

УДК 528.8, 551.34

Торговкин Я.И., Шестакова А.А.
ГИС «Аласы Усть-Алданского района (улуса)»

Создан ГИС-проект в формате ArcGIS. Аласы являются яркими представителями криогенных форм рельефа, отражающими историю изучаемой территории. Они являются основной кормовой базой для животноводства Центральной Якутии. Цель работы – выявить характер распространения аласных образований и сделать пространственный анализ их распространения. На изучаемой территории оцифрован 4401 алас, проведен пространственный географический анализ с применением ГИС-технологий. Результаты пространственного анализа отражены в виде карт. Дана количественная характеристика аласов.

Ключевые слова: алас, мерзлотные ландшафты, ГИС-технологии, пространственный анализ, Центральная Якутия, булгуннях, площади.

Torgovkin Y.I., Shestakova A.A.
GIS «Alas of the Ust-Aldansky region (ulus)»

A GIS project was created in ArcGIS format. Alases are prominent representatives of cryogenic landforms, reflecting the history of the study area. They are the main feed for livestock in Central Yakutia. The purpose of the work is to identify the nature of the distribution of alas formations and make a spatial analysis of their distribution. In the study area, 4401 alas were digitized, spatial geographic analysis was carried out using GIS technologies. The results of spatial analysis are reflected in the form of maps. The quantitative characteristic of alas is given.

Keywords: alas, permafrost landscapes, GIS technologies, spatial analysis, Central Yakutia, bulgunnyakh, area.

ЛИТЕРАТУРА

1. Босиков Н.П. Аласность Центральной Якутии // Геокриологические условия в горах и на равнинах Азии. – Якутск : Изд-во ИМЗ СО РАН, 1978. – С. 113-118.
2. Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. – М. : Изд-во АН СССР, 1959. – 144 с.
3. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. – Новосибирск : Наука, 1984. – 125 с.
4. Саввинов Д.Д. Аласные экосистемы: структура, функционирование, динамика / Д.Д. Саввинов, С.И. Миронова, Н.П. Босиков и др. – Новосибирск : Наука, 2005. – 264 с.
5. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1:1 500 000 / А.Н. Федоров, Я.И. Торговкин, А.А. Шестакова, Н.Ф. Васильев, В.С. Макаров и др. ; гл. ред. М.Н. Железняк. – Якутск : ИМЗ СО РАН, 2018. – 2 л. (Фонды ИМЗ). – URL: <http://mpi.usn.ru/> (дата обращения: 25.11.2018).
6. Якутин М.В., Пучнин А.Н. Мониторинг термокарстовых образований в Центральной Якутии с использованием методов дистанционного зондирования // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2010. – № 1. – С. 29-34.

REFERENCES

1. Bosikov N.P. Alas of the Central Yakutia // Geocryological conditions in the mountains and on the plains of Asia. Yakutsk : Publishing House of the Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1978. P. 113-118.
2. Soloviev P.A. Cryolithozone of the northern part of Leno-Amginsky interfluve. M. : Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, 1959. 144 p.
3. Ivanov M.S. The cryogenic structure of the Quaternary sediments Leno-Aldan depression. Novosibirsk : Science, 1984. 125 p.
4. Savvinov D.D. Alas ecosystems: structure, functioning, dynamics / D.D. Savvinov, S.I. Mironova, N.P. Bosikov, et al. Novosibirsk : Nauka, 2005. 264 p.
5. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia). Scale 1:1 500 000 / Fedorov A.N., Torgovkin Ya.I., Shestakova A.A., Vasilyev N.F., Makarov V.S. et al. ; Ch. ed. M.N. Zheleznyak. Yakutsk : PI SB RAS, 2018. 2 liters. PI funds. <http://mpi.ysn.ru> (date of access: 25.11.2018).
6. Yakutin M.V., Puchnin A.N. Monitoring of thermokarst formations in Central Yakutia using remote sensing methods // Izv. universities. Surveying and aerial photography. 2010. No. 1. P. 29-34.

Торговкин Ярослав Ильич, кандидат географических наук, заведующий лабораторией геоинформационных систем (ГИС) и картографирования криолитозоны ФГБУН Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук. 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, ИМЗ СО РАН. E-mail: torgovkin@mpi.ysn.ru.

Torgovkin Yaroslav Ilyich, PhD, Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Head of the Laboratory of Geographic Information Systems (GIS) and Permafrost Mapping, 677010, Yakutsk, Merzlotnaya street, 36. E-mail: torgovkin@mpi.ysn.ru.

Шестакова Алена Алексеевна, кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории криогенных ландшафтов ФГБУН Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского отделения Российской академии наук. 677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, ИМЗ СО РАН. E-mail: aashest@mail.ru.

Shestakova Aliona Alexeevna, PhD, Melnikov Permafrost Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Research scientist of the Laboratory of Permafrost Landscapes. 677010, Yakutsk, Merzlotnaya street, 36. E-mail: aashest@mail.ru.

Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С.

Геоинформационные технологии при моделировании качественных характеристик руд

В статье приведены результаты разработки методики районирования в карьерном пространстве технологических типов руд с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого на основе современных геоинформационных технологий. Для интерпретации данных в ГИС предлагается 2 основных метода: экспресс- и детальный методы, которые требуют предварительного создания геологической базы данных и позволяют достоверно производить оценку и районирование в карьере руд по качественным признакам. Методы различаются трудоемкостью выполнения, детальностью и возможностью корректировок построенных моделей в зависимости от установленных или изменившихся требований к качеству полезного ископаемого. Представленная горно-геологическая информационная система позволяет с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд, что способствует на этапе планирования горных работ выбору наиболее эффективного способа рудоподготовки в режиме управления качеством руды для конкретных горно-геологических условий. В современных условиях ГИС с функцией экспресс-анализа перспективного месторождения и детальной информацией о горно-геологических условиях его разработки является необходимым инструментом для предварительных горно-технологических расчетов и экономической оценки целесообразности освоения минеральных ресурсов.

Ключевые слова: ГИС, горно-геологическая информационная система, качество руд, технологические типы руд, блочное моделирование.

Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S.

Geoinformation technologies in the modeling of qualitative characteristics of ores

The article presents the results of the development of methods of zoning in the quarry space of technological types of ores, taking into account the comprehensive assessment of the quality characteristics of the mineral on the basis of modern geoinformation technologies. To interpret the data in GIS there are 2 main methods: the Express and detailed methods, which require the prior establishment of the geologic-tion databases, and reliably assess and zoning in karyes-re ore quality characteristics. The methods differ in the complexity of implementation, detail and the possibility of adjustments to the constructed models, depending on the established or changed requirements for the quality of the mineral. The presented mining and geological information system makes it possible to zone technological types and grades of ores with high reliability in the quarry space, which contributes to the selection of the most effective method of ore preparation in the mode of ore quality management for specific mining and geological conditions at the stage of mining planning. In modern conditions, GIS with the function of rapid analysis of promising deposits and detailed information about the mining and geological conditions of its development is a necessary tool for preliminary mining and technological calculations and economic assessment of the feasibility of mineral resources development.

Keywords: GIS, mining and geological information system, quality of ores, technological types of ores. block modeling.

Исследования выполнены в рамках Государственного задания № 075-00581-19-00, тема № 0405-2019-00065 «Разработка методов геоинформационного мониторинга горно-геологических объектов с оценкой состояния горных предприятий как природно-технологических систем».

ЛИТЕРАТУРА

1. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., Козлова М.В. Предварительная оценка технологических типов титаномагнетитовых руд // Обогащение руд. – 2018. – № 3. – С. 56-59 (DOI: 10.17580/or.2018.03.10).
2. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья [Электронный ресурс] // Проблемы недропользования : сетевое периодическое научное издание / ИГД УрО РАН. – 2016. – № 4. – С. 170-176. – URL: <https://trud.igduran.ru/edition/11> (дата обращения: 12.11.2018).
3. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. Геоинформатика и геоинформационные системы – М. : ВНИИГеосистем, 2005. – 453 с.
4. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика / под ред. Р.В. Арутюняна ; Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН. – М. : Наука, 2010. – 327 с.
5. Кантемиров В.Д., Тимохин А.В., Титов Р.С. Оценка засоренности массива известняка с использованием методов электроразведки // Маркшейдерия и недропользование. – 2018. – № 2. – С. 21-31.

REFERENCES

1. Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., Kozlova M.V. Preliminary assessment of the technological types of titanomagnetite ores // Obogashchenie Rud. 2018. No. 3. P. 56-59 (DOI: 10.17580/or.2018.03.10).
2. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M. Computer simulation potentialities for solving questions of mineral resources quality management [Electronic resource] // Problems of subsoil use : network periodical scientific publication / IM UB RAS. 2016. No. 4. P. 170-176. URL: <https://trud.igduran.ru/edition/11> (date of access: 12.11.2018).
3. Kuznetsov O.L., Nikitin A.A., Cheremisina E.N. Geoinformatics and geoinformation systems. Moscow : VNIIGeosistem, 2005. – 453 p.
4. Demyanov V.V., Savelyeva E.A. Geostatistics: theory and practice / Edited by R.V. Arutyunyan ; Nuclear Safety Institute of RAS (IBRAE RAN). Moscow : Science, 2010. – 327 p.
5. Kantemirov V.D., Timokhin A.V., Titov R.S. Debris assessment of limestone massif by the use of geoelectric prospecting // Mine Surveying and Subsurface Use. 2018. No. 2. P. 21-31.

Кантемиров Валерий Данилович, кандидат технических наук, заведующий сектором управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58. E-mail: ukrkant@mail.ru.

Kantemirov Valery Danilovich, PhD, Quality management sector chief, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, 620075, Yekaterinburg city, Mamina-Sibiryaka street, 58. E-mail: ukrkant@mail.ru.

Яковлев Андрей Михайлович, старший научный сотрудник сектора управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58. E-mail: quality@igduran.ru.

Yakovlev Andrei Michailovich, senior researcher, Quality management sector, Institute of Mining of Ural branch of RAS. 620075, Yekaterinburg city, Mamina-Sibiryaka street, 58. E-mail: quality@igduran.ru.

Титов Роман Сергеевич, старший научный сотрудник сектора управления качеством минерального сырья Института горного дела УрО РАН. 620075, г. Екатеринбург, ул. Мамина-Сибиряка, д. 58. E-mail: ukrigd15@mail.ru.

Titov Roman Sergeevich, senior researcher, Quality management sector, Institute of Mining of Ural branch of RAS. 620075, Yekaterinburg city, Mamina-Sibiryaka street, 58. E-mail: ukrigd15@mail.ru.

Курков В.М., Смирнов А.В., Кузнецов В.А.
Обзор факторов и условий, влияющих на применение беспилотных воздушных судов, предназначенных для решения задач картографирования

В настоящей статье описаны и проанализированы технические характеристики, внешние факторы и условия эксплуатации различных типов беспилотных воздушных судов (БВС), оказывающие принципиальное влияние на фотограмметрические процессы, приведены расчеты производительности и нормативные документы, показаны критерии выбора БВС для решения определенных картографических задач.

Ключевые слова: обзор, БВС, аэрофотосъемка, картография, мониторинг.

Kurkov V.M., Smirnov A.V., Kuznetsov V.A.
UAS review for mapping

This article describes all the important UAS technical characteristics, their influence on photogrammetric processing, gives estimates of productivity and regulations, recommends UAS selection options for the solution of certain mapping tasks.

Keywords: review, UAS, aerial surveying, mapping, monitoring.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курков В.М., Смирнов А.В., Иноземцев Д.П. Опыт использования БЛА при проведении практики студентов на «Заокском геополигоне» МИИГАиК // Геопрофи. – 2014. – № 4. – С. 55-61.
2. Чибуничев А.Г., Курков В.М., Говоров А.В., Смирнов А.В., Михалин В.А. Исследование точности фототриангуляции с использованием различных методов лабораторной и полевой калибровки // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 2. – С. 42-47.
3. Михайлов А.П., Курков В.М., Чибуничев А.Г. Испытательный полигон для тестирования беспилотных летательных аппаратов, используемых для картографирования и мониторинга территорий // От снимка к карте: цифровые фотограмметрические технологии : тезисы 11-й Междунар. науч.-техн. конф., Барселона, Испания, 2011 г. – С. 28-29.
4. Савиных В.П., Кучко А.С., Стеценко А.Ф. Аэрокосмическая фотосъемка : учебник. – М. : «Картогеоцентр» ; «Геодиздат», 1997. – 378 с.
5. Кадничанский С.А., Фальков Э.Я., Бабашкин Н.М Сравнительный анализ эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем // Геодезия, маркшейдерия, аэрофотосъемка. На рубеже веков : тезисы V Междунар. науч.-практич. конф., Москва, 2014 г.
6. Особенности классической фотограмметрической обработки данных с БПЛА : Вебинар, 2015 г. [Электронный ресурс] // Компания «Ракурс» : сайт. – URL: <http://racurs.ru/> (дата обращения: 15.01.2019).
7. Кузнецов В.А. Методы и технологии использования беспилотных летательных аппаратов для получения документов о местности : конспект лекций. – М. : МИИГАиК, 2016. – 100 с.
8. Gambold K.A. Unmanned aircraft system access to national airspace : background paper. 2011. – 48 p. – URL: <https://www.airpilots.org/file/917/uas-access-to-national-airspace-paper.pdf> (date of access: 21.01.2019).

