

УДК 504.064

## Мониторинг состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий Томской области по спутниковым данным

В.П. Днепровская, Т.О. Перемитина, И.Г. Яценко\*

*Институт химии нефти СО РАН  
634055, г. Томск, пр. Академический, 4*

Поступила в редакцию 13.01.2017 г.

Для своевременной оценки экологической обстановки труднодоступных районов Томской области разработана методика количественной оценки состояния растительного покрова нефтедобывающих территорий на основе спутниковых снимков Landsat-8 и продуктов MODIS, которая включает анализ состояния ландшафта, учет климатических факторов и размеры площадей загрязненных земель. Применение разработанного подхода позволило проанализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтедобывающих территорий Томской области с 2010 по 2016 г. и определить угнетенное состояние растительности на некоторых месторождениях.

*Ключевые слова:* окружающая среда, состояние растительного покрова, нефтедобывающие территории, спутниковые данные; environment, vegetation cover, oil field, satellite data.

Нефтегазодобывающий комплекс представляет собой сложную систему взаимосвязанных производств, состоящую из эксплуатационных скважин, установок комплексной подготовки поступающего углеводородного сырья и других объектов, относящихся как непосредственно к добыче нефти и газа, так и к обеспечению жизнедеятельности обслуживающего персонала. Воздействие нефтегазового комплекса на природную среду настолько усилилось, что существующие наземные методы слежения за ее состоянием перестали удовлетворять современным требованиям учета и управления ресурсами биосферы. Использование данных спутникового дистанционного зондирования Земли позволяет обеспечить практически непрерывный мониторинг атмосферы, земной и водной поверхностей, что, несомненно, является актуальной задачей.

Объект исследования в данной работе — растительный покров территории Томской области, площадь которой составляет 314,4 тыс. км<sup>2</sup>, а лесные земли занимают 68,3% от общей площади. Область активно развивается в промышленном отношении, что ведет к ухудшению экологической обстановки. По данным Территориального органа Федеральной службы государственной статистики, в 2015 г. в атмосферный воздух Томской области поступили выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников с более чем 1200 промышленных площадок, причем антропогенная нагрузка распределена

неравномерно — наибольшие загрязнения отмечаются в местах размещения предприятий нефтегазодобывающей отрасли: в Каргасокском, Парабельском, Александровском районах. Максимальный вклад в валовый выброс дают предприятия нефтегазодобывающего комплекса (более 70%), так как в процессе добычи и перегонки нефти появляется сопутствующий продукт — попутный нефтяной газ, при сжигании которого в атмосферу выбрасывается огромное количество вредных веществ [1].

На рис. 1 приведен график выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников в Томской области в 2010–2015 гг., по данным Департамента природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области [1].

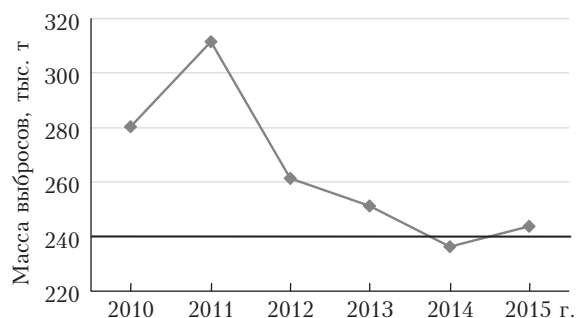


Рис. 1. Выбросы загрязняющих веществ от стационарных источников в Томской области в 2010–2015 гг.

Видно, что максимальная масса выбросов была зарегистрирована в 2011 г. Начиная с 2012 г. наблюдается сокращение объема эмиссии загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных

\* Виктория Петровна Днепровская (vpi@ipc.tsc.ru);  
Татьяна Олеговна Перемитина (peremitinat@mail.ru);  
Ирина Германовна Яценко (scrip@ipc.tsc.ru).

источников, что главным образом связано с реализацией программ по утилизации попутного нефтяного газа предприятиями нефтегазодобывающего комплекса. Объем выбросов в 2015 г. увеличился по сравнению с 2014 г. Основное увеличение выбросов обусловлено повышением уровня добычи попутного нефтяного газа и объема его сжигания на факельных установках ОАО «Томскнефть» ВНК [1].

