

Геоинформационные технологии **ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ** ТЕРРИТОРИИ ПРЕДПРИЯТИЙ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Для оценки загрязнения территории нефтедобывающих комплексов и динамики восстановления растительного покрова использовали нормализованный вегетационный индекс, рассчитанный на основе космических снимков. Полученные значения подтверждены данными физико-химических и микробиологических анализов проб, отобранных на загрязненной территории. С помощью топографических карт и космических снимков выделена сеть трубопроводов, представляющих особый риск для компонентов окружающей среды.



Введение

На территории нефтегазового комплекса вследствие аварийных ситуаций разрушительному воздействию подвержены все компоненты ландшафта, растительный и животный мир. На нефтедобывающих предприятиях Западной Сибири примерно 70 % территории приходится на обводненные болота, которые являются регуляторами водного режима, обеспечивают существование характерной флоры и фауны, представляют ресурс, имеющий экономическое и рекреационное значение [1, 2].

Аварии на нефтяных месторождениях сопровождаются значительными выбросами нефти и сопутствующей высоко минерализованной пластовой воды, содержащей до 10 млн. клет/мл общей микрофлоры [3]. В результате аварий на трубопроводном транспорте загрязнено от 700 до 840 тыс. га территории Западной Сибири. Основной причиной аварий является изношенность и коррозия оборудования. Потери нефти в результате аварий достигают до 3-5 % от ежегодной добычи [4].

Восстановление экосистемы, особенно в северных районах, проходит крайне медленно, в течение 5-10 лет в зависимости от кон-

Л.И. Сваровская*,
кандидат
биологических наук,
старший научный
сотрудник,
ФГБУН Институт
химии нефти
Сибирского
отделения Российской
академии наук

М.Н. Алексеева,
кандидат
географических наук,
младший научный
сотрудник, ФГБУН
Институт химии нефти
Сибирского
отделения Российской
академии наук

центрации загрязнения и температуры окружающей среды [5]. Труднодоступные и обширные заболоченные территории нефтедобывающих предприятий Западной Сибири не позволяют своевременно оценивать масштаб загрязнения и планировать рекультивационные мероприятия. Нами разработана методика картографирования и оценка антропогенного преобразования растительного покрова нефтезагрязненных территорий на основе космических снимков (**КС**).

Целью данной работы является применение геоинформационно-космических технологий картографирования для оценки антропогенного загрязнения растительного покрова территорий Самотлорского и Ватинского месторождений Западной Сибири.

Материалы и методы исследования

Объектом исследования служили заболоченные нефтезагрязненные территории Самотлорского и Ватинского месторождений Ханты-Мансийского АО. В работе использовались снимки, полученные

* Адрес для корреспонденции: sli@ipc.tsc.ru

с космического аппарата Landsat в 1999-2001, 2005 и 2007 гг. Построение сети трубопроводов проводилось по методу их цифрования на КС и топографических картах [6]. Для оценки загрязнения территории нефтедобывающих комплексов и динамики восстановления растительного покрова использовали нормализованный вегетационный индекс (Normalized Difference Vegetation Index, **NDVI**), рассчитанный на основе КС [7]. Индекс рассчитывали по формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED},$$

где NIR и RED – