

УДК 584.83: 627.7

## ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ, ПРОЛОЖЕННЫХ В КРИОЛИТОЗОНЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СНИМКОВ LANDSAT

**С.А. Тихонова**, кандидат физико-математических наук **Т.А. Капитонова**,  
кандидат технических наук **Г.П. Стручкова**,  
доктор технических наук **О.И. Слепцов**

**Институт физико-технических проблем Севера СО РАН**

*Изучение влияния нефтепровода, проложенного в многолетнемерзлых грунтах на окружающие грунты, является актуальной задачей обеспечения безопасной эксплуатации трубопровода. Известно, что повышение температурного поля мерзлых грунтов является главным фактором активизации негативных геокриологических процессов, которые влияют на надежность подземных трубопроводных систем. Результаты проведенных исследований показывают, что использование вегетационного индекса позволяет оценить изменения растительного покрова и заболачивания территории по разновременным спутниковым изображениям, и таким образом проследить за активизацией и затуханием геокриологических процессов и опосредовано оценить состояние участка нефтепровода.*

**Ключевые слова:** промышленная безопасность, магистральный трубопровод, криолитозона, вегетационный индекс NDVI, дешифрирование, спутниковые данные, геотехнический мониторинг.

## SAFETY ASSESSMENT OF OIL AND GAS PIPELINES LAID IN PERMAFROST USING LANDSAT SATELLITE IMAGES

**S.A. Tikhonova**, Ph.D. (Phys.-Math.) **T.A. Kapitonova**,  
Ph.D. (Tech.) **G.P. Struchkova**, Dr. (Tech.) **O.I. Sleptsov**

**V.P. Larionov's Institute of Physical-Technical Problems of the North, SB RAS**

*The study of the influence of the oil pipeline laid in permafrost soils on the surrounding soils is an urgent task to ensure the safe operation of the pipeline. It is known that the increase in the temperature field of frozen soils is the main factor in the activation of negative geocryological processes that affect the reliability of underground pipeline systems. The results of the studies show that the use of the vegetation index allows us to assess changes in vegetation cover and waterlogging of the territory by multi-temporal satellite images, and thus to monitor the activation and attenuation of geocryological processes and indirectly assess the state of the pipeline section.*

**Keywords:** industrial safety, main pipeline, cryolithozone, vegetation index NDVI, decoding, satellite data, geotechnical monitoring.

### Введение

Подземные магистральные трубопроводы, проложенные в регионах распространения многолетнемерзлых грунтов, следует рассматривать с учетом взаимовлияния трубопроводной системы и окружающего мерзлого грунта. Их защищенность – важнейший показатель критерия риска, так как нарушение их работы влияет на состояние безопасности

целого региона [1]. Взаимовлияние трубопровода и криолитозоны начинается с этапа строительства трассы трубопровода, которое приводит к резкой активизации опасных геокриологических процессов на территории технологического коридора. Вырубка леса при строительстве коридора, нарушение растительного покрова при рытье траншеи, нарушение естественного стока водоемов при строительстве притрассовой дороги и обваловке трубопровода – это основные потенциально опасные геотехнические работы при выполнении которых происходит неизбежное воздействие на мерзлые грунты. [2] На этапе эксплуатации тепловое взаимодействие трубопровода с мерзлым грунтом приводит к оттаиванию и разжижению грунта. При оттаивании мерзлых грунтов резко нарушается структура грунта, что обуславливает ухудшение его физико-механических свойств. Такое оттаивание сопровождается развитием тепловой осадки под трубопроводом, неравномерность развития которой может послужить причиной критической деформации трубопровода и, как результат, возникновения аварийной ситуации. Для своевременного обнаружения опасных участков, несколько раз в год проводится оценка состояния трубопровода, функционирующего в сложных климатических условиях. Одним из таких работ является геотехнический мониторинг (ГТМ), который позволяет не только оценивать, но и прогнозировать состояние трубопроводной системы. На одном из этапов ГТМ при помощи аэро- и космосъемки решаются следующие основные задачи: выявление участков с нарушением технического состояния объекта, например: разрывы, трещины, коррозионные зоны, повреждение гидро- и теплоизоляции и прочее; наблюдение и контроль за состоянием природной среды на всей протяженности трассы магистрального трубопровода (состояние опасных геологических процессов, зон подтоплений, коррозионно-опасных сред, промерзающих и оттаивающих грунтов и др.); анализ участков с подводным переходом магистрального трубопровода; ранжирование участков по степени опасности, выделение участков для первоочередного диагностического исследования.

