

МОНИТОРИНГ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Даниил Валентинович Долгополов

Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», 420500, Россия, г. Иннополис, ул. Университетская, 1, руководитель группы Центра ГИС, тел. (905)714-13-77, e-mail: d-daniil@yandex.ru

Максим Юрьевич Баборыкин

Автономная некоммерческая организация высшего образования «Университет Иннополис», 420500, Россия, г. Иннополис, ул. Университетская, 1, главный аналитик Центра ГИС, тел. (961)858-96-07, e-mail: baborykin.my@yandex.ru

Вячеслав Анатольевич Мелкий

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1Б, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканоопасности, тел. (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

В статье выполнен анализ природных процессов в коридоре трасс трубопроводов, которые могут стать причиной дефектов или аварий после завершения строительства или в процессе эксплуатации трубопроводной системы. При переходе к цифровой форме управления процессами проектирования, строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта одной из важнейших задач является выявление и обеспечение контроля динамики опасных природных процессов (ОПП). Трубопроводная система оказывает существенное влияние на протекание природных процессов в коридоре трассы, поэтому они могут активизироваться и стать причиной аварийных ситуаций. Источниками негативного воздействия на магистральные нефтепроводы являются экзогенные и эндогенные геологические, а также атмосферные процессы, в зоне воздействия которых находится нефтепровод. Для выявления и мониторинга опасных геологических процессов (ОГП) целесообразно использовать лазерное сканирование. Наполнение базы данных ОПП производится поэтапно: сначала выполняется сбор и обобщение всех доступных материалов, по геологии, геоморфологии, тектонике, инженерной геологии, гидрогеологии, климату и растительности исследуемого района; затем создается цифровая модель рельефа (ЦМР) по данным воздушного лазерного сканирования (ВЛС) и аэрофотосъемки (АФС) по прямым дешифровочным признакам с выделением контуров территорий, подверженных природным процессам с классификацией их видов; и, наконец, составляются перечни, схемы, карты, основанные на анализе качественных и количественных характеристик геологических процессов, получивших статус ОГП или ОПП для проектируемого или эксплуатируемого сооружения. Дешифрирование ОГП по данным ВЛС производится в два этапа: выявление процесса и определение его вида по набору дешифровочных признаков, затем сравнение с типовой моделью из каталога по расположению идентификационных примитивов на ЦМР и эталонной модели.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, воздушное лазерное сканирование, опасные природные процессы, дешифрирование, магистральные трубопроводы

MONITORING OF HAZARDOUS GEOLOGICAL PROCESSES IN THE CONSTRUCTION AND OPERATION OF PIPELINE TRANSPORT FACILITIES BY REMOTE SENSING DATA

Daniil V. Dolgopolov

Autonomous Non-profit Organization of Higher Education "Innopolis University", 1, Universitetskaya St., Innopolis, 420500, Russia, Head of the GIS Center Group, phone: (905)714-13-77, e-mail: d-daniil@yandex.ru

Maxim Yu. Baborykin

Autonomous Non-profit Organization of Higher Education "Innopolis University", 1, Universitetskaya St., Innopolis, 420500, Russia, Chief Analyst of the GIS Center, phone: (961)858-96-07, e-mail: baborykin.my@yandex.ru

Vyacheslav A. Melkiy

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences, 1B, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazards, phone: (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