REFERENCES

1. Kurkov V.M., Smirnov A.V., Inozemtsev D.P. Experience in the Use of UAVs during Practice for Students at the MIIGAiK «Zaoksky Geopolygon» // Geoprofi. 2014. No. 4. P. 55-61.
2. Chibunichev A.G., Kurkov V.M., Govorov A.V., Smirnov A.V., Mikhailin V.A. Investigation of accuracy in phototriangulation using different laboratory calibrating methods and field calibrating methods // Izvestia vuzov. Geodesy and aerophotosurveying. 2016. No. 2. P. 42-47.
3. Mikhailov A.P., Kurkov V.M., Chibunichev A.G. Testing area geopolygon MIIGAiK for research, calibration and certification of unmanned aerial systems // From Imagery to Map: Digital Photogrammetric Technologies : Materials of the 11th International Scientific and Technical Conference, Barcelona, Spain, 2011. P. 28-29.
4. Savinykh V.P., Kuchko A.S., Stetsenko A.F. Aerospace photosurveying. M. : «Kartogeocentr» ; «Geodezizdat», 1997. 378 p.
5. Kadnichansky S.A., Falkov E.Ya., Babashkin N.M. Comparative analysis of aerial surveying effectiveness using unmanned and manned aerial systems // Geodesy, Mine Survey and Aerial Topography. At the turn of the centuries : Materials of the V International Scientifically-practical Conference, Moscow, 2014.
6. Features of classical photogrammetric processing of data from a UAV [Electronic resource] : Webinar, 2015. URL: <http://www.racurs.ru/> (date of access: 15.01.2019).
7. Kuznetsov V.A. Methods and technologies of using unmanned aerial vehicles to obtain documents about the terrain : Lecture notes. M. : MIIGAiK, 2016. 100 p.
8. Gambold K.A. Unmanned aircraft system access to national airspace : background paper. 2011. 48 p. URL: <https://www.airpilots.org/file/917/uas-access-to-national-airspace-paper.pdf> (date of access: 21.01.2019).

Курков Владимир Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК). 105064, г. Москва, Горюховский пер, д. 4. E-mail: vkurkov@inbox.ru.
Kurkov Vladimir Mikhailovich, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Department of Photogrammetry, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK). 105064, Moscow, Gorokhovsky Per., 4, E-mail: vkurkov@inbox.ru.

Смирнов Алексей Владимирович, соискатель кафедры фотограмметрии Московского государственного университета геодезии и картографии (МИИГАиК), менеджер отдела технической поддержки компании «Ракурс». 129366, г. Москва, ул. Ярославская, д. 13а. E-mail: geo-aleksey@yandex.ru.
Smirnov Alexey Vladimirovich, Aspirant of Department of Photogrammetry, Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), manager of Technical Support Department of Racurs co. 129366, Moscow, Yaroslavskaya street, 13a. E-mail: geo-aleksey@yandex.ru.

Кузнецов Василий Анатольевич, кандидат военных наук, заместитель начальника отдела по ТЭК компании «Зала Аэро». 426011, г. Ижевск, ул. 40 лет Победы, д. 118. E-mail: pilot.60@mail.ru.
Kuznetsov Vasily Anatolyevich, Candidate of Military Sciences, Deputy Head of the Fuel and Energy Sector Department of Zala Aero co. 426011, Izhevsk, 40 let Pobedy street, 118. E-mail: pilot.60@mail.ru.

Волохова А.В., Земляная Е.В., Качалов В.В., Рихвицкий В.С., Сокотущенко В.Н.
**Численное моделирование динамики извлечения многокомпонентной
газоконденсатной углеводородной смеси в режиме истощения фильтрационной
модели пласта**

Разработка методов повышения эффективности извлечения углеводородов в месторождениях с высоким содержанием газового конденсата представляет одну из важных научно-прикладных задач. Решение этой задачи требует развития методов математического моделирования, реалистично описывающих процессы фильтрации газоконденсатной смеси в пористой среде в различных условиях, а также верификацию разработанных моделей путем сопоставления полученных численных результатов с данными экспериментальных измерений. В настоящей работе в рамках известного подхода на базе классического закона Дарси и законов сохранения, традиционно используемого для моделирования процессов прохождения двухфазных многокомпонентных смесей через пористую среду, сформулирована модифицированная модель для расчета количественных характеристик, отражающих динамику процесса извлечения многокомпонентного углеводородного газоконденсата в режиме истощения. Вычислительные эксперименты показали, что предложенный подход обеспечивает адекватное согласие с экспериментальными данными, полученными в ООО «ВНИИГАЗ» (Ухта) на лабораторной модели пласта с имитацией естественного истощения месторождения для случая девятикомпонентной углеводородной смеси при двух значениях температуры: 25 °С и 60 °С. В работе дано описание математической модели и обсуждаются результаты вычислительных экспериментов в сравнении с данными измерений на лабораторной установке.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, многокомпонентная газоконденсатная смесь, система дифференциальных уравнений.

Volokhova A.V., Zemlyanaya E.V., Kachalov V.V., Rihvitsky V.S., Sokotushchenko V.N.
**Numerical simulation of the dynamics of the extraction of a multicomponent gas
condensate hydrocarbon mixture in the depletion mode of the reservoir filtration model**

Development of methods to increase the efficiency of the fields with a high content of the hydrocarbon condensate is one of the most important scientific and applied problems. Solving this problem requires the development of mathematical modeling methods that realistically describe the flow processes of a gas-condensate mixture in a porous medium under various conditions, as well as verification of the developed models by comparing the numerical results obtained with experimental measurements. In the present work, in the framework of the well-known approach based on the classical Darcy law and conservation laws, traditionally used to simulate the flowing of two-phase multicomponent mixtures through a porous medium, a modified model is formulated for calculating the physical characteristics of the extraction process of a multicomponent hydrocarbon gas-condensate mixture. Computational experiments showed that the proposed approach provides adequate agreement with the experimental data obtained in LLC «VNIIGAZ» (Ukhta) on a laboratory model of the reservoir with simulated natural depletion of the field in the case of a nine-component hydrocarbon mixture at two temperatures: 25 °C and 60 °C. In the paper, the mathematical model is described and the results of computational experiments in comparison with the experimental data on a laboratory setup are discussed.

Keywords: computer simulation, multicomponent gas-condensate mixture, differential equations system.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 17-08-01270А).

