

УДК 622.692.4

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПО ДАННЫМ АЭРОВИЗУАЛЬНЫХ ОБСЛЕДОВАНИЙ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ

Е.М. Макарычева¹, А.Н. Угаров², Н.С. Малаева³

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва
e-mail: emakarycheva@gmail.com

²МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва
e-mail: garo@esrc.ru

³ООО “Центр исследований экстремальных ситуаций”, Москва
e-mail: natashamalaeva@yandex.ru

Систематизированы и проанализированы данные, полученные в ходе трехлетнего цикла аэровизуальных обследований зоны влияния магистрального трубопровода. Разработан методический подход к оценке динамики развития экзогенных геологических процессов. Результаты могут быть использованы при планировании и организации работ эксплуатационных служб трубопроводных систем.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, аэровизуальное обследование, экзогенные геологические процессы, оценка динамики.

ESTIMATION OF DYNAMICS OF EXOGENOUS GEOLOGICAL PROCESSES DEVELOPMENT ACCORDING TO AERIAL SURVEY OF PIPELINE SYSTEMS

Е.М. Makarycheva¹, А.Н. Ugarov², N.S. Malaeva³

¹Sergeev Institute of Geoecology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
e-mail: emakarycheva@gmail.com

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia
e-mail: garo@esrc.ru

³ООО Emergency Situations Research Center, Moscow, Russia
e-mail: natashamalaeva@yandex.ru

The data obtained during a three-year cycle of aerial survey of an area of the main pipeline influence are systematized and analyzed. Methodical approach for the estimation of dynamics of exogenous geological processes development is developed. Results can be used during the planning and the organization of operational services works on pipeline systems.

Keywords: main pipeline, aerial survey, exogenous geological processes, estimation of dynamics.

Сосредоточение в геологической среде протяженных линейных объектов, таких как железные и автомобильные дороги, трубопроводы, линии электропередач и связи, приводит к заметным изменениям инженерно-геологических условий региона, формированию экзогенных геологических процессов (ЭГП), часто не свойственных данной территории, и требует эффективных мер защиты от этих процессов.

В зонах влияния, например, магистральных трубопроводов (МТ), происходит заметная активизация процессов за счет дополнительных факторов, связанных с изменением свойств грунта, деградацией многолетнемерзлых пород, изменением границ сезонно-талого слоя, режима поверхностных и грунтовых вод, потерей устойчивости грунта на склонах. Это позволяет сделать вывод, что динамика экзогенных геологических процессов, особенно в первые годы эксплуатации, определяется преимущественно техногенными воздействиями [1]. Изучение закономерностей распространения и развития экзогенных геологических процессов в зависимости от сочетания природных и техногенных факторов является актуальной задачей, необходимой для разработки комплекса инженерных мероприятий, обеспечивающих их безаварийную работу.

Регулярное аэровизуальное обследование входит в состав мониторинга технического состояния протяженных инженерных объектов и является основным оперативным методом, позволяющим получить информацию о распространении и развитии экзогенных геологических процессов. Основным результатом ежегодных аэровизуальных обследований трасс магистральных трубопроводов являются границы проявлений экзогенных геологических процессов. Однако в связи с высокой протяженностью изучаемых инженерных объектов и большим числом и разнообразием проявлений ЭГП, выявляемых в процессе аэровизуальных обследований, возникает необходимость объединения проявлений в участки. Выделение участков с проявлениями ЭГП позволяет в значительной мере сократить области, в пределах которых выполняются детальные полевые обследования.

Применяемые правила выделения участков и накопленный за трехлетний период фактический материал дают возможность оценивать динамику развития ЭГП, что позволяет ранжировать участки по приоритетности. В практической деятельности получаемые результаты используются для определения видов и планирования объемов необходимых полевых обследований и защитных инженерных мероприятий; с их использованием осуществляется выбор мест установки датчиков мониторинговых систем и прогнозирование состояния трубопровода.

В течение первого периода наблюдений границы участков являлись неустойчивыми. Колебания границ участков обусловлены высокой изменчивостью в распространении и развитии ЭГП под воздействием климатических условий, эксплуатационных параметров трубопровода, проводимых работ по обустройству трассы трубопровода и ряда других факторов [2]. Выделение постоянных границ участков возможно только после накопления результатов многолетних наблюдений.