The article analyzes the natural processes in the corridor of pipeline routes that can cause defects or accidents after the completion of construction or during the operation of the pipeline system. In the transition to a digital form of management of the processes of design, construction and operation of pipeline transport facilities, one of the most important tasks is to identify and control the dynamics of natural hazards processes (NHP). Because the system has significant impact on the flow of natural processes in corridor of the highway, they can become more active and cause accidents. The sources of negative impact on the main oil pipelines are exogenous and endogenous geological processes, as well as atmospheric processes, in the zone of influence of which the oil pipeline is located. It is advisable to use laser scanning to identify and monitor of hazards geological processes (HGP). Filling the NHP database is performed in stages: first, collection and synthesis of all available materials about geology, geomorphology, tectonics, engineering geology, hydrogeology, climate and vegetation of the researcher area is performed; then a digital terrain model (DEM) is created based on air laser scanning (VLS) and aerial photography (AP) by direct decoding features with the allocation of contours of territories subject to natural processes with the classification of their types; and, finally, lists, schemes, maps compiled by result of analysis qualitative and quantitative characteristics of geological processes that have received status of NHP or HGP for designed or operated structure. Decoding of dangerous geological processes according by VLS data performed in two stages: identification of the process and determination of its type by a set of decoding features, then comparison with the standard model from the catalog by location of identification primitives on the DEM and the reference model.

Keywords: aerial photography, aerial laser scanning, hazardous natural processes, decoding, main pipelines

Введение

При переходе к цифровой форме управления процессами планирования, проектирования, строительства и эксплуатации объектов трубопроводного транспорта одной из задач является – задача выявления и контроля за протеканием ОГП и местами их возможного проявления (рис. 1). Так как после завершения строительства в процессе эксплуатации трубопроводная система оказывает существенное влияние на протекание природных процессов в коридоре трассы эти процессы могут стать причиной дефекта или аварии на трубопроводе.

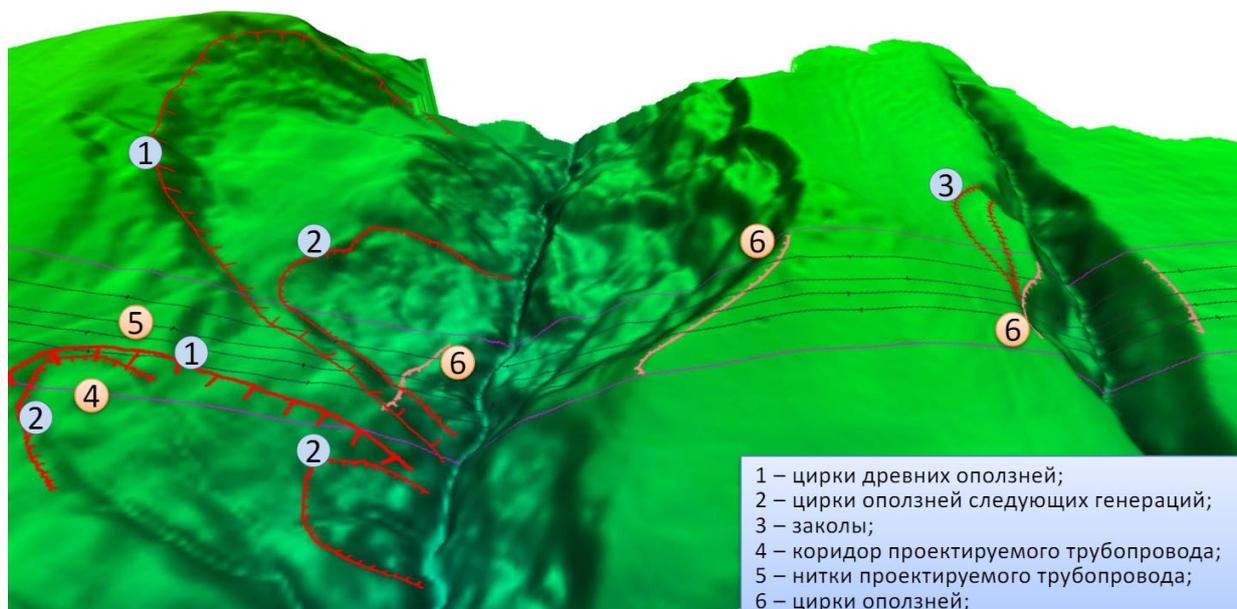


Рис. 1. Места возможного проявления ОГП в коридоре трассы проектируемого трубопровода

Методы и материалы

В качестве материала для исследования использовались разномасштабные результаты воздушного лазерного сканирования коридора трассы трубопровода, полученные с использованием лазерного сканера Leica ALS70-CM [1].

