. A differential equation for specific catchment area // *Water Resources Research*. 2011. V. 47, Issue 5. W05535.
28. Qin C.-Z., Ai B.-B., Zhu A.-X., Liu J.-Z. An efficient method for applying a differential equation to deriving the spatial distribution of specific catchment area from gridded digital elevation models // *Computers & Geosciences*. 2017. V. 100, № 2. P. 94-102.
29. Koshel S.M., Entin A.L. Catchment area derivation from gridded digital elevation models using the flowline-tracing approach. *Moscow University Bulletin. Series 5. Geography*. 2017. No. 3. P. 42-50.
30. Pan F., Stieglitz M., McKane R.B. An algorithm for treating flat areas and depressions in digital elevation models using linear interpolation // *Water Resources Research*. 2012. V. 48, Issue 2. W00L10.
31. Mal'tsev K.A., Ermolaev O.P., Using DEMs for automatic plotting of catchments // *Geomorphology*. 2014. V. 1. P. 45-52.
32. Gartsman B.I., Bugayets A.N., Tegay N.D., Krasnopeev S.M. Analysis of the structure of river systems and the prospects for modeling hydrological processes // *Geography and natural resources*. 2008. V 2. P. 116-123.
33. Danielson J.J., Gesch D.B. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010): U.S. Geological Survey Open-File Report 2011-1073. 2011. 26 p.
34. Conrad O. et al. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4 // *Geoscientific Model Development*. 2015. V. 8, Issue 7. P. 1991-2007.
35. Lindsay J.B. Whitebox GAT: A case study in geomorphometric analysis // *Computers & Geosciences*. 2016. V. 95. P. 75-84.
36. Digital geographic basemaps – VSEGEI [Electronic resource]. URL: <http://www.vsegei.com/ru/info/topo/> (date of access: 27.10.2018).

**Кошель Сергей Михайлович**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, географический факультет. E-mail: skoshel@mail.ru.

*Koshel Sergey, Candidate of Sciences in Geography, leading researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: skoshel@mail.ru.*

**Энтин Андрей Львович**, инженер географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, географический факультет. E-mail: aentin@geogr.msu.ru.

*Entin Andrey, engineer, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: aentin@geogr.msu.ru.*

**Самсонов Тимофей Евгеньевич**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник Географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, географический факультет. E-mail: tsamsonov@geogr.msu.ru.

*Samsonov Timofey, Candidate of Sciences in Geography, leading researcher, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: tsamsonov@geogr.msu.ru.*

**Кравцова В.И., Чалова Е.Р.**  
**Аэрокосмическое картографирование уникальных ландшафтов**  
**Витязевской пересыпи**

Представлена карта ландшафтно-морфологической структуры средней части Витязевской пересыпи. Карта составлена на основе дешифрирования цифровых аэроснимков масштаба 1:2000 для прибрежной зоны пересыпи и снимков со спутника SPOT-6 масштаба 1:5000 для прилиманного понижения. Выявлены отличительные черты этого участка пересыпи – развитие широкой полосы пляжных дюн при отсутствии валов фронтальных дюн за пляжем; периодическое заливание штормовыми морскими водами участков прилиманного понижения, разделенных реликтовыми аккумулятивными формами; наличие в тыловой и срединной зонах пляжа участков увлажнения грунта и сгущения растительности в связи с поступлением вод из прилиманного понижения по каналам и ложбинам стока. Выявленные особенности необходимо учитывать при разработке мероприятий по рекреационному освоению пересыпи.

**Ключевые слова:** пересыпь, дюнный рельеф, затопление, ландшафтно-морфологическая структура, карта, аэроснимки, космические снимки, рекреационное освоение.

**Kravtsova V.I., Chalova E.R.**  
**Aerospace mapping of the Vityazevskiy bay bar Unicom landscapes**

A map of the landscape-morphological structure of the middle part of the Vityazevskaya bay bar is presented. The map was compiled on the basis of the interpretation of digital aerial pictures at a scale of 1:2000 for the coastal zone of the bay bar and images from the SPOT-6 satellite at a scale of 1:5000 for around lagoon lowlands. The distinctive features of this bay bar area were identified: the development of a wide strip of beach dunes in the absence of the frontal dunes behind the beach; periodic storm seawater flooding of areas of around lagoon lowlands, separated by relic accumulative forms; the presence in the rear and middle beach areas of soil moistening and thickening of vegetation in connection with the inflow of water from the around lagoon lowlands coming by channel and hollows of runoff. The identified features must be considered when developing measures for the recreational development of the bay bar territory.