ЛИТЕРАТУРА

1. Григорьев Б.А., Качалов В.В., Пазюк Ю.В., Сокотущенко В.Н. Обзор работ по теории фильтрации углеводородных систем // Вести газовой науки. – 2017. – № 2 (30). – С. 182-202.
2. Зайченко В.М., Майков И.Л., Смолкин А.К., Сокол Г.Ф., Торчинский В.М. Экспериментальная установка для моделирования двухфазного течения углеводородных смесей в пористых пластах // Приборы и техника эксперимента. – 2012. – Вып. 5. – С. 95-98.
3. Aziz K., Settari A. Petroleum reservoir simulation. – London : Applied Science Publishers Ltd., 1979. – 476 p.
4. Митлин В.С. Подземная гидромеханика сложных углеводородных смесей. – М. : ВИНТИ, 1991. – Т. 4. – С. 154-222.
5. Пономарева И.Н., Мордвинов В.А. Подземная гидромеханика. – Пермь : Пермский гос. техн. ун-т, 2009. – 103 с.
6. Ковалёв А.Л., Шеберстов Е.В. Численное моделирование локально-неравновесной фильтрации в газоконденсатных пластах // Вести газовой науки. – 2018. – № 5 (37). – С. 164-171.
7. Волохова А.В., Земляная Е.В., Качалов В.В., Сокотущенко В.Н., Рихвицкий В.С. Численное исследование фильтрации газоконденсатной смеси в пористой среде // Компьютерные исследования и моделирование. – 2018. – Т. 10, вып. 2. – С. 209-219.
8. Vo H.X. Composition Variation During Flow of Gas-Condensate Wells : A report submitted to the Department of energy resources engineering of Stanford University. – 2010. – 100 p.
9. Волков А.Н., Лапшин В.И., Поляков А.В. Моделирование фазового поведения газоконденсатной системы в пористой среде // Газовая промышленность. – 2016. – № 10. – С. 26-31.
10. Брусиловский А.И. Фазовые превращения при разработке месторождений нефти и газа. – М. : Грааль, 2002. – 575 с.
11. Директор Л.Б., Качалов В.В., Майков И.Л., Сковородько С.В. Одномерная нестационарная модель двухфазной фильтрации газоконденсатной смеси. – М., 2000. – 45 с. (Препринт / ОИВТ РАН ; 2-441).

REFERENCES

1. Grigoriev B.A., Kachalov V.V., Pazyuk Yu.V., Sokotushchenko V.N. Review of state-of-art theoretical works on filtration in hydrocarbon systems // News of gas science. 2017. No. 2 (30). P. 182-202.
2. Zaichenko V.M., Maikov I.L., Smolkin A.K., Sokol G.F., Torchinsky V.M. Experimental installation for simulating the two-phase flow of hydrocarbon mixtures in porous plastakh // Devices and technics of experiment. 2012. Issue 5. P. 95-98.
3. Aziz K., Settary A. Petroleum reservoir simulation. – London : Applied Science Publishers Ltd., 1979. 476 p.
4. Mitlin V.S. Underground hydromechanics of complex hydrocarbon mixtures. Moscow : VINITI, 1991. V. 4. P. 154-222.
5. Ponomareva I.N., Mordvinov V.A. Underground hydromechanics. Perm : Perm state technical university, 2009. 103 p.
6. Kovalev A.L. Sheberstov Ye.V. Numerical simulation of non-equilibrium local filtration in gas-condensate beds // News of gas science. 2018. No. 5 (37). P. 164-171.
7. Volokhova A.V., Zemlyanaya E.V., Kachalov V.V., Sokotushchenko V.N., Rikhvitskiy V.S. Numerical investigation of the gas-condensate mixture flow in a porous medium // Computer Research and Modeling. 2018. – V. 10, No. 2. P. 209-219.
8. Vo H.X. Composition Variation During Flow of Gas-Condensate Wells : A report submitted to the Department of energy resources engineering of Stanford University. 2010. 100 p.
9. Volkov A.N., Lapshin V.L., Polyakov A.V. Simulation of Gaz Condensate System Phase Beghavior in Porous Media. Gaz Industry Magazine. 2016. No. 10. P. 26-31.

10. Brusilovsky A.I. Phase transformations in the development of oil and gas fields. M. : Grail, 2002. 575 p.
11. Director L.B., Kachalov V.V., Maikov I.L., Skovorodko S.N. One-dimensional nonstationary model of two-phase filtration of a gas-condensate mixture. Moscow, 2000. 45 p. (Preprint OIVT RAS ; 2-441).

Волохова Алина Викторовна, младший научный сотрудник Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований. 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6. E-mail: volokhova@jinr.ru.
Volokhova Alina Viktorovna, Junior researcher LIT JINR. 141980, Moscow region, Dubna, Joliot-Curie street, 6. E-mail: volokhova@jinr.ru.

Земляная Елена Валериевна, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований. 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6. E-mail: elena@jinr.ru.
Zemlyanaya Elena Valerievna, senior researcher, doctor of physics and mathematics, leading researcher LIT JINR. 141980, Moscow region, Dubna, Joliot-Curie street, 6. E-mail: elena@jinr.ru.

Качалов Виктор Владимирович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Объединенного института высоких температур РАН. 125412, г. Москва, ул. Ижорская, д. 13, стр. 2. E-mail: ongk@mail.ru.
Kachalov Viktor Vladimirovich, candidate of technical Sciences, senior researcher of the United Institute for high temperatures, Russian Academy of Sciences. 125412, Moscow, Izhorskaya street, 13, p. 2. E-mail: ongk@mail.ru.

Рихвицкий Виктор Сергеевич, ведущий программист Лаборатории информационных технологий Объединенного института ядерных исследований. 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Жолио-Кюри, д. 6. E-mail: rqvtsk@jinr.ru.
Rikhvitskiy Victor Sergeevich, leading programmer LIT JINR. 141980, Moscow region, Dubna, Joliot-Curie street, 6. E-mail: rqvtsk@jinr.ru.

Сокотущенко Вадим Николаевич, кандидат технических наук, доцент Государственного университета «Дубна». 141980, Московская область, г. Дубна, ул. Университетская, д. 19. E-mail: sokotushenko@mail.ru.
Sokotushchenko Vadim Nikolaevich, candidate of technical Sciences, associate Professor State University of Dubna. 141980, Moscow region, Dubna, Universitetskaya street, 19. E-mail: sokotushenko@mail.ru.

Хаитов Б.У.

Цифровое моделирование рельефа для задач предварительного анализа местности

В статье предложен метод цифрового моделирования рельефа по участкам, именуемым кварталами. Определяя плоскости кварталов, можно отображать образование стока поверхностных вод в виде вектора ската, а также визуализацию уклонов рельефа в виде картограммы. Кварталы рельефа также способствуют количественной оценке рельефа – определению степени сложности рельефа. Цифровая модель рельефа на основе плоскостей кварталов способствует предварительному анализу рельефа для различных задач инженерного проектирования.

