

УДК 528.854

**ОЦЕНКА ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ  
РАСТЕНИЙ-БИОИНДИКАТОРОВ  
АТМОСФЕРНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

О.С. Токарева\*, И.В. Касьянов

Томский политехнический университет

\*Институт химии нефти СО РАН

**Токарева Ольга Сергеевна**,  
канд. техн. наук, доцент  
кафедры вычислительной  
техники Института кибер-  
нетики ТПУ, научный  
сотрудник Института химии  
нефти СО РАН, г. Томск.

E-mail: ostokareva@mail.ru

Область научных интересов:  
обработка и интерпретация  
данных дистанционного  
зондирования Земли из космоса,  
геоэкология.

**Касьянов Илья Владими-  
рович**, студент кафедры  
вычислительной техники  
Института кибернетики ТПУ.

E-mail: ratgunter@gmail.com

Область научных интересов:  
информационные системы,  
геоинформационные системы,  
базы данных.

Рассмотрены вопросы использования данных дистанционного зондирования Земли из космоса для оценки воздействия химического загрязнения атмосферы на состояние сосны сибирской кедровой. Исследования проведены в зоне влияния факелов для сжигания попутного газа на территории Приобского нефтяного месторождения. Оценка состояния растений-биоиндикаторов производилась с использованием вегетационных индексов NDVI и ARVI, рассчитанных по космическим снимкам со спутника Landsat. Для обработки и анализа данных использован инструментальный, предоставляемый программным пакетом ERDAS Imagine и геоинформационной системой ArcGIS. Показано, что негативные изменения в состоянии растений-биоиндикаторов, нарастающие по мере приближения к факелам и выявленные методами биоиндикации, обнаруживаются на космических снимках среднего пространственного разрешения (30 м).

**Ключевые слова:**

Загрязнение атмосферы, биоиндикатор, данные дистанционного зондирования, вегетационный индекс, геоинформационная система.

**Key words:**

Atmospheric pollution, bioindicator, remote sensing data, vegetation index, geographic information system.

Анализ состояния окружающей среды на территориях деятельности нефтегазового комплекса показывает, что наиболее существенным фактором, воздействие которого проявляется на больших расстояниях от источников выбросов загрязняющих веществ, является загрязнение атмосферы в результате сжигания попутного газа на факелах, вокруг которых формируются обширные шлейфы аэрозольного загрязнения. Опасность продуктов сжигания попутного нефтяного газа связана с кумулятивностью их воздействия и «отложенностью» во времени биологических последствий, проявляющихся, в частности, в усыхании лесов, которое может сказаться лишь через несколько лет, когда концентрация сажи и других токсических веществ достигнет критических значений [1].

Наиболее эффективным методом комплексного анализа степени аэротехногенного воздействия на лесные экосистемы, включающим оценку отдаленных эффектов, является биоиндикация. В [2] показано, что в условиях среднетаежной зоны Западной Сибири в качестве биоиндикатора атмосферного загрязнения наиболее пригодна сосна сибирская кедровая (далее кедр). Загрязнение атмосферного воздуха влияет на продолжительность жизни хвои, степень дефолиации деревьев и ведет к снижению продуктивности фитоценоза. Авторами приведены результаты наземных исследований методами биоиндикации состояния кедров на территории влияния Приобского нефтяного месторождения. Установлено, что по мере приближения к

факалам состояние древостоев ухудшается. При этом отмечается, что определение наиболее индикационно значимого показателя охвоенности побегов является трудоемким для наземных исследований [2]. Необходимо отметить, что территория Западной Сибири является труднодоступной для наземных исследований вследствие высокой заболоченности.

Для решения этих проблем могут применяться данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса и современные геоинформационные системы.

Целью данной работы является изучение динамики состояния кедровых лесов в зоне влияния факелов для сжигания попутного газа на Приобском нефтяном месторождении на основе данных ДЗЗ. Приобское месторождение является одним из наиболее крупных месторождений в Ханты-Мансийском автономном округе, разрабатывается с 1987 г. В факелах месторождения ежегодно сжигается 2...3 млрд м<sup>3</sup> попутного нефтяного газа. Представляет интерес сравнить данные, полученные методами биоиндикации в ходе наземных исследований [2], с результатами, полученными по космическим снимкам (КС).