Произведен анализ возможности распознавания форм опасных геологических процессов и явлений по данным воздушного лазерного сканирования, а также получения количественных характеристик экзогенных геологических процессов с использованием средств геоинформационных систем.

Результаты

Основными природными источниками возникновения дефектов и аварийных ситуаций на магистральных нефтепроводах являются экзогенные геологические процессы, получившие активность за счет атмосферных агентов или воздействия проявления эндогенных процессов или их совокупности, в зоне воздействия которых находится нефтепровод (рис. 2). ОГП, в основном, достаточно хорошо изучены [2–17], однако их влияние на трубопроводы недостаточно исследовано.

Последние исследовательские работы показывают целесообразность использования для мониторинга технологии воздушного лазерного сканирования [18], в т. ч. для выявления и опасных геологических процессов [19–21].

Формирование информации об ОГП производится в три этапа:

1. Сбор и обобщение всех доступных материалов, по геологии, геоморфологии, тектонике, инженерной геологии, гидрогеологии, климату и растительности района предполагаемых работ;

2. Создание ЦМР по данным ВЛС и АФС, выделение контуров ОГП с учетом пространственного разрешения модели рельефа (количество точек лазерных отражений на 1 м²) по дешифровочным признакам с их классификацией по виду (табл. 1);

3. Получение качественных и количественных характеристик геологических процессов, получивших статус опасных для проектируемого или эксплуатируемого сооружения.