В данной работе исследовалась возможность оценки состояния нефтегазопровода, используя дешифрирование спутниковой информации, а именно анализ изменения параметров растительного покрова, как индикатора активизации опасных геологических процессов на трассе магистрального трубопровода. Использование дистанционного зондирования для мониторинга изменений земного покрова с течением времени имеет долгую историю. Методы, основанные на дешифрировании разновременных спутниковых снимков, с использованием индекса растительности для оценки состояния окружающей среды и антропогенного влияния описываются во многих работах как российских, так и зарубежных авторов [3-10]. Есть работы посвященные исследованиям ухудшения состояния растительности связанным с деградацией вечной мерзлоты [11].

Сопоставление полученных с помощью спутников оценок изменений растительного покрова с течением времени с местными климатическими и экологическими факторами может помочь лучше понять сложные механизмы взаимовлияния техногенных объектов и окружающей среды.

### **Материалы и методы**

Среди самых распространенных и применяемых индексов, использующих количественные оценки растительного покрова, является вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [12,13,14].

Индекс NDVI использует контраст характеристик двух каналов из набора мультиспектральных растровых данных – поглощения пигментом хлорофилла в красном канале и высокой отражательной способности растительного сырья в инфракрасном канале (NIR). Для каждого пикселя будет рассчитано значение индекса от -1 до 1, которое будет характеризовать интенсивность вегетации этого пикселя. С помощью данного индекса можно

исследовать временные ряды спутниковой информации, характеризующей состояние растительного покрова. Мониторинг состояния растительного покрова позволит определить изменения, происходящие в среде под влиянием нефтепровода, угнетение и смену видов растительности, инициализацию активности или затухания геоэкологических процессов.

Исследованы разновременные снимки со спутника Landsat 5, 7 и 8. Для обработки снимков и расчета индекса растительности NDVI использовался программный комплекс ENVI. Был выбран месяц июль, так как это месяц наибольшего расцвета растений.

Измерение относительного изменения состояния растительности с течением времени с помощью спутниковых данных должно проводиться в сравнении с данными эталонных участков (фоновых) определенных до строительства трубопровода или сопоставимых участков нетронутой растительности и почв. Для исследования влияния трубопровода на окружающую среду было отобрано три участка рядом с нефтепроводом и три фоновых участка. Строительство первой очереди нефтепровода длиной 2694 км на территории Республики началось в 2006 году и завершилось в 2009. Вторая очередь строительства длиной 2046 км, началась в 2010 году и завершилась в 2012. В 2015 году мощность увеличена до 58 млн.т. в год. Поэтому временной ряд снимков включает 2006 год как фоновый, а также для исследования изменения состояния растительного покрова в годы строительства и эксплуатации трубопровода - 2009, 2011, 2015 и 2017 гг. Основные участки были выбраны рядом с трубой на расстоянии 50 м, а фоновые участки были выбраны на расстоянии 1 км от трубы. Для учета влияния погодных условий на изменение состояния растительного покрова были использованы метеорологические данные сайта «Погода в 243 странах мира».

### **Результаты и обсуждение**

Основываясь на типах растительности районов прохождения нефтепровода, мы проводили оценку состояния растительности по NDVI отдельно для двух групп участков. Группа 1-участки № I и № II возле г. Ленска и п. Витим, группа 2- участок № III возле г. Нерюнгри.

Были исследованы разновременные снимки со спутника Landsat 5, 7 и 8. Интервал по времени июль 2006, 2009, 2011, 2015 и 2017 год. Результаты приведены в табл. 1 и 2. По приведенным в табл. 1 и 2 значениям рассчитанного NDVI основного и фонового участков можно видеть, что значения вегетационного индекса на участках рядом с трубопроводом до строительства (2006 г.) и на фоновых участках одинаковые. Затем значения NDVI на основных становятся ниже, чем участках, которые находятся на расстоянии 1 км от трубопровода. Растительность на основных участках рядом с трубопроводом становится более угнетенной, чем на фоновых. Особенно это характерно для периода строительства и начала эксплуатации нефтепровода, времени активизации геоэкологических процессов вдоль трассы трубопровода. Снимки аэровизуального облета и полевые инженерно-геологические исследования участков в данный период подтверждают данные дешифрирования спутниковой информации.

Тенденции изменения NDVI показывают корреляцию с температурой приземного воздуха и общим количеством осадков. При повышении температуры воздуха и уменьшении осадков, значения индекса растительности уменьшаются как на основном, так и на фоновом участках (2006 г., 2015 г.) При повышении количества осадков значения NDVI растут. Участок №2 относится к первой очереди строительства трубопровода, 2007-2008 году период строительства сопровождается активизацией геоэкологических процессов, заболачиваем участка, что подтверждается данными наземного мониторинга, а также заметно по уменьшению значения NDVI. В 2014 году геоэкологические процес-

сы затухают, вследствие, проведенных эксплуатирующей организацией защитных мероприятий, рис. 1. Используя NDVI возможно оценить влияние нефтепровода на активизации геокриологических процессов, а так же ранжировать участки трассы подземного трубопровода по степени изменения растительного покрова.

Таблица 1

**Результат расчета NDVI на основных участках линейной части:**

Основные участки	Ленск	Витим	Нерюнгри
2006	0,45	0,55	0,41
2009	0,5	0,56	0,39
2011	0,5	0,48	0,44
2015	0,43	0,46	0,31
2017	0,45	0,36	0,32

Таблица 2

**Результат расчета NDVI на фоновых участках линейной части:**

Основные участки	Ленск	Витим	Нерюнгри
2006	0,44	0,54	0,38
2009	0,54	0,55	0,40
2011	0,52	0,40	0,43
2015	0,39	0,41	0,30
2017	0,40	0,37	0,36

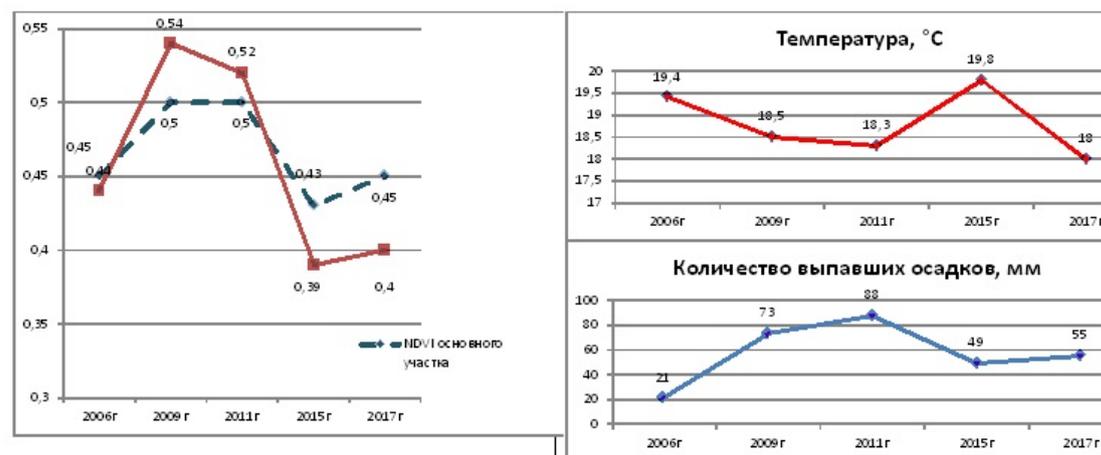


Рис. 1. Графики изменения NDVI, количества выпавших осадков, температуры и относительной влажности на участке рядом с г. Ленском

## Заключение

Результаты работы продемонстрировали перспективность использования индекса растительности NDVI в исследованиях сложных взаимовлияний между окружающей средой, многолетней мерзлотой и подземным магистральным нефтепроводом. Несмотря на то, что повышение среднегодовой температуры воздуха и среднегодового количества осадков также влияет на изменение индекса растительности, используя NDVI возможно оценить влияние нефтепровода на активизации геокриологических процессов очевидно.

Данная методика может быть использована в мониторинге состояния окружающей природной среды нефтедобывающих районов, с учетом ее особенностей (заболоченность, труднодоступность, отсутствие возможностей проведения наземных исследований).

## Литература

1. Капитонова Т.А., Стручкова Г.П., Тарская Л.Е., Ефремов П.В. Анализ факторов риска трубопроводов, проложенных в условиях криолитозоны с использованием ГИС-технологий // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 5–5. – С. 954–958.
2. Дзюба С.А. Информационно-аналитическая система геотехнического мониторинга и управления магистрального газопровода «Ямал - Торжок» // автореферат на соискание ученой степени кандидата технических наук, Институт Проблем Нефти и Газа РАН, издательско-полиграфический центр МИТХТ им.М.В.Ломоносова, Москва. - 2006, С. 21.
3. Адамович Т.А., Кантор Г.Я., Ашихмина Т.Я., Савиных В.П. Анализ сезонной и многолетней динамики вегетационного индекса NDVI на территории государственного природного заповедника «Нургуш». Вятский государственный университет, Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Московский государственный университет геодезии и картографии. - 2017.
4. Алексеева М.Н., Перемитина Т.О., Яценко И.Г. Оценка экологических рисков аварийных разливов нефти с использованием спутниковых данных. Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химии нефти Сибирского отделения Российской академии наук (ИХН СО РАН). - 2013.
5. Перемитина Т.О., Яценко И.Г., Алексеева М.Н. Комплексная оценка экологических рисков аварийных разливов нефти. Институт химии нефти СО РАН, г. Томск - 2014.
6. Днепровская В.П., Перемитина Т.О., Яценко И.Г. Оценка индекса NDVI и содержания углеродородов в болотных водах на нефтедобывающих территориях Западной Сибири // Вода: химия и экология. – 2017. – № 9. – С. 3–10
7. C.J. Tucker Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation Remote Sens. Environ., 8 (2) (1979), pp. 127-150
8. J.B. Adams, D.E. Sabol, V. Kapos, R. Almeida Filho, D.A. Roberts, M.O. Smith, A.R. Gillespie Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon Remote Sens. Environ., 52 (2) (1995), pp. 137-154
9. A.J. Elmore, J.F. Mustard, S.J. Manning, D.B. Lobell Quantifying vegetation change in semiarid environments: precision and accuracy of spectral mixture analysis and the normalized difference vegetation index Remote Sens. Environ., 73 (1) (2000), pp. 87-102
10. J. Verbesselt, R. Hyndman, G. Newnham, D. Culvenor Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series Remote Sens. Environ., 114 (1) (2010), pp. 106-115
11. Lihui Luo, Wei Ma, Yanli Zhuang, Yaonan Zhang, Shuhua Yi, Jianwei Xu, Yiping Long, Di Ma, Zhongqiong Zhang The impacts of climate change and human activities on alpine vegetation and permafrost in the Qinghai-Tibet Engineering Corridor, Ecological Indicators, Volume 93, October 2018, pp. 24-35
12. NDVI - теория и практика. <http://gis-lab.info/qa/ndvi.html>
13. Инструмент NDVI. <http://www.harrisgeospatial.com/docs/NDVI.html>
14. Калькулятор индекса растительности. <http://www.harrisgeospatial.com/docs/VegetationIndexCalculator.html>

Сведения об авторах

**Тихонова Сардана Алексеевна**, ведущий инженер Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН). 677980 г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, тел. +7 (4112) 39-05-50, +7 914 230-68-18 E-mail: sardankobeleva@gmail.com

**Капитонова Тамара Афанасьевна**, ученый секретарь Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН). 677980 г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, тел. +7 (4112) 39-06-05; +7 964 417 53 57 E-mail: kapitonova@iptpn.ysn.ru

**Стручкова Галина Прокопьевна**, ведущий научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН). 677980 г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, тел. +7 (4112) 39-05-05; +7 984 100 46 32 E-mail: g.p.struchkova@iptpn.ysn.ru

**Слепцов Олег Ивкентьевич**, главный научный сотрудник Института физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова СО РАН (ИФТПС СО РАН). 677980 г. Якутск, ул. Октябрьская, 1, тел. +7 (4112) 39-05-02; +7 914 271 78 54 E-mail: o.i.sleptsov@iptpn.ysn.ru

УДК 614.824(082)

**ПОТЕРЯ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОСТИ – КРИТЕРИЙ ПЕРЕХОДА СИСТЕМЫ  
ИЗ ОДНОГО СОСТОЯНИЯ В ДРУГОЕ**

**Доктор техн. наук Р.С. Ахметханов**

**Институт машиноведения им. А.А.Благонравова РАН**

*Работа посвящена динамическим процессам, происходящим в системах при переходе ее из одного состояния в другое. Переход системы в другое состояние реализуется как переход через потенциальный барьер (гиперболическую точку). Особенностью данного процесса является то, что динамическая система в момент перехода (бифуркации) из мультифрактальной становится моно-фрактальной. При этом в динамике системы преобладают низкочастотные моды.*

**Ключевые слов:** динамическая система, потенциальная поверхность, фаза перехода, мультифрактальный спектр, моно-фрактал, степенные законы.