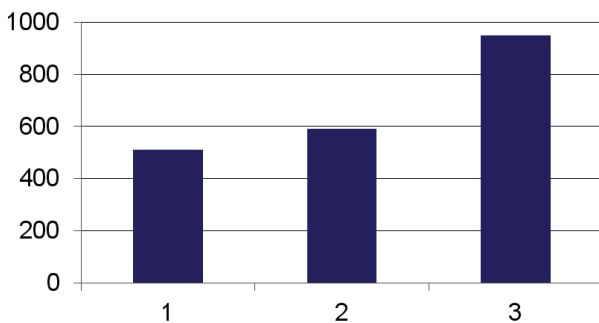


Рис. 1. Число участков на трассе магистрального трубопровода, выявленных группировкой проявлений ЭГП в каждом периоде обследований

В процессе проведения работ было обнаружено, что суммарная протяженность проявлений и участков с ЭГП по трассе изменяется в меньшей степени по сравнению с заметным увеличением их числа, что, по-видимому, связано с постоянным увеличением детальности проводимых обследований (рис. 1).

В результате анализа полученного за трехлетний период наблюдений фактического материала была выявлена значительная привязка типов ЭГП к формам рельефа, что позволило выдвинуть гипотезу о наличии связи средней протяженности участка с характером рельефа местности (расчлененностью).

Для выявления факторов, определяющих средний размер участка, протяженный объект (магистральный трубопровод) был разделен на отрезки длиной ~ 300 км с характерными морфометрическими характеристиками рельефа.

На начальном этапе анализ заключался в вычислении для каждого выбранного отрезка трубопровода такого параметра, как горизонтальная расчлененность рельефа. Далее для каждого из этих отрезков были определены значения средней протяженности участков с проявлениями ЭГП и сформированы два ряда показателей, один из которых включал средние значения горизонтальной расчлененности, другой – средние значения длин участков с ЭГП.

Затем был вычислен выборочный коэффициент корреляции двух рядов, который показал наличие корреляционной зависимости между показателем горизонтальной расчлененности рельефа и средней протяженностью участка с ЭГП. Коэффициент корреляции для двух выборочных рядов из 10 значений составляет 0,75.

В результате приведенного анализа можно заключить, что существует устойчивый по длине размер участков с ЭГП, статистически связанный с показателем “горизонтальная расчлененность рельефа”. Следовательно, использование участков с фиксированными границами для анализа динамики развития ЭГП является правомерным решением.

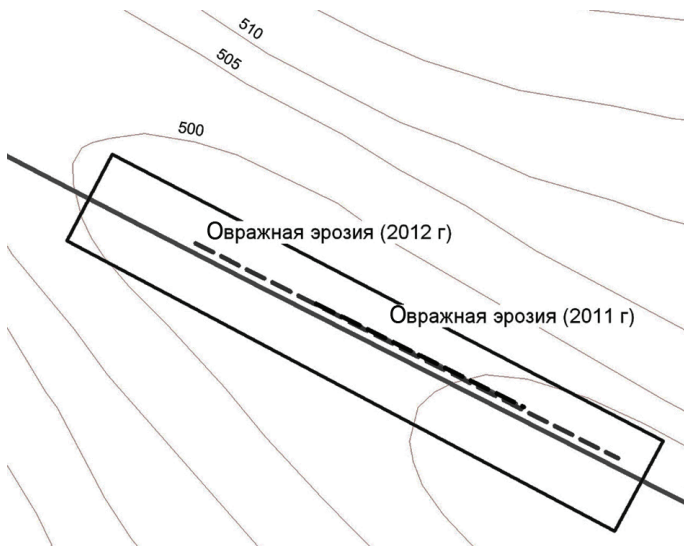


Рис. 2. Пример группировки проявлений ЭГП одного генетического типа

По завершении трехлетнего цикла аэровизуальных обследований протяженного инженерного объекта (магистрального трубопровода) сформулированы правила, рекомендуемые для выделения границ участков. Процесс выделения границ участков является многошаговым. На каждом шаге контуры проявлений ЭГП группируются с учетом близости размещения в пространстве и с привязкой к обусловившим их формам рельефа.

На первом шаге осуществляется простая группировка однотипных проявлений на основе близости их пространственного положения. Формируется группа однотипных соседей, для чего проявления одного типа, обнаруживаемые в разные годы и различные сезоны, совмещают на картографической основе крупного масштаба, например на топографической карте масштаба 1:25000 (рис. 2). Выделенные группы заключаются в единый контур.