В настоящей работе рассматриваются примеры практического применения методики количественной оценки состояния растительного покрова исследуемых территорий. Предложенная методика основана на использовании данных спутниковых наблюдений MODIS, снимков Landsat-8 и геоинформационных технологий (ГИС).

Данные дистанционного зондирования Земли из космоса позволяют оперативно отслеживать изменения состояния и структуры растительного покрова, в том числе на основе нормализованного вегетационного индекса NDVI. NDVI – наиболее применяемый индекс для решения задач, использующих количественные оценки состояния растительного покрова, вычисляется по формуле  $NDVI = (R1 - R2) / (R1 + R2)$ , где  $R1$  и  $R2$  – коэффициенты отражения в красной и ближней ИК-областях спектра. Анализ значений индекса позволяет выявить проблемные зоны с угнетенной растительностью на техногенно-нарушенных или загрязненных территориях и выработать меры, направленные на улучшение экологического состояния ландшафта. При помощи статистической обработки ретроспективных данных о значениях NDVI, помимо определения зон с угнетенной растительностью, можно дополнительно оценивать изменения объемов фитомассы на исследуемой территории [2].

Применение разработанной методики, основанной на расчете индекса NDVI, позволило провести количественную оценку воздействия различных факторов на растительность нефтегазодобывающих территорий [3–5]. На первом шаге методики (рис. 2) формируются коллекции спутниковых снимков

одной и той же территории с одной и той же датой съемки (день и месяц). На следующем шаге выполняется предварительная обработка спутниковой информации и предполагается проведение атмосферной коррекции спутниковых изображений. При анализе снимков одной и той же территории с одинаковой датой съемки появляется высокая вероятность включения в анализ изображений с облачностью и тенями от нее, что не позволяет одновременно изучить всю исследуемую территорию. Поэтому на данном шаге используются функциональные возможности геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 для построения безоблачных композитных изображений, покрывающих область исследования. На последнем шаге методики производится расчет среднего значения NDVI для исследуемой территории с помощью инструмента «Зональная статистика по таблицам» средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2. Для расчетов необходимо выбрать растровый слой (снимок), полигональный слой, над которым будет производиться расчет, а также нужный тип статистики.

В результате получаем таблицу со средними значениями индекса NDVI для исследуемых территорий за анализируемый период. Такой территорией может выступать любой выделенный полигон, преобразованный в векторный слой; это может быть как город, так и заповедник или произвольный участок леса. Временной период диагностики состояния растительного покрова напрямую связан с первым шагом – формированием коллекции спутниковых данных. Можно исследовать как 16-дневные изменения состояния растительного покрова в течении одного года, так и многолетние вариации – и тогда необходимо подобрать снимки одной и той же области с близкими или одинаковыми датами съемки, но за разные года.

Рассмотрим три примера применения предлагаемой методики для мониторинга состояния растительного покрова нефтегазодобывающих районов Западной Сибири.

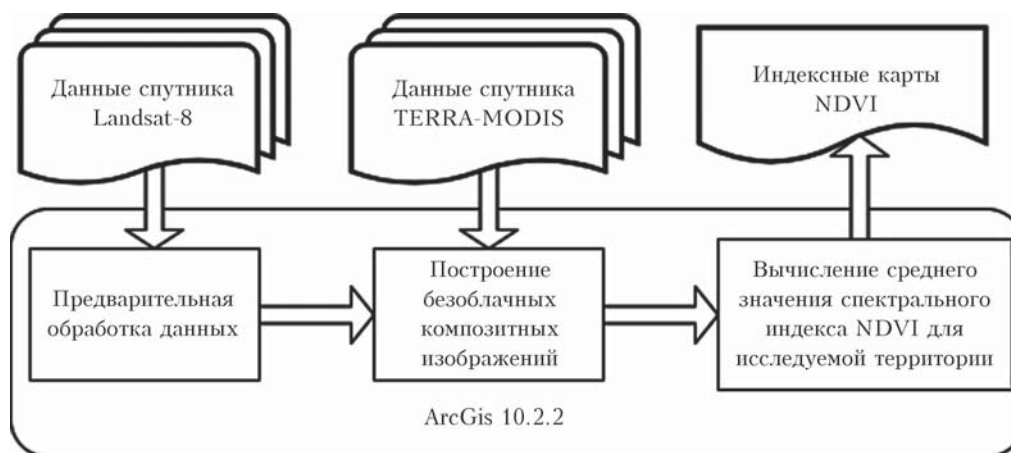


Рис. 2. Методика количественной оценки состояния растительного покрова исследуемых территорий на основе спутниковых снимков