Ключевые слова: рельеф, квартал, поверхность квартала, линия среднего уклона, плоскость квартала, плоскость рельефа, линия ската, вектор ската, сложность рельефа.

Khaitov B.Us.

Digital modeling of the relief for tasks of preliminary terrain analysis

In article the method of digital modelling of a relief on sites called by quarters is offered. Defining planes of quarters, it is possible to show formation of water flow in the form of a slope vector, and also visualization of biases of a relief in the form of a cartogram. Quarters of a relief also conduces for a quantitative estimation of a relief – to definition of degree of complexity of a relief. The digital model of a relief on the basis of planes of quarters promotes the preliminary analysis of a relief for various problems of engineering designing.

Keywords: relief, quarter, surface of quarter, line of average slope, plane of quarter, plane of relief, slope line, vector of slope, complexity of a relief.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хаитов Б.У. Об одном геометрическом методе определения линии общего уклона плоской кривой // Молодой ученый : научный журнал. – Казань, 2015. – №10 (90). – С. 340-342.
2. Хаитов Б.У. Графо-аналитический метод определения линии общего уклона плоской кривой // Технические науки: теория и практика : мат-лы III Междунар. науч. конф., Чита, апрель 2016 г. – Казань : Изд-во «Молодой ученый», 2016 – С. 137-139.
3. Khaitov B. Graphic-analytical method of relief plane definition // Landscape architecture and regional planning. – 2016. – V. 1, Issue 1. – P. 13-17. – URL: <http://article.sciencepublishinggroup.com/html/10.11648.j.larp.20160101.12.html> (дата обращения: 16.12.2018).
4. Хаитов Б.У. Определение коэффициента сложности рельефа для задач инженерного проектирования // Интернаука : научный журнал. – М. : Интернаука. – 2018. – № 7 (41), часть 1. – С. 62-64.
5. Хейфец Б.С., Хромченко А.В. Применение теории информации для оценки степени расчлененности рельефа местности // Известия вузов. Геодезия и Аэрофотосъемка. – М., 1978. – № 4. – С. 13-23.
6. Хаитов Б.У. Цифровое моделирование рельефа для проектирования // Современные проблемы сельского и водного хозяйства : сб. трудов IX научно-практической конференции, Ташкент, ТИИМ, 20-21 мая 2010 г. – С. 17-19.
7. Триангуляция, работа с полигонами и другие алгоритмы (Triangle, polygons and ...) : сайт. – URL: <http://achawk.narod.ru/index.html#begin> ; Загрузка: http://achawk.narod.ru/Download_Tri.html (дата обращения: 18.12.2018).

8. Кучкарова Д.Ф. Теория топографических поверхностей и ее приложения : дис. ... д-ра техн. наук. – Бухара, 2001. – 314 с.

REFERENCES

1. Khaitov B.U. On geometric method for determination of main slope of the plane curve // Young Scientist, 2015. No. 10 (90). P. 340-342.
2. Khaitov B.U. Graphic analytic method for determination main slope of the plane curve // Technical sciences: theory and practice : proc. III. Sci. conf. Kazan : Young Scientist, 2016. P. 137-139.
3. Khaitov B. Graphic-analytical method of relief plane definition // Landscape architecture and regional planning. 2016, V. 1, Issue 1. P. 13-17 (DOI: 10.11648/j.larp.20160101.12).
4. Khaitov B.U. Relief complexity coefficient determination in problems of constructional engineering // Internauka. 2018. No. 7-1 (41). P. 62-64.
5. Kheyfets B.S., Khromchenko A.V. Using information theory for assessment of dissection degree of terrain relief // Izvestiya vuzov. Geodezy and aerophotosurveying. 1978. No. 4. P. 13-23.
6. Khaitov B.U. Digital relief modeling for engineering // Current problems of agriculture and water industry : proc. IX Sci.-pract. conf. Tashkent : TIIM Publ., 2010. P. 17-19.
7. Triangulation, work with polygons and other algorithms (Triangle, polygons and ...) : Website. URL: <http://achawk.narod.ru/index.html#begin> Download: http://achawk.narod.ru/Download_Tri.html (date of access: 18.12.2018).
8. Kuchkarova D.F. Topographic surface theory and its application : Dr. Eng. Sc. Dis. Bukhara : BukhSU Publ., 2001. 314 p.

Хайтов Бафо Усманович, кандидат технических наук, докторант, старший преподаватель кафедры начертательной геометрии и инженерной графики Бухарского инженерно-технологического института. Республика Узбекистан, 200117, г. Бухара, ул. Каюм Муртазаева, д. 28. E-mail: xb75@mail.ru.

Khaitov Bafo Usmanovich, Cand. Sc. (Eng.), postdoctoral fellow, Assist. Professor, Department of Descriptive Geometry and Engineering Graphics, Bukhara Engineering Technological Institute. 200117, Kayum Murtazaev street. 28, Bukhara, Republic of Uzbekistan. E-mail: xb75@mail.ru.

Никитин А.А., Плющенко Б.Д.

Моделирование сейсмоакустических полей в вязкоупругих аксиально-симметричных средах с произвольными источниками

На основе модели Био, описывающей распространение акустических возмущений в изотропной пористой среде, насыщенной вязким флюидом, и теории вязкоупругости предложена модифицированная модель Био. Вязкоупругое поведение в ней задается объемным и сдвиговым коэффициентами сцементированности, определяющими межгранулярные взаимодействия. Вязкоупругая непористая среда и вязкая жидкость рассматриваются как частные случаи предложенной модели. Описан способ аппроксимации вязкоупругих модулей рациональными функциями, позволяющий свести их включение в модель к вычислению сверток с экспоненциальным ядром. На основе вязкоупругой модели Био сформулирована постановка задачи моделирования акустических полей в аксиально-симметричном случае для мультипольных источников. Представлен способ ее решения с помощью разложения по азимутальному углу, включающий использование нерасщепляющегося полностью согласованного слоя в качестве краевых условий прозрачности. Приведено описание явной конечно-разностной схемы второго порядка на сдвинутых сетках, аппроксимирующей уравнения задачи, и экономичный способ вычисления сверток, также входящих в условия прозрачности. Представлены численные результаты моделирования лабораторного эксперимента по акустике, дипольного акустического каротажа и в сейсморазведке, которые сравниваются и анализируются с аналогичными, полученными по аналитическим решениям.

Ключевые слова: вязкоупругость, модель Био, акустический каротаж, сейсморазведка, математическое моделирование.

Nikitin A.A., Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I.