Критерием объединения контуров однотипных проявлений является расстояние между ними. В любом случае граница участка не должна выходить за пределы одной формы рельефа. В результате получают множество участков с проявлениями процессов каждого типа. Участки с однотипными появлениями укладываются на карту в один тематический “слой” генетически однородных участков, в котором их границы не пересекаются, после чего осуществляется наложение различных тематических слоев друг на друга, причем возможно пересечение разнородных участков (рис. 3). Пересечение означает, что на территории развиваются ЭГП различных типов.

Далее перекрывающиеся генетически однородные участки (рис. 4), выделенные на предыдущем шаге, объединяются. Заключительным



Рис. 3. Пример наложения участков с различными проявлениями ЭГП



Рис. 4. Пример объединения пересекающихся участков с проявлениями различных ЭГП

шагом является расширение границ полученных генетически неоднородных участков с ЭГП до вмещающих их форм рельефа и, таким образом, формирование технологических границ участков. Этот шаг позволяет учесть перспективный рост проявлений ЭГП и избежать необходимости корректировки границ участков.

Выделенные технологические участки используются в практической деятельности организаций, эксплуатирующих трубопровод.

Правила выделения границ технологических участков по материалам аэровизуальных обследований позволяют сформулировать требования к участкам, проверка выполнения которых позволит построить

технологию, обеспечивающую получение одинаковых результатов при повторном проведении работ [4].

Требования к границам технологических участков следующие:

1. Участки с однотипными проявлениями должны находиться в пределах одной формы рельефа;

2. Технологические границы участков могут выделяться в пределах нескольких форм рельефа при высокой плотности группировок или незначительной протяженности форм рельефа;

3. Возможно выделение нескольких участков в пределах одной формы рельефа при ее высокой неоднородности;

4. Группируемые проявления не должны выходить за пределы участков, однако возможно, что отдельно стоящие проявления не будут включены в пределы участков;

5. Протяженность участка не должна быть меньше значимой формы рельефа (0,1 км) и превышать средние показатели расчлененности рельефа более чем в 2 раза (5 км);

6. Пересечение границ технологических участков не допускается, в то же время в рамках технологического участка допускается наличие проявлений различных типов ЭГП.

По мере накопления материалов обследований становится возможным оценить динамику развития проявлений ЭГП в пределах фиксированных границ участков, выделенных по приведенным правилам. Динамика оценивается методом сравнения проявлений ЭГП, выявленных в разные периоды обследований. Оценка динамики участков с ЭГП проводилась по итогам трехлетнего цикла работ по следующим критериям:

- изменению числа проявлений ЭГП на участке;
- изменению генетического состава и разнообразия типов проявлений ЭГП на участке;
- изменению категории опасности проявлений ЭГП.

В процессе работ был выполнен анализ числа, разнообразия типов ЭГП и степени их опасности в пределах выделенных границ участков. По итогам проведенного анализа для каждого участка определялась тенденция его развития в течение циклов обследования. По результатам оценки динамики проявлений ЭГП внутри участка из общего числа участков были выделены приоритетные¹.

¹Приоритетными считаются участки третьей категории опасности, в пределах которых наблюдается положительная динамика развития проявлений ЭГП, т.е. происходит увеличение числа проявлений, либо рост их генетического разнообразия, либо за период между обследованиями выявляется повышение категории опасности ЭГП, обнаруженных в пределах участка.

Полученные результаты могут быть использованы при планировании и организации работ по предотвращению негативного воздействия ЭГП на объекты трубопроводной системы.

Для всех участков с выявленной положительной динамикой развития ЭГП рекомендуется проведение наземных работ.

Очередность проведения работ определяется в соответствии с приоритетностью участка.

Рекомендуемый вид наземных работ на участке (проведение технических мероприятий или детальных полевых обследований) обусловлен типами выявленных на нем ЭГП. Детальные полевые обследования рекомендуются для участков с развитием термокарста, карста, оползней, пучения.

Типы работ назначаются для каждого проявления отдельно.

Объемы предстоящих работ планируются на основе анализа распределения общего числа участков и участков с положительной динамикой в пределах магистрального нефтепровода.

Выводы. 1. Выявлены корреляционные зависимости между морфометрической характеристикой рельефа “горизонтальная расчлененность” и средним значением протяженности участка с ЭГП.

2. Определены последовательность операций и правила выделения технологических участков с ЭГП, в рамках которых удобно следить за развитием процессов и планировать комплекс наземных работ.

3. Разработаны критерии оценки динамики проявлений ЭГП. Сформирован комплекс рекомендаций по планированию видов и объемов работ, необходимых для предотвращения негативного воздействия ЭГП на объекты трубопроводной системы.

4. Предложенные методики выделения участков и оценки динамики развития экзогенных геологических процессов могут применяться при обследованиях протяженных линейных объектов любого типа.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках договора № 13.G25.31.0053 от 7 сентября 2010 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Использование результатов аэровизуального обследования при оценке опасности экзогенных геологических процессов на трассе магистрального нефтепровода / Д.О. Сергеев, Г.З. Перльштейн, А.Н. Хименков и др. // Электронный научный журнал “Нефтегазовое дело”. 2011. № 6. С. 101–115. URL: http://www.ogbus.ru/authors/SergeevDO/SergeevDO_1.pdf*
2. *Аладинский В. В., Григорьева Ю. Б. Мониторинг объектов магистрального нефтепроводного транспорта // ТТНН: Наука и технологии. 2011. № 1. С. 16–22.*
3. *Основы геокриологии. Ч. 6. Геокриологический прогноз и экологические проблемы в криолитозоне / под ред. Э.Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 2008. 768 с.*

4. *Методические* рекомендации по применению аэрокосмических методов для диагностики трубопроводных геотехнических систем и мониторинга окружающей среды. М.: ИРЦ Газпром, 1995. 60 с.

REFERENCES

1. *Sergeev D. O., Perl'shteyn G. Z., Khimenkov A. N., et. al.* The usage of results of aerial survey in assessment of hazards of exogenous geological processes on the main pipeline. *Neftegazovoe delo – Oil and Gas Business*, 2011, no. 6, pp. 101–115 (in Russian). Available at: http://www.ogbus.ru/authors/SergeevDO/SergeevDO_1.pdf
2. *Aladinskiy V. V., Grigor'eva Yu. B.* Monitoring the oil trunk pipeline objects. *TTNN: Nauka i tekhnologii – Oil and Oil Products Pipeline Transportation: Science and Technology*, 2011, no. 1, pp. 16–22 (in Russian). Available at: <http://pipeline-science.ru/archive/>
3. *Ershov E. D., ed.* *Osnovy geokriologii. Chast' 6. Geokriologicheskii prognoz i ekologicheskie problemy v kriolitozone* [Fundamentals of geocryology. Chapter 6. Geocryological prediction and environmental problems in cryolithozone]. Moscow, MGU Publ., 2008, 768 p.
4. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu aerokosmicheskikh metodov dlya diagnostiki truboprovodnykh geotekhnicheskikh sistem i monitoring okruzhayushchey sredy* [Guidelines for the use of aerospace methods for the diagnosis of geotechnical pipeline systems and environmental monitoring]. Moscow, IRC Gazprom Publ., 1995, 60 p.

Статья поступила в редакцию 17.01.2013

Елизавета Михайловна Макарычева — младший научный сотрудник Института геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН. Специализируется в области геологии, геокриологии, криогенных процессов.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский переулок, д. 13, стр. 2.

E.M. Makarycheva — junior researcher of the Sergeev Institute of Geocology, Russian Academy of Sciences. Specializes in the field of geology, geocryology, cryogenic processes.

Sergeev Institute of Geocology, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, stroenie 2, Moscow, 101000 Russia.

Александр Николаевич Угаров — канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник Научно-образовательного центра исследований экстремальных ситуаций МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор около 100 научных работ в области математического моделирования местности.

Московский государственный технический университет, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

A.N. Ugarov — Cand. Sci. (Eng.), leading researcher of the Scientific and Educational Center of Study of Extreme Situations of the Bauman Moscow State Technical University. Author of about 100 publications in the field of mathematical simulation of territory. Bauman Moscow State Technical University, Vtoraya Baumanskaya ul. 5, stroenie 1, Moscow, 105005 Russia.

Наталья Сергеевна Малаева — старший научный сотрудник ООО “Центр исследований экстремальных ситуаций”. Автор более 10 научных работ в области геоинформационных технологий.

Центр исследований экстремальных ситуаций, 109028, Москва, ООО “ЦИЭКС”, Колокольный переулок, д. 16/2.

N.S. Malaeva — senior researcher of ООО “Emergency Situations Research Center”. Author of more than 10 publications in the field of geoinformation technologies.

ООО “Emergency Situations Research Center”, Kolokol'nyi per. 16/2, Moscow, 109028 Russia.