В первом примере расчеты проводились для территорий месторождений Томской области: Первомайское, Ломовое, Оленье, Катильгинское, Лонтыньяхское, Васюганской группы месторождений и месторождений Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО) – Усть-Балыкское, Приобское, Самотлорское. В качестве фонового выбран участок территории Юганского заповедника ХМАО. Для оценки состояния растительного покрова использованы тематические продукты TERRA-MODIS – MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices с разрешением 250 м, содержащие значения нормализованного вегетационного индекса, усредненного за 16 дней [6]. Изменения индекса NDVI анализировались по снимкам с датами съемки 27 июля – 13 августа 2000, 2002, 2004, 2006, 2008, 2010, 2012 и 2014 гг.

Известно, что значения индекса NDVI в продуктах MODIS имеют масштабный коэффициент, равный 10000, поэтому для получения стандартных значений индекса  $NDVI \in [-1, 1]$  был использован инструмент геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 «Калькулятор растров», в котором каждый растровый слой делился на масштабный коэффициент. Далее из слоя месторождений были выделены месторождения Васюганской группы, расположенной в Томской области (Васюганское, Каймысовское, Среднеобское, Пайдугинское, Надым-Пурское), и соединены в один векторный объект с помощью редактирования атрибутов исходной таблицы месторождений. В данном случае были рассчитаны минимальное, максимальное, среднее значения индекса NDVI и среднее квадратичное отклонение (СКО) для каждой исследуемой территории Юганского заповедника.

Значение индекса NDVI на фоновом участке (рис. 3) стабильное, что подтверждает правильность выбора последнего. Аналогичный статичный характер изменения индекса выявлен и для территории Усть-Балыкского месторождения. СКО значений NDVI варьирует от 0,02 до 0,08.

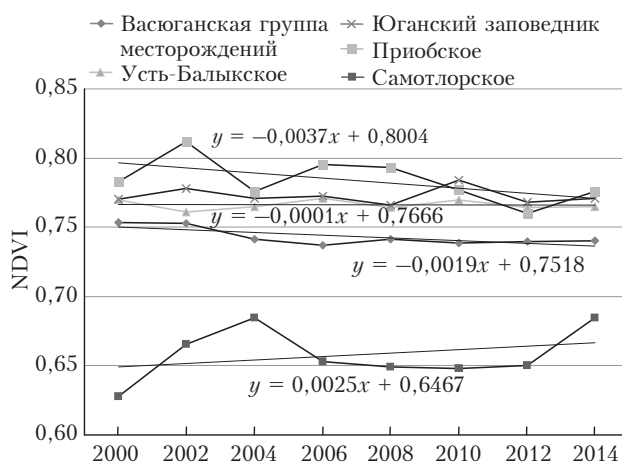


Рис. 3. Результаты расчета индекса NDVI за вегетационный период 2000–2014 гг.

Из рис. 3 видно, что на Самотлорском месторождении значения индекса NDVI увеличиваются,

что говорит об улучшении состояния растительности за рассматриваемый период. Незначительное снижение значений индекса отмечается для Васюганской группы месторождений. На Приобском месторождении, где ведется интенсивная добыча нефти, отмечено значительное снижение NDVI, что напрямую связано с ухудшением состояния растительности на данной территории.

В качестве второго примера рассмотрим применение предложенной методики для получения количественной оценки воздействия различных факторов на растительность территорий таких нефтегазодобывающих месторождений Томской области, как Мыльджинское, Лугинецкое, Крапивинское и Урманское. В качестве фонового участка взята территория Государственного природного заказника областного значения «Оглатский» Томской области. Как и в первом примере, для оценки состояния растительного покрова использованы тематические продукты TERRA-MODIS – MOD13Q1 16-Day Vegetation Indices с разрешением 250 м, содержащие значения индекса NDVI, усредненного за 16 дней [6]. Для анализа изменения вегетационного индекса были взяты снимки за 6 лет (с 2010 по 2015 г.) для 161 дня с датами съемки с 10 по 26 июня каждого года.