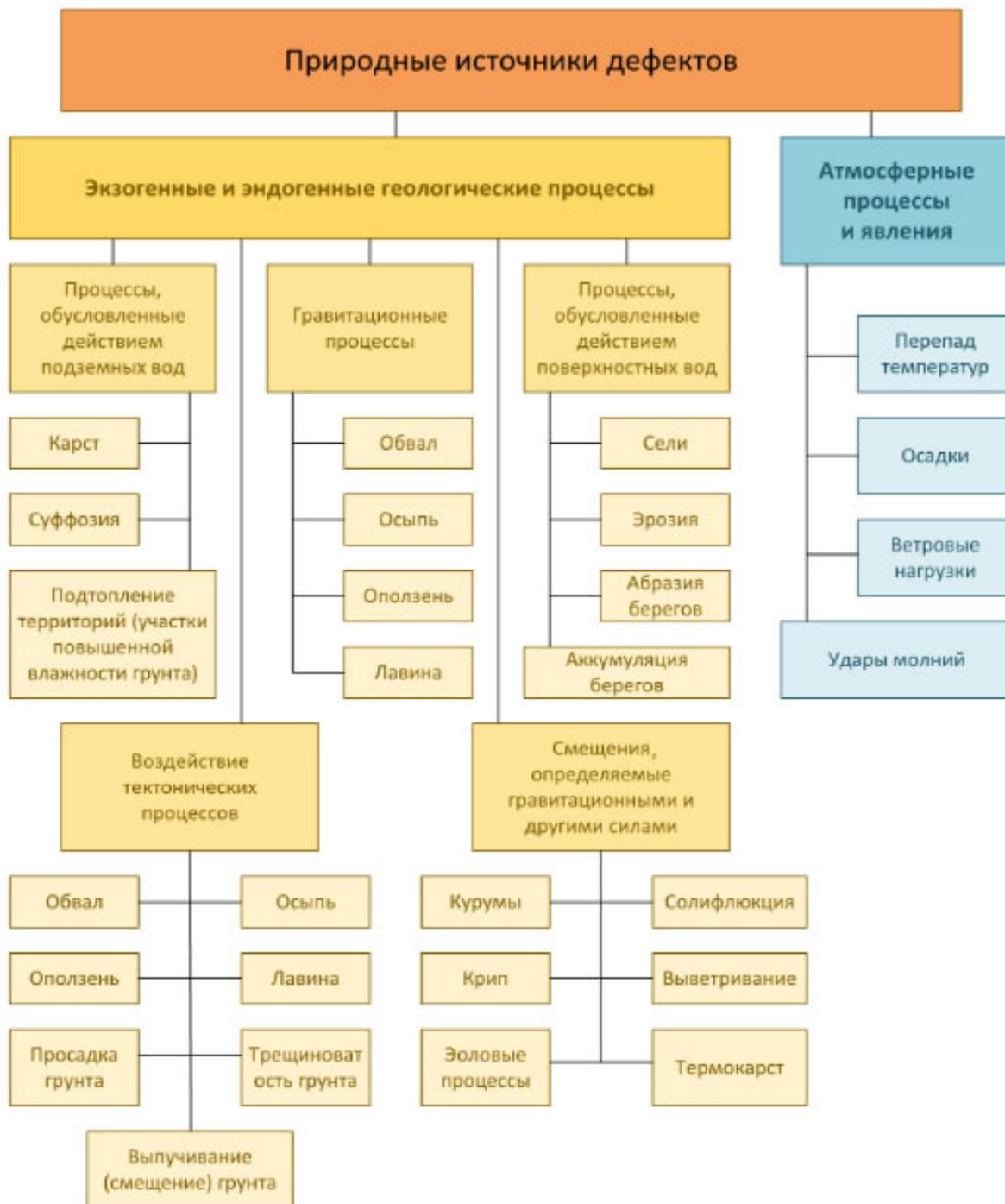


Рис. 2. Природные источники возникновения дефектов и аварийных ситуаций на магистральных нефтепроводах

**Объекты дешифрирования при проявлениях
опасных геологических процессов (по [20] с дополнениями)**

Геологические процессы	Объекты дешифрирования
1	2
М 1: 500, разрешение фотоснимков на местности от 5–7 см в пикселе плотность точек земли – от 5–9 точек на м ² высокая детализация съёмки, чётко фиксируются границы опасных геологических процессов и явлений, проявленных в рельефе:	
Оползни	бровки срыва, цирк оползня, язык оползня, рвы оседания, ступенчато-глыбовая поверхность, валы выпирания и наплывы, откосы обрушения и размыва, бугры, западины. Оконтуривание всего тела оползня и т. д.
Обвалы и осыпи	поверхность отделения обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны, области транзита и т. д.
Сели	формы водосборного бассейна и русла, задернованность склона и т. д.
Карст	карры, западины, воронки, карстовые блюдца, увалы и т. д.
Карстово-суффозионные процессы	воронки, крупные блюдца, западины
Лавины снежные	соответствующие формы рельефа, снегосборные карово-эрозионные воронки и т. д.
Абразия берегов озёр, морей, водохранилищ	пляжи, береговые бары, томболо или переймы, пересыпи, косы, стрелки, клифы
Суффозия	просадочные явления – блюдца, воронки, западины
Термокарст	провальные, просадочные явления и явления, связанные с мерзлотой (воронки, провалы, аласы, золь и др.)
Морозное пучение	коренные пучины (высота достигает 30–40 см), рельеф, обеспечивающий наилучший водоотвод, уменьшает возможность возникновения пучин. Верховные пучины до 5–10 см при неблагоприятных условиях не выделяются
М 1: 1000, разрешение фотоснимков на местности от 7–10 см в пикселе плотность точек земли – от 3–5 точек на м ² с худшей детализацией и М 1: 2000, разрешение – от 10–15 см в пикселе плотность точек земли – от 2–3 точек на м ² плохая детализация:	
Оползни	бровки срыва, цирк оползня, язык оползня. Оконтуривание всего тела оползня
Обвалы и осыпи	Стенка срыва обвалившейся массы, размеры и формы, уклоны, области транзита. Оконтуривание осыпи и обвала
Сели	формы водосборного бассейна и русла, задернованность склона. Оконтуривание селевого бассейна
Карст	воронки, карстовые блюдца
Карстово-суффозионные процессы	воронки, крупные блюдца, западины
Лавины снежные	соответствующие формы рельефа, снегосборные карово-эрозионные воронки
Абразия берегов озёр, морей, водохранилищ	пляжи, береговые бары, томболо или переймы, пересыпи, косы, стрелки, клифы
Суффозия	просадочные явления – крупные блюдца, воронки, западины
Термокарст	провальные, просадочные явления, натёчные образования (гейзериты и травертины) и явления, связанные с мерзлотой (воронки, провалы, аласы, золь и др.)
М 1:5000, разрешение фотоснимков на местности от 15–20 см в пикселе, плотность точек лазерных отражений классификации «Земля» – от 0,5 – 1 точку на м ² .	
Крупные проявления ОГП	Выделение границ крупных тел оползней, крупных осыпей, селевых бассейнов, курумов имеющих большую площадь, проявление термокарста, имеющее большую площадь и т. д.

В результате исследования выявлена численность количества точек лазерного отражения на метр квадратный для надежного выделения морфометрических форм проявлений ОГП. Полевые работы подтвердили эффективность исследуемых методов [22].

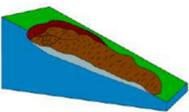
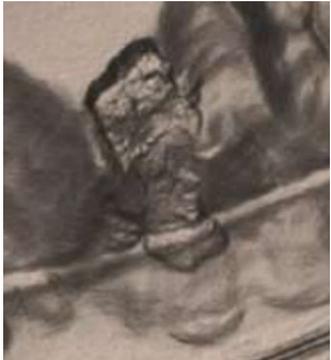
Обсуждение

Алгоритм распознавания, того или иного установленного ОГП, указанный в общих чертах выше, сводится к выявлению (я увидел) и декодированию (я определил) и соответствует двум подэтапам распознавания на основе качественных характеристик:

- выявление процесса и определение его «вида» по набору дешифровочных признаков;
- сравнение процесса с типовой моделью из каталога по расположению идентификационных примитивов на ЦМР и эталонной модели (табл. 2).

Таблица 2

Дешифровочные признаки и эталонная модель оползня (по [21])

Класс	Вид	Под-вид	Эталонная модель	Цифровая модель рельефа	Дешифровочные признаки
Гравитационный	Оползень	Вязко пластичного течения			Темные стенки оползневого цирка; контрастная бровка уступа; образование котловины (отсадка); уступ главный (первый от бровки уступа); Вершины оползневых тел (светлые явно/не явно выражены); валы (поперечные линейные), бугры, западины

К качественным характеристикам относятся явно или неявно выраженные границы сформированных геологических тел и т. п. Количественные или метрические характеристики, размеры получают на ЦМР с использованием геоинформационного программного обеспечения.

Мониторинг с использованием средств ВЛС требуется производить с соблюдением необходимых условий съемки: плотность точек лазерного сканирования, разрешение фотосъемки должно соответствовать требованиям съемки для соответствующего масштаба (см. табл. 1).

Заключение

Применение ВЛС неоднократно продемонстрировало свою эффективность как в обнаружении ОГП, так и их мониторинге. Вместе с тем при организации