Modelling of Seismic-Acoustic Fields in Absorbing Axially Symmetric Mediums with Arbitrary Sources

Based on Biot model, describing the propagation of acoustic disturbances in isotropic porous medium saturated with viscous fluid, and viscoelasticity theory, the modified Biot model is proposed. Viscoelastic behavior in it is given with bulk and shear cementation coefficients, which determine the intergranular interactions. Viscoelastic non-porous medium and viscous fluid are considered as special cases of proposed model. The approximation way of viscoelastic modules is described by the rational functions, allowing their inclusion in our model reducing to calculation of convolutions with exponential kernels. Based on viscoelastic Biot model, the problem statement of acoustic fields' modeling in axially symmetric case for multipole sources is set up. A method for its solution is presented by azimuthal angle decomposition, which includes the using of nonsplitting perfectly matched layer as boundary transparency conditions. A description of explicit second-order finite-difference scheme on shifted grids, approximating the equations of problem, and an economical method for convolutions' calculating, which are also included in the transparency conditions, are given. Numerical results of modeling of acoustic laboratory experiment, dipole acoustic logging and seismic exploration are presented, which are compared and analyzed with similar ones obtained from analytical solutions.

Keywords: viscoelasticity, Biot model, acoustic logging, seismic prospecting, mathematical modeling.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уайт Дж. Э. Возбуждение и распространение сейсмических волн. – М. : Недра, 1986. – 261 с.
2. Фаворская А.В., Петров И.Б., Голубев В.И., Хохлов Н.И. Численное моделирование сеточно-характеристическим методом воздействия землетрясения на сооружения // Математическое моделирование. – 2015. – Т. 27, № 12. – С. 109-120.
3. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: теории и методы : в 2 т. Т. 1. – М. : Мир, 1983. – 520 с.
4. Кристенсен Р. Введение в теорию вязкоупругости. – М. : Мир, 1974. – 228 с.
5. Плющенко Б.Д., Турчанинов В.И., Никитин А.А. Моделирование сейсмоакустических полей в аксиально-симметричных поглощающих средах. Постановка задачи // Математическое моделирование. – 2017. – Т. 29, № 9. – С. 62-76.
6. Carcione J.M. Viscoelastic effective rheologies for modeling wave propagation in porous media // Geophysical Prospecting. – 1998. – V. 46. – P. 249-270.
7. Arntsen B., Carcione J.M. Numerical simulation of the Biot slow wave in water-saturated Nivel-steiner Sandstone // Geophysics. – 2001. – V. 66, No. 3. – P. 890-896.
8. Dyshlyuk E., Parshin A.V., Charara M.G., Nikitin A.A., Plyushchenkov B.D. In-Situ Viscosity from Acoustic Logging // SPE Annual Technical Conference and Exhibition, USA, Colorado, Denver, 30 Oct. – 2 Nov 2011 : Proceedings. – SPE 146023, 2011. – P. 1-12.
9. Ильясов Х.Х. Исследование акустических волн в слоистых гидроупругих средах : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 01.02.05 / Институт проблем механики РАН. – М., 2005.
11. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. – Cambridge University Press, 2009. – 329 p.
12. Плющенко Б.Д., Турчанинов В.И., Никитин А.А. Моделирование сейсмоакустических полей в аксиально-симметричных поглощающих средах. Разностная схема // Математическое моделирование. – 2018. – Т. 30, № 4. – С. 21-42.
13. Ben-Menahem A., Singh S.J. Seismic Waves and Sources. – New York : Springer-Verlag, 1981. – 1126 p.
14. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Optimum approximation of convolution of arbitrary grid function with the power kernel // Poromechanics II / J.L. Auriault et al. (eds) – Lisse : Swets and Zeitlinger, 2002. – P. 753-756. ISBN 90 5809 394 8.
15. Плющенко Б.Д., Турчанинов В.И. Пошаговая свертка // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша. – 2009. – № 24. – 24 с. – URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2009-24> (дата обращения: 04.04.2019).
16. Asvadurov S., Knizhnermanz L., Pabon J. Finite-difference modeling of viscoelastic materials with quality factors of arbitrary magnitude // Geophysics. – 2004. – V. 69, No. 3. – P. 817-824.
17. Johnson D.L., Koplik J., Dashen R. Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media // Journal of Fluid Mechanics. – 1987. – V. 176. – P. 379-402.
18. Johnson D.L. Scaling function for dynamic permeability in porous media // Phys. Rev. Lett. – 1989. – V. 63, No. 5. – P. 580-583.
19. Nikitin A.A., Plyushchenkov B.D., Segal A.Yu. Properties of low-frequency trapped mode in viscous-fluid waveguides // Geophysical Prospecting. – 2016. – V. 64, No. 5. – P. 1335-1349.
20. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Solution of Pride's equation through potentials // Int. J. Mod. Phys. C. – 2006. – V. 17, No. 6. – P. 877-908.
21. Liu H.-L., Johnson D.L. Effects of an elastic membrane on tube waves in permeable formations // Journal Acoustic Society of America. – 1997. – V. 101, No. 6. – P. 3322-3329.
22. Liu Q.H., Sin haz B.K. A 3D cylindrical PML/FDTD method for elastic waves in fluid-filled pressurized boreholes in triaxially stressed formations // Geophysics. – 2003. – V. 68, No. 5. – P. 1731-1743.
23. Wang T., Tang X. Finite-difference modeling of elastic wave propagation: A nonsplitting perfectly matched layer approach // Geophysics. – 2003. – V. 68, No. 5. – P. 1749-1755.

24. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Acoustic logging modelling by refined Biot's equations // *Int. J. Mod. Phys. C.* – 2000. – V. 11, No. 2. – P. 365-396.
25. Ryaben'kii V.S. *Method of difference potentials and its applications.* – Springer Verlag, 2002. – 538 p.
26. Randall C.J., Scheibner D.J., Wu P.T. Multipole borehole acoustic waveforms: Synthetic logs with beds and borehole washouts // *Geophysics.* – 1991. – V. 56, No. 11. – P. 1757-1769.
27. Hua Y., Sarkar T.K. Matrix Pencil Method of Estimating Parameters of Exponentially Damped/Undamped Sinusoids in Noise // *IEEE Transactions on Acoustics : Speech and Signal Processing.* – 1990. – V. 38, No. 5. – P. 814-824.
28. Tang X.M., Cheng A. *Quantitative Borehole Acoustic Methods.* – Elsevier Ltd., *Seismic Exploration.* – 2004. – V. 24. – 255 p.
29. Brie D., Endo T., Johnson D.L., Pampuri F. Quantitative formation permeability evaluation from Stoneley waves // *SPE 49131.* – 1998. – P. 1-12.
30. Plyushchenkov B.D., Nikitin A.A. Borehole Acoustic and Electric Stoneley Waves and Permeability // *Journal of Computational Acoustics.* – 2010. – V. 18, No. 2. – P. 1-29.
31. Wang K.-X., Ma J., Wu X.-Y., Zhang B.-X. Determination of permeability from flexural waves in dipole acoustic logging // *SEG Technical Program Expanded Abstracts, 1999.* – P. 33-36.
32. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. *Сейсморазведка.* – Тверь : Изд-во АИС, 2006. – С. 744.

REFERENCES

1. White J.E. *Underground Sound: Application of Seismic Waves.* Elsevier, 1983. 253 p.
2. Favorskaia A.V., Petrov I.B., Golubev V.I., Khokhlov N.I. Chislennoe modelirovanie setochno-kharakteristicheskim metodom vozdeistviia zemletriaseniia na sooruzheniia // *Matematicheskoe modelirovanie.* 2015. V. 27, No. 12. P. 109-120.
3. Aki K., Richards P.G. *Quantitative Seismology: Theory and Methods.* San Francisco : W.H. Freeman and Co. V. I. 1980. 557 p.
4. Christensen R.M. *Theory of Viscoelasticity: An Introduction.* New York : Acad. Press, 1971. 245 p.
5. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I., Nikitin A.A. Modelirovaniye seysmoakusticheskikh poley v aksial'no-simmetrichnykh pogloshchayushchikh sredakh. Postanovka zadachi // *Matematicheskoe modelirovanie.* 2017. V. 29, No. 9. P. 62-76.
6. Carcione J.M. Viscoelastic effective rheologies for modeling wave propagation in porous media // *Geophysical Prospecting.* 1998. V. 46. P. 249-270.
7. Arntsen B., Carcione J.M. Numerical simulation of the Biot slow wave in water-saturated Nivelsteiner Sandstone // *Geophysics.* 2009. V. 66, No. 3. P. 890-896.
8. Dyshlyuk E., Parshin A.V., Charara M.G., Nikitin A.A., Plyushchenkov B.D. InSitu Viscosity from Acoustic Logging // *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, USA, Colorado, Den-ver, 30 Oct. – 2 Nov 2011 : Proceedings.* SPE 146023, 2011. P. 1-12.
9. Il'yasov Kh.Kh. Issledovaniye akusticheskikh voln v sloistyykh gidrouprugikh sredakh // *Dis. na soisk. uch. st. k.f.-m.n. : 01.02.05 / Institut problem mekhaniki RAN.* Moscow, 2005.
10. Biot M.A. Generalized theory of acoustic propagation in porous dissipative media // *Journal Acoustic Society of America.* 1962. V. 34, No. 9. P. 1254-1264.
11. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. *The Rock Physics Handbook.* Cambridge University Press, 2009. 329 p.
12. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I., Nikitin A.A. Modelirovaniye seysmoakusticheskikh poley v aksial'no-simmetrichnykh pogloshchayushchikh sredakh. Raznostnaya skhema // *Matematicheskoe modelirovanie.* 2018. V. 30, No. 4. P. 21-42.
13. Ben-Menahem A., Singh S.J. *Seismic Waves and Sources.* New York : Springer-Verlag, 1981. 1126 p.
14. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Optimum approximation of convolution of arbitrary grid function with the power kernel // *Poromechanics II / J.L. Auriault et al. (eds).* Lisse : Swets and Zeitlinger, 2002. P. 753-756. ISBN 90 5809 394 8.

15. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Poshagovaia svertka // Preprint In. prikl. mat. im. M.V. Keldysha RAN. 2009. No. 24. 24 p. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2009-24> (date of access: 04.04.2019).
16. Asvadurov S., Knizhnermanz L., Pabon J. Finite-difference modeling of viscoelastic materials with quality factors of arbitrary magnitude // *Geophysics*. 2004. V. 69, No. 3. P. 817-824.
17. Johnson D.L., Koplik J., Dashen R. Theory of dynamic permeability and tortuosity in fluid-saturated porous media // *Journal of Fluid Mechanics*. 1987. V. 176. P. 379-402.
18. Johnson D.L. Scaling function for dynamic permeability in porous media // *Phys. Rev. Lett.* 1989. V. 63, No. 5. P. 580-583.
19. Nikitin A.A., Plyushchenkov B.D., Segal A.Yu. Properties of low-frequency trapped mode in viscous-fluid waveguides // *Geophysical Prospecting*. 2016. V. 64, No. 5. P. 1335-1349.
20. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Solution of Pride's equation through potentials // *Int. J. Mod. Phys. C*. 2006. V. 17, No. 6. P. 877-908.
21. Liu H.-L., Johnson D.L. Effects of an elastic membrane on tube waves in permeable formations // *Journal Acoustic Society of America*. 1997. V. 101, No. 6. P. 3322-3329.
22. Liu Q.H., Sin haz B.K. A 3D cylindrical PML/FDTD method for elastic waves in fluid-filled pressurized boreholes in triaxially stressed formations // *Geophysics*. 2003. V. 68, No. 5. P. 1731-1743.
23. Wang T., Tang X. Finite-difference modeling of elastic wave propagation: A nonsplitting perfectly matched layer approach // *Geophysics*. 2003. V. 68, No. 5. P. 1749-1755.
24. Plyushchenkov B.D., Turchaninov V.I. Acoustic logging modelling by refined Biot's equations // *Int. J. Mod. Phys. C*. 2000. V. 11, No. 2. P. 365-396.
25. Ryaben'kii V.S. *Method of difference potentials and its applications*. Springer Verlag, 2002. 538 p.
26. Randall C.J., Scheibner D.J., Wu P.T. Multipole borehole acoustic waveforms: Synthetic logs with beds and borehole washouts // *Geophysics*. 1991. V. 56. No. 11. P. 1757-1769.
27. Hua Y., Sarkar T.K. Matrix Pencil Method of Estimating Parameters of Exponentially Damped/Undamped Sinusoids in Noise // *IEEE Transactions on Acoustics : Speech and Signal Processing*. 1990. V. 38, No. 5. P. 814-824.
28. Tang X.M., Cheng A. *Quantitative Borehole Acoustic Methods*. Elsevier Ltd., *Seismic Exploration*. V. 24. 2004. 255 p.
29. Brie D., Endo T., Johnson D.L., Pampuri F. Quantitative formation permeability evaluation from Stoneley waves // *SPE 49131*. 1998. P. 1-12.
30. Plyushchenkov B.D., Nikitin A.A. Borehole Acoustic and Electric Stoneley Waves and Permeability // *Journal of Computational Acoustics*. 2010. V. 18, No. 2. P. 1-29.
31. Wang K.-X., Ma J., Wu X.-Y., Zhang B.-X. Determination of permeability from flexural waves in dipole acoustic logging // *SEG Technical Program Expanded Abstracts*. 1999. P. 33-36.
32. Boganik G.N., Gurvich I.I. *Sesmorazvedka*. Tver : Publishing house AIS, 2006. 744 p.