Средствами геоинформационной системы ArcGis 10.2.2 для территорий четырех месторождений и Оглатского заказника по тематическому продукту MOD13Q1 рассчитаны средние значения NDVI за 2010–2015 гг. Установлено (рис. 4), что на территории фонового участка заказника наблюдается максимальное значение индекса NDVI, что подтверждает правильность выбора фонового участка в этом случае. Стоит отметить, что для всех исследуемых территорий тенденции изменения индекса однотипны – высокие значения в 2011 и 2015 гг., минимальные – в 2010 и 2013 гг. Самое низкое значение индекса NDVI = 0,669 вычислено для растительности на территории Мыльджинского газоконденсатного месторождения в 2013 г.

Из полученных результатов можно заключить, что территория Мыльджинского месторождения требует более детального изучения с помощью космических снимков наиболее высокого пространственного разрешения для выявления факторов, вызвавших падение индекса в 2013 г. В целом для всех исследуемых месторождений наблюдается рост NDVI с 2014 г., что свидетельствует о хорошем (неугнетенном) состоянии растительности и улучшении экологической обстановки.

В качестве третьего примера используем разработанную методику для количественной оценки состояния растительного покрова территории Большого Васюганского болота. Это уникальное по размерам и составу природных комплексов болото, протянувшееся с северо-запада на юго-восток более чем на 960 км, расположено на севере Новосибирской и на юге Томской, а также на северо-востоке Омской областей. Оно занимает большую часть главного Обь-Иртышского водораздела и по площади является самым крупным болотом в мире,

образуя гигантскую климатообразующую болотную систему Северного полушария планеты (рис. 5).

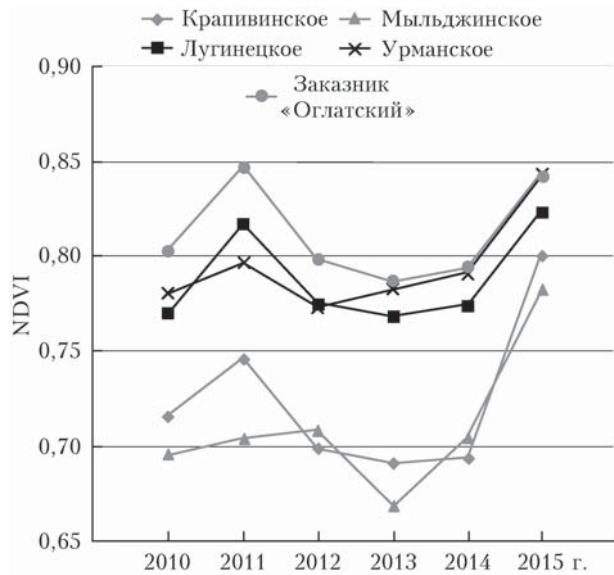


Рис. 4. Результаты расчета NDVI за вегетационный период 2010–2015 гг.

Известно [7], что интенсивное хозяйственное освоение природных ресурсов Васюганья сопровождается нарушением естественных ландшафтов

и ухудшением условий окружающей среды. Сказывается влияние целого набора отрицательных факторов – уничтожение древостоев (рубки), воздействие гусеничного транспорта, вытаптывание растительности, разливы нефти, горюче-смазочных материалов, буровых растворов, минерализованных подземных вод, загрязнение стройматериалами, бытовым мусором, металлоломом. Развиваются процессы термокарста, термоэрозии, водной эрозии, поскольку нарушенный растительный покров болот восстанавливается довольно медленно. В настоящее время эти виды антропогенного воздействия рассматриваются как основные факторы нарушения природных комплексов Васюганья. Речная сеть и болотные массивы имеют большое экологическое и хозяйственное значения, выполняя водорегулирующую функцию в ландшафтной системе.