В качестве объектов исследования использованы участки территории, идентифицированные на космическом снимке как кедровые выделы. Выделы отображаются на цифровой карте в виде полигонов векторного слоя, полученного в результате классификации и векторизации данных КС с датой съемки 19.06.1988 г. Полигоны выбраны в местах расположения контрольных точек отбора проб при проведении наземных исследований, описанных в [2]. Указанный КС выбран в качестве базового, так как в 1988 г. эксплуатация месторождения только началась и воздействие факелов еще не успело проявиться.

Известно, что характерным признаком растительности и ее состояния является спектральная отражательная способность, характеризующаяся большими различиями в отражении излучения разных длин волн. Знания о связи структуры и состояния растительности с ее отражательными способностями позволяют использовать КС для идентификации типов растительности и их состояния. В частности для оценки состояния растений широко используются вегетационные индексы (ВИ) [3], определяемые на основе обработки данных ДЗЗ из космоса.

Для оценки состояния кедровых выделов в работе использованы вегетационные индексы NDVI и ARVI [3], рассчитанные по космическим снимкам со спутника Landsat (пространственное разрешение 30 м) с датами съемки 19.06.1988 г. и 11.09.2001 г.

NDVI широко применяется для определения динамики состояния растительного покрова по разновременным снимкам в сельском хозяйстве, где происходят значительные изменения за короткие промежутки времени. ARVI – вегетационный индекс, устойчивый к влиянию атмосферы. Он использует значение отражения в синей зоне, чтобы устранить влияние атмосферы на коэффициенты отражения в красной зоне. Ниже приведены формулы для расчета NDVI и ARVI:

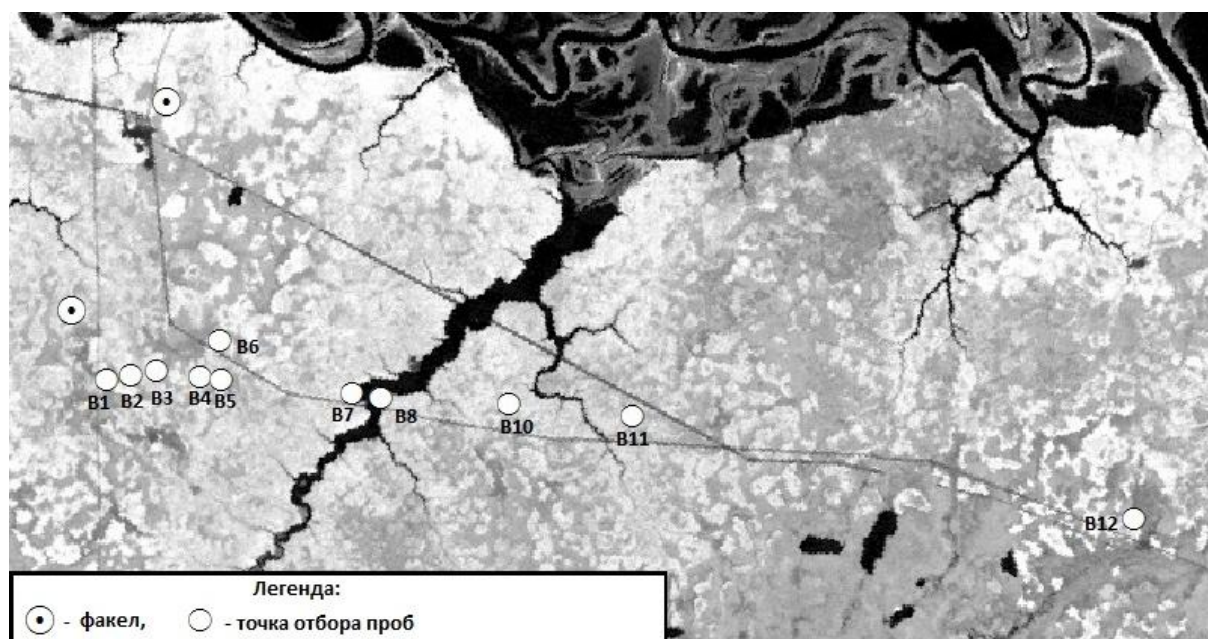
$$NDVI = \frac{P_{nir} - P_{red}}{P_{nir} + P_{red}};$$

$$ARVI = \frac{P_{nir} - P_{blue}}{P_{nir} + P_{blue}};$$

где  $P_{nir}$  – значения спектральной яркости пикселя в ближнем инфракрасном диапазоне;  $P_{red}$  – в красном диапазоне;  $P_{blue}$  – в синем диапазоне.

Значения индексов получены в виде масштабированной шкалы в диапазоне значений от 0 до 255, соответствующей количеству градаций серого цвета.

На рис. 1 для иллюстрации показана растровая карта, отображающая значения NDVI на территории вблизи Приобского месторождения, с нанесенными контрольными точками в местах отбора проб для биоиндикации, также показывающими расположение изучаемых полигонов кедровых выделов.



**Рис. 1.** Карта NDVI с нанесенными контрольными точками

Для классификации данных ДЗЗ с целью выявления кедровых насаждений и для расчета ВИ использован программный пакет ERDAS Imagine, ориентированный на профессиональную обработку данных аэро- и космических съемок. Алгоритм расчета NDVI встроено практически во все распространенные пакеты программного обеспечения для обработки данных ДЗЗ. Для построения алгоритма расчета ARVI использован специальный объектно-ориентированный графический редактор алгоритмов Model Maker, входящий в состав программного пакета ERDAS Imagine.

Векторизация классифицированного снимка произведена с использованием средств, предоставляемых геоинформационной системой ArcGIS. Для пространственного и статистического анализа данных использован дополнительный модуль Spatial Analyst. Данный модуль, в частности, содержит функцию «Зональная статистика», которая позволяет вычислять статистические параметры по значениям пикселей растрового слоя, попадающих внутрь выбранных полигонов векторного слоя.

Для каждого выбранного полигона рассчитывалось среднее значение соответствующего ВИ (NDVI или ARVI) по КС с разными датами съемки, затем для оценки динамики состояния кедровых выделов определялась величина относительного изменения среднего значения вегетационного индекса в каждом полигоне по формуле:

$$\delta = \frac{(ВИ_{2cp} - ВИ_{1cp})}{ВИ_{1cp}},$$

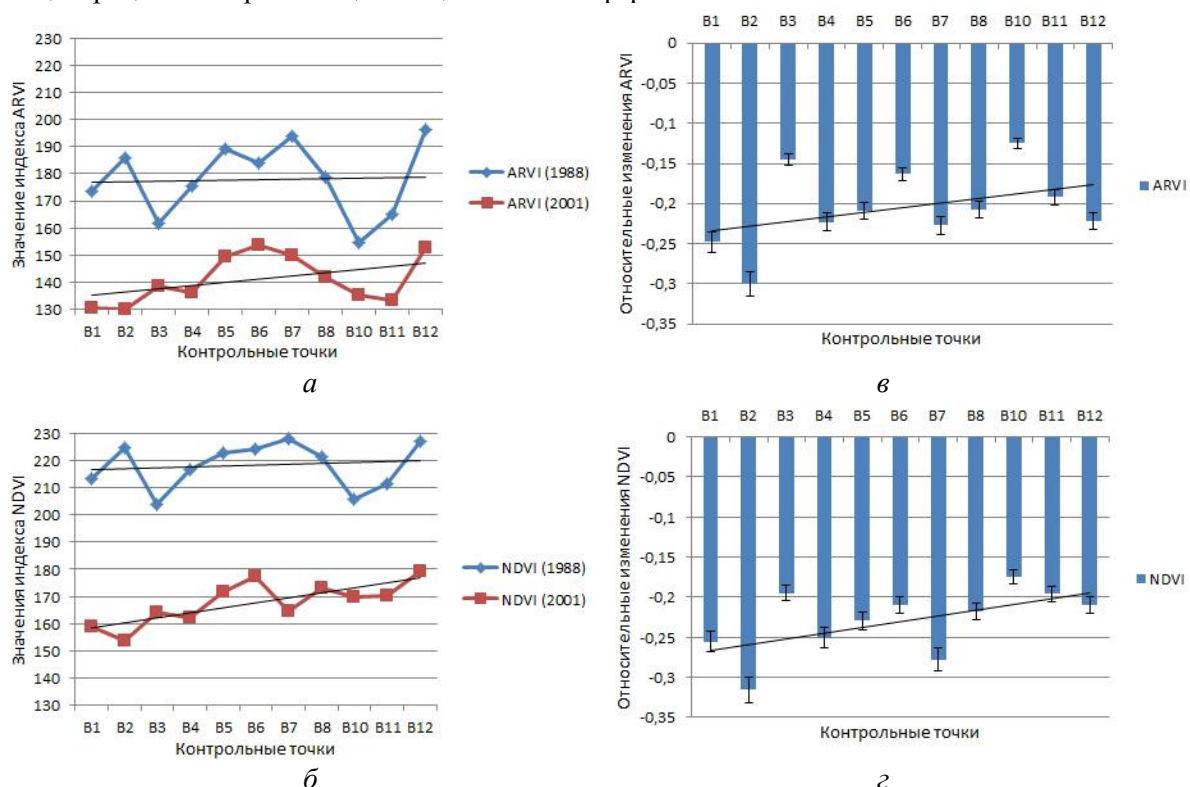
где  $ВИ_{1cp}$  и  $ВИ_{2cp}$  – средние значения вегетационного индекса для каждого полигона, рассчитанные по более раннему и позднему снимку соответственно.