Никитин Анатолий Алексеевич, кандидат физико-математических наук, ст. преподаватель МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет; Государственный университет «Дубна», доцент. 119991, Россия, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1, геологический факультет. E-mail: nikitin@geol.msu.ru.

Nikitin A.A., Lomonosov Assistant professor, PhD, Moscow State University, Faculty of Geology, associate professor Dubna State University, nikitin@geol.msu.ru.

Плющенко Борис Данилович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. 125047, Москва, Миусская пл., д. 4. E-mail: plyushchenkov48@mail.ru.

Plyushchenkov Boris Danilovich, Senior staff scientist, PhD, Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Science. E-mail: plyushchenkov48@mail.ru.

Кривогуз Д.О., Малько С.В.

Влияние растительного покрова на проявления склоновых процессов в контексте современной урбанизации территории Керченского полуострова

Современное развитие Керченского полуострова тесно связано с масштабным техногенным воздействием, что приводит к существенным изменениям в функционировании природных комплексов. В работе продемонстрирован статистический подход к определению воздействия растительного покрова на склоновые процессы, основанный на анализе весовых коэффициентов для каждой группы факторов. Всего на территории полуострова было выделено 5 классов. Наибольшее распространение из них занимает класс травяной растительности, который занимает примерно половину площади полуострова. Относительно воздействия травяного покрова на склоновые процессы, анализ показал, что наиболее благоприятное воздействие на сдерживание склоновых процессов оказывает присутствие высокой и древесной растительности, что выражается в укреплении корневой системой неустойчивых участков склонов.

Ключевые слова: Растительный покров, склоновые процессы, оползни, Керченский полуостров, NDVI, ГИС.

Krivoguz D.O., Malko S.V.

Influence of the vegetation cover on landslides in the context of modern urbanization of Kerch peninsula territory

The modern development of the Kerch Peninsula is closely connected with the large-scale man-caused impact, which leads to significant changes in the functioning of natural complexes. The paper demonstrates a statistical approach to determining the effect of vegetation cover on landslide processes, based on the analysis of weight coefficients for each group of factors. In total, 5 classes were determined. The most widespread of these is the herbaceous vegetation class, which occupies about half of the area of Kerch peninsula. Concerning the effect of grass cover on slope processes, analysis showed that the most favorable impact on the containment of slope processes is the presence of high and woody vegetation, which is reflected in the strengthening of the unstable slope by the root system.

Keywords: Vegetation cover, landslide processes, landslides, Kerch Peninsula, NDVI, GIS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update // Landslides. Hanoi, Vietnam, 2014. – V. 11, Issue 2. – P. 167-194.
2. Costanzo D. et al. Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the gis matrix method: application to the river Beiro basin (Spain) // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2012. – V. 12. – P. 327-340.
3. Walker L.R., Shiels A.B. Introduction for Landslide Ecology. – USA : New York : Cambridge University Press, 2013.
4. Pellicani R., Van Westen C.J., Spilotro G. Assessing landslide exposure in areas with limited landslide information // Landslides. – 2014. – V. 11, Issue 3. – P. 463-480.
5. Guzzetti F. et al. The impact of landslides in the Umbria region, Central Italy // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – 2003. – V. 3, Issue 5. – P. 469-486.
6. Malamud B.D. et al. Landslides, earthquakes, and erosion // Earth Planet. Sci. Lett. – 2004. – V. 229, Issues 1-2. – P. 45-59.

7. Smith R.B., Commandeur P.R., Ryan M.W. Soils, vegetation, and forest growth on landslides and surrounding logged and old-growth areas on the Queen Charlotte Islands. – Victoria : Ministry of Forest, 1986. – 107 p.
8. Huggett R. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review // CATENA. – 1998. – V. 32, Issues 3-4. – P. 155-172.
9. Highland L.M., Bobrowsky P. The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides. – USA : Virginia : Reston : USGS, 2008. – 129 p.
10. Corominas J. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bull. Eng. Geol. Environ. – 2014. – V. 73, Issue 2. – P. 209-263.
11. Van Westen C.J., van Asch T.W.J., Soeters R. Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult? // Bull. Eng. Geol. Environ. – 2006. – V. 65, Issue 2. – P. 167-184.

REFERENCES

1. Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. The Varnes classification of landslide types, an update // Landslides. Hanoi, Vietnam, 2014. V. 11, Issue 2. P. 167-194.
2. Costanzo D. et al. Factors selection in landslide susceptibility modelling on large scale following the gis matrix method: application to the river Beiro basin (Spain) // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2012. V. 12. P. 327-340.
3. Walker L.R., Shiels A.B. Introduction for Landslide Ecology. USA : New York : Cambridge University Press, 2013.
4. Pellicani R., Van Westen C.J., Spilotro G. Assessing landslide exposure in areas with limited landslide information // Landslides. 2014. V. 11, Issue 3. P. 463-480.
5. Guzzetti F. et al. The impact of landslides in the Umbria region, Central Italy // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2003. V. 3, Issue 5. P. 469-486.
6. Malamud B.D. et al. Landslides, earthquakes, and erosion // Earth Planet. Sci. Lett. 2004. V. 229, Issues 1-2. P. 45-59.
7. Smith R.B., Commandeur P.R., Ryan M.W. Soils, vegetation, and forest growth on landslides and surrounding logged and old-growth areas on the Queen Charlotte Islands. Victoria : Ministry of Forest, 1986. 107 p.
8. Huggett R. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review // CATENA. 1998. V. 32, Issues 3-4. P. 155-172.
9. Highland L.M., Bobrowsky P. The Landslide Handbook – A Guide to Understanding Landslides. USA : Virginia : Reston : USGS, 2008. 129 p.
10. Corominas J. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk // Bull. Eng. Geol. Environ. – 2014. V. 73, Issue 2. P. 209-263.
11. Van Westen C.J., van Asch T.W.J., Soeters R. Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult? // Bull. Eng. Geol. Environ. 2006. V. 65, Issue 2. P. 167-184.

Кривогуз Денис Олегович, младший научный сотрудник, ассистент кафедры «Экология моря» ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет». 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, д. 82. E-mail: krivoguzdenis@gmail.com.
Krivoguz Denis Olegovich, Teaching assistant, junior research fellow of «Marine ecology» department Kerch state maritime technological university. 298309, Crimean Republic, Kerch, Ordzhonikidze, 82. E-mail: krivoguzdenis@gmail.com.

Малько Сергей Владимирович, кандидат биологических наук, доцент кафедры «Экология моря» ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет». 298309, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, д. 82. E-mail: sergmalko@rambler.ru.
Malko Sergey Vladimirovich, PhD in Biology, assistant professor of «Marine ecology» department Kerch State Maritime Technological University. 298309, Crimean Republic, Kerch, Ordzhonikidze, 82. E-mail: sergmalko@rambler.ru.