В целях исследования антропогенного воздействия на исследуемую территорию использованы космические снимки Landsat-8 за 2013–2016 гг. Landsat-8 – американский спутник наблюдения за поверхностью Земли, запущенный в феврале 2013 г. и обеспечивающий разрешение 30 м. На рис. 5 показаны пункты отбора проб воды (наземные методы исследования), в которых были произведены дополнительные расчеты вегетационных индексов растительного покрова с применением космических снимков и геоинформационной системы ArcGis 10.2.2.

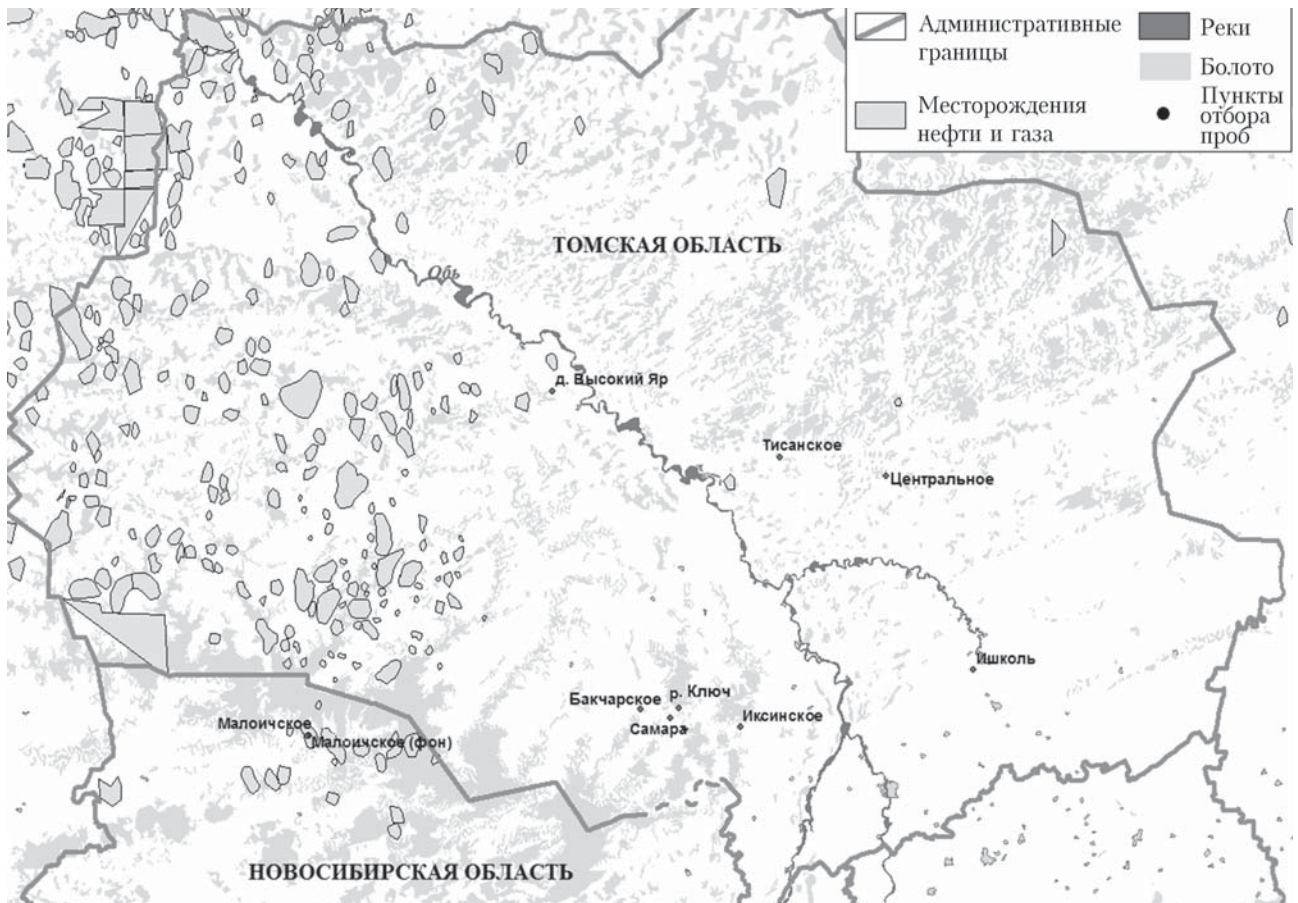


Рис. 5. Пункты отбора проб воды

На рис. 6 приведены результаты расчетов индексов NDVI в 10 пунктах отбора проб воды по спутниковым снимкам с датами съемки июнь–август 2013–2016 гг.

Максимальные значения индекса в 2016 г. получены для пункта «Малоичское (фон)» (березовый лес у месторождения Малоичское). Минимальное значение индекса в 2016 г. соответствует пунктам отбора проб воды «Иксинское» и «Малоичское». Эти данные показывают наличие корреляционной связи между состоянием растительного покрова и результатами химического анализа проб воды территории отбора проб. На рис. 7 приведен график содержания углеводов в пробах воды в 10 исследуемых пунктах. Максимальная концентрация углеводов соответствует пункту «Малоичское», что объясняется прорывом трубопровода в конце 2013 г. Из рис. 6 также видно, что состояние растительного покрова для пункта «Малоичское» резко ухудшилось с 2014 г.

Самым опасным и наиболее часто повторяющимся антропогенным фактором воздействия на экосистемы Васюганья являются пожары, уничтожающие все природные комплексы болот. Повышенное содержание углеводов (рис. 7) получено в образце воды пункта «Иксинское», отобранном после пожара. Факт угнетенного состояния растительности в данном пункте отбора подтверждается минимальными значениями индекса NDVI в пределах 0,3 в 2014 г. (рис. 6).

Приведенные примеры позволяют сделать вывод, что применение спутниковых данных и ГИС-технологий помогает анализировать состояние растительного покрова труднодоступных нефтедобывающих территорий Западной Сибири, что оказывает значительную помощь в своевременной оценке экологической ситуации и принятии мер по устранению и профилактике загрязнения окружающей среды.

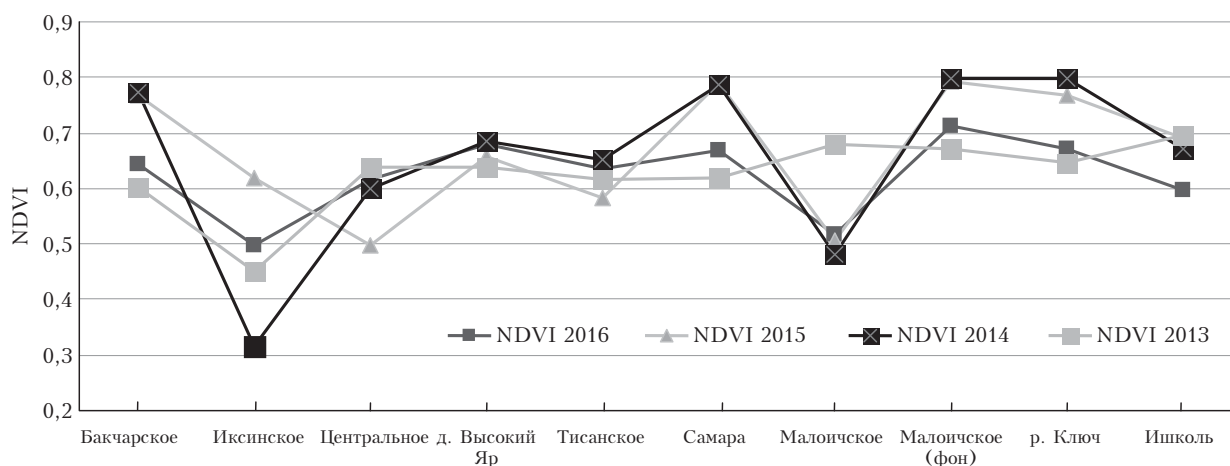


Рис. 6. Значения индекса NDVI в пунктах отбора проб в 2013–2016 гг.