работ по мониторингу ОГП необходимо учитывать ограничения по точности технологии ВЛС, ее может оказаться недостаточно для ряда работ. В этом случае рекомендуем дополнить состав работ по мониторингу классическими геодезическими наблюдениями. Однако применение ВЛС повышает оперативность и всесторонность как исследования территории на наличие ОГП и их активность, так и на образование новых ОГП в связи с техногенной нагрузкой.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Leica ALS70. Airborne Laser Scanners. – Доступно на: https://w3.leica-geosystems.com/downloads/123/zz/airborne/ALS70/brochures/Leica_ALS70_6P_BRO_en.pdf (дата обращения: 18.04.2021).
2. Болт Б. А., Хорн У. Л., Макдоналд Г. А., Скотт Р. Ф. Геологические стихии. Пер. с англ. Б. А. Борисова; Под ред. Н. В. Шебалина. – М.: Мир, 1978. – 440 с.
3. Евсеева Н. С., Окишев П. А. Экзогенные процессы рельефообразования и четвертичные отложения суши : учеб. пособие. – Томск : Изд. НТЛ, 2010. – Ч. I. – 300 с.
4. Зверев А. Т. Инженерная геодинамика. – М. : МИИГАиК, 2013. – 323 с.
5. Кузьмин С. Б. Опасные геоморфологические процессы и риск природопользования. – Новосибирск: ГЕО, 2009. – 195 с
6. Кукал З. Природные катастрофы. Перевод с чешского К. И. Никоновой; предисл. и коммент. А. А. Никонова. – М. : Знание, 1985. – 240 с.
7. Мазур И. И., Иванов О. П. Опасные природные процессы. Вводный курс : Учебник. – М.: Экономика. – 2004. – 702 с.
8. Моги К. Предсказание землетрясений. Пер. с англ. Б. А. Борисова; Под ред. Л. П. Винника. – М.: Мир, 1988. – 382 с.
9. Мягков С. М. География природного риска. – М.: Изд. МГУ, 1995. – 224 с.
10. Петрусевич М. Н. Аэрометоды при геологических исследованиях / Под ред. А. А. Богданова. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – 406 с.
11. Ритман А. Вулканы и их деятельность. Пер. с нем. Л. Г. Кваша; Под ред. В. И. Влодавца. – М.: Мир, 1964. – 440 с.
12. Романовский Н. Н. Основы криогенеза литосферы. – М. : МГУ, 1993. – 336 с.
13. Рычагов Г. И. Геоморфология : учебник. – М. : Юрайт, 2018. – 396 с.
14. Эйби Дж. А. Землетрясения. Пер. с англ. Б. Г. Слепцова, Н. М. Хайме. Под ред. И. С. Комарова. – М.: Недра, 1982. – 264 с.
15. Quakes. Live Earthquakes Map // A Free Service From www.GlobalIncidentMap.com [Электронный ресурс]. – Доступно на: <http://quakes.globalincidentmap.com> (дата обращения: 18.04.2021).
16. Gill J. C., Malamud B. D. Anthropogenic processes, natural hazards, and interactions in a multi-hazard framework // *Earth-Science Reviews*, 2017. – V. 166. – P. 246–269. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.01.002>
17. Kirby E., Whipple K. X. Expression of active tectonics in erosional landscapes // *Journal of Structural Geology*. – 2012. – Т. 44. – С. 54–75.
18. Хлебникова Т. А., Ямбаев Х. К., Оприцова О. А. Разработка технологической схемы сбора и обработки данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных авиационных систем для моделирования геопространства // *Вестник СГУГиТ*. – 2020. – Т. 25. – № 1. – С. 106–118.
19. Makarycheva E. M., Surikov V. I., Kuznetsov T. I., Dolgoplov D. V. Geotechnical monitoring of pipelines located in difficult climatic conditions // 13 Pipeline Technology Conference, Berlin, 12–14 March 2018. – Berlin, Euro Institute for Information and Technology Transfer in Environmental Protection, 2018. – С. 14–20.

20. Баборыкин М. Ю., Жидиляева Е. В., Погосян А. Г. Выявление опасных геологических процессов при проведении инженерно-геологических изысканий на основе цифровых моделей рельефа // Инженерные изыскания, 2015. – № 2. – С. 30–37.

21. Баборыкин М. Ю., Бурцев А. А. Дешифрирование и мониторинг физико-геологических процессов и явлений на трубопроводах воздушным лазерным сканером // Новые идеи в науках о Земле. Матер. XIV Междун. науч.-практ. конф. – 2019. – С. 38–41.

22. Баборыкин М. Ю. Сходимость результатов дистанционного метода дешифрирования с полевыми работами на линейном объекте. На примере оползневого участка. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. – Т. 331. – № 7. – С. 161–175.

© Д. В. Долгополов, М. Ю. Баборыкин, В. А. Мелкий, 2021