**Keywords:** bay bar, dune relief, flooding, landscape-morphological structure, map, aerial pictures, satellite images, recreational exploration.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Гидрология дельты и устьевого взморья Кубани / под ред. В.Н. Михайлова, Д.В. Магрицкого, А.А. Иванова). – М. : ГЕОС, 2010. – 728 с.
2. Зенкович В.П. Основы учения о развитии морских берегов.– М. : Изд. АН СССР, 1962. – 710 с.
3. Косьян Р.Д., Крыленко В.В. Современное состояние морских аккумулятивных берегов Краснодарского края и их использование. – М. : Научный мир, 2014. – 256 с.
4. Кравцова В. И., Чалова Е. Р. Картографирование ландшафтно-морфологической структуры Витязевской пересыпи по космическим снимкам высокого разрешения // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 1. – С. 65-73.



5. Кравцова В.И., Чалова Е.Р. Картографирование уникальных дюнных ландшафтов восточной части Витязевской пересыпи по аэрокосмическим снимкам высокого разрешения // Геоинформатика. – 2016. – № 2. – С. 61-73.
6. Кравцова В.И., Крыленко В.В., Другов М.Д., Бойко Е.С. Исследование динамики рельефа северо-западной части Анапской пересыпи по материалам воздушного лазерного сканирования // Геоинформатика. – 2017. – № 4. – С. 48-62.
7. Boyko E., Krylenko V., Krylenko M. LIDAR and airphoto technology in the study of the Black sea accumulative coasts // Abstracts Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment-RSCy 2015. – Cyprus, Limassol : Published by the Cyprus Remote Sensing Society. – P. 61.
8. Kravtsova V., Chalova E., Krylenko V., Tutubalina O., Falaleeva A. Mapping of variations in the Anapa bay bar landscape-morphologic structure with high resolution satellite images // Managing risks to coastal regions and communities in a changing world : Abstract book of EMECS'11 SeaCoasts XXVI joint conference, Aug. 22-27, 2016, StPetersburg, Russia. – P. 42.

#### REFERENCES

1. Hydrology of the delta and the mouth of the Kuban River / Ed. by V.N. Mikhailov, D.V. Magritsky, A.A. Ivanov. M. : GEOS, 2010. 728 p.
2. Zenkovich, V.P. Fundamentals of the study of sea shores development. M. : Izdatelstvo Akademii Nauk SSSR, 1962. 710 p.
3. Kosyan R.D., Krylenko V.V. The Current State of the Black Sea and the Sea of Azov Accumulative Coasts and Recommendations about the Rational Using. M.: Nauchnyi Mir, 2014. 256 p. (In Russian).
4. Kravtsova V.I., Chalova E.R. Mapping of landscape-morphological structure of the Vityazevskaya Bay-Bar by high resolution satellite images // Izvestiya vyzov. Geodeziya i aerofotoc'emka. 2015. No. 1. P. 65-73.
5. Kravtsova V.I., Chalova E.R. Mapping of the unique dune landscapes of the eastern part of the Vityazevo Bay-Bar by aerospace images of high resolution // Geoinformatika. 2016. No. 2. P. 61-73.
6. Kravtsova V.I., Krylenko V.V., Drugov M.D., Boyko E.S. Investigations of the relief dynamics of the north-western part of the Anapa Bay-Bar by materials of air laser scanning // Geoinformatika. 2017. No. 4. P. 48-62.
7. Boyko E., Krylenko V., Krylenko M. LIDAR and airphoto technology in the study of the Black sea accumulative coasts // Abstracts Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment-RSCy 2015. Cyprus : Limassol : Published by the Cyprus Remote Sensing Society. P. 61.
8. Kravtsova V., Chalova E., Krylenko V., Tutubalina O., Falaleeva A. Mapping of variations in the Anapa bay bar landscape-morphologic structure with high resolution satellite images // Managing risks to coastal regions and communities in a changing world : Abstract book of EMECS'11 SeaCoasts XXVI joint conference, Aug. 22-27, 2016. Russia : StPetersburg. P. 42.

**Кравцова Валентина Ивановна**, доктор географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, географический факультет. E-mail: valentinamsu@yandex.ru.

*Kravtsova Valentina I., doctor of geographical science, leading researcher of Laboratory of aerospace methods at Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: valentinamsu@yandex.ru.*

**Чалова Екатерина Романовна**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории аэрокосмических методов кафедры картографии и геоинформатики географического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, МГУ, географический факультет. E-mail: [ekar28@yandex.ru](mailto:ekar28@yandex.ru).

*Chalova Ekaterina R., kandidat of geographical science, leading researcher of Laboratory of aerospace methods at Department of Cartography and Geoinformatics, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. 119991, Moscow, Leninskie Gory, 1, MSU, Faculty of Geography. E-mail: [ekar28@yandex.ru](mailto:ekar28@yandex.ru).*