Предполагается, что в одинаковых условиях произрастания состояние деревьев, изначально имеющих примерно одинаковые показатели развития, под влиянием природных факторов изменяется одинаково. Таким образом, сравнение полученных величин  $\delta$  в полигонах, находящихся на разном расстоянии от источника загрязнения атмосферы, позволяет установить наличие изменений в состоянии деревьев в результате техногенного воздействия.

На рис. 2 представлены средние значения ARVI и NDVI отдельно за 1988 и 2001 гг. рассчитанные внутри описанных выше полигонов, и относительные изменения средних значений ARVI и NDVI в этих полигонах за период с 1988 по 2001 гг. в зависимости от расстояния до факела.

Как видно на рис. 2, *а* и *б*, тренды, построенные по средним значениям ВИ в 1988 г. в полигонах на разном расстоянии от факелов, идут практически горизонтально. Однако в 2001 г. состояние кедровых насаждений значительно ухудшается с увеличением степени загрязнения атмосферы по мере приближения к факелу, что отображается на рисунках изменением угла наклона тренда.

По результатам, приведенным на рис. 2, *в* и *г*, можно сделать вывод, что на участках, расположенных ближе к факелу, снижение значений ARVI и NDVI, обусловленное изменением вегетационного периода, происходит в большей степени. Это может быть связано с более интенсивным опадом хвои у деревьев вблизи факела, вызываемым более высокими концентрациями загрязняющих веществ в атмосфере.



**Рис. 2.** Значения вегетационных индексов: а) ARVI; б) NDVI и относительные изменения значений ВИ: в) ARVI; г) NDVI в зависимости от расстояния до факела. Контрольные точки: B1 – 0,4 км; B2 – 0,7 км; B3 – 1 км; B4 – 1,3 км; B5 – 1,7 км; B6 – 2 км; B7 – 4,5 км; B8 – 5 км; B10 – 7 км; B11 – 8,5 км; B12 – 16,4 км в восточном направлении от факела

### Выводы

Показано, что негативные изменения в состоянии растений-биоиндикаторов, нарастающие по мере приближения к факелам для сжигания попутного газа на нефтяных месторождениях и выявленные методами биоиндикации, обнаруживаются на космических снимках среднего пространственного разрешения.

Полученные результаты наряду с результатами наземных исследований могут быть использованы в дальнейшем при картировании зон экологических рисков, в частности, для установления концентраций загрязняющих веществ, соответствующих границам зон пренебрежимого, приемлемого, неприемлемого экологического риска [4, 5].

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Геоимитационное моделирование зон атмосферного загрязнения в результате сжигания газа на нефтяных месторождениях // Информационные системы и технологии. – 2010. – № 2/58. – С. 39–47.
2. Кокорина Н.В., Касаткин А.М., Полищук Ю.М. Биоиндикация атмосферного загрязнения при сжигании попутного газа в факелах на нефтяных месторождениях в среднетаежной зоне Западной Сибири // Вестник Тюменского государственного университета. – 2009. – № 3. – С. 65–72.
3. Черепанов А.С. Вегетационные индексы // Геоматика. – 2011. – № 2. – С. 98–102.
4. Полищук Ю.М., Токарева О.С. Методические вопросы картографирования зон экологического риска воздействия нефтедобычи на растительный покров // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 166–169.
5. Полищук Ю.М., Кокорина Н.В., Кочергин Г.А., Перемитина Т.О., Токарева О.С. Методология оценки экологического риска воздействия точечных источников атмосферного загрязнения на основе данных биоиндикации // Проблемы анализа риска. – 2011. – Т. 8. – № 4. – С. 22–35.

Поступила 30.09.2011 г.