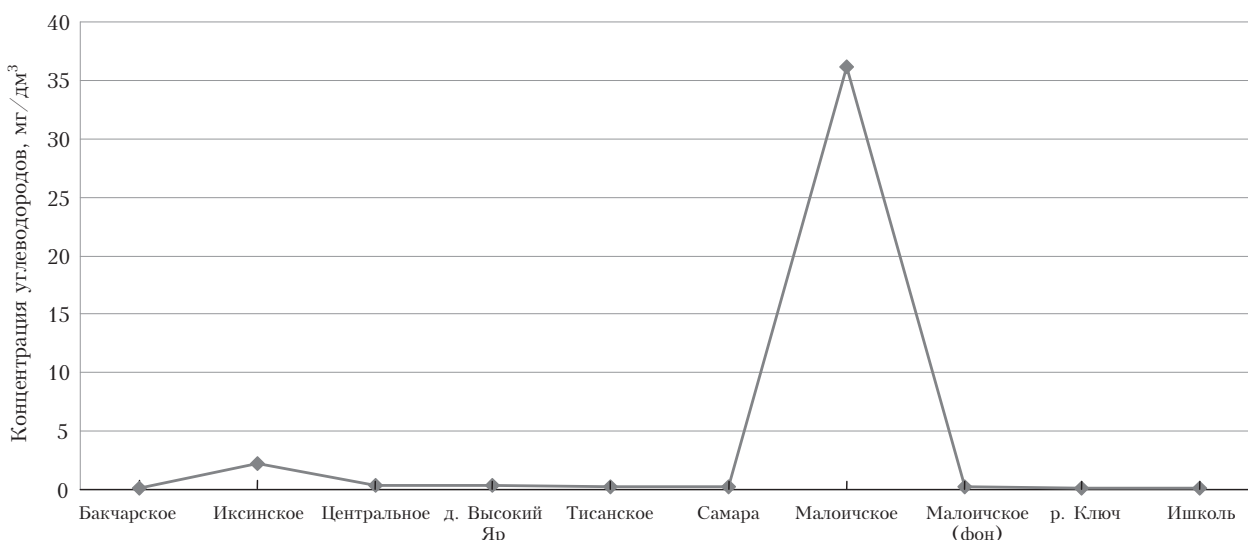


Рис. 7. Содержание углеводов в водах Томской и Новосибирской областей

1. *Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды Томской области в 2015 году»* / глав. ред. С.Я. Трапезников, ред. кол. Ю.В. Лунева, Н.А. Чатурова; Департамент природных ресурсов и охраны окружающей среды Томской области, ОГБУ «Облкомприрода». Томск: Дельтаплан, 2016. 156 с.
2. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы // Геоматика. М.: Совзонд, 2011. Вып. 2. С. 98–102.
3. *Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Комплексный подход к оценке влияния антропогенных и природных факторов на окружающую среду нефтегазодобывающих территорий // Оптика атмосф. и океана. 2015. Т. 28, № 6. С. 544–547.
4. *Кобзарь С.К., Перемитина Т.О., Яценко И.Г.* Анализ состояния растительности нефтедобывающих территорий томской области с применением данных дистанционного зондирования // Оптика атмосф. и океана. 2016. Т. 29, № 5. С. 414–418.
5. *Peremitina T.O., Yashchenko I.G.* Application of the TERRA MODIS satellite data for environmental monitoring in Western Siberia [Electronic resource] // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLI-B6. URL: <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B6/185/2016/> (last access: 16.05.2016).
6. *Официальный сайт радиометра MODIS* [Электронный ресурс. URL: <http://modis.gsfc.nasa.gov> (дата обращения: 25.12.2016).
7. *Савченко Н.В.* Антропогенное воздействие на экосистемы Васюганья и необходимость их охраны // Охрана природы и образование. На пути к устойчивому развитию: Материалы науч.-практ. конф. «Проблемы и перспективы охраны природы в Новосибирской области и сопредельных регионах». Новосибирск, 3–4 декабря 2008 г. Новосибирск: Изд-во ГЦРО, 2009. С. 19–21.

*V.P. Dneprovskaya, T.O. Peremitina, I.G. Yashchenko.* **Monitoring of the vegetation cover of oil fields in Tomsk region on the basis of satellite data.**

For timely estimation of the ecological status of inaccessible territories in Tomsk region, a technique is developed for the assessment of vegetation of oil-producing regions on the basis of Landsat-8 satellite images and MODIS products. The methodology suggested includes the analysis of the state of landscape, considers climatic factors and the areas of contaminated lands. Application of this approach made it possible to analyze the state of vegetation cover of inaccessible oil fields in Tomsk region from 2010 to 2016 and to detect the vegetation damage on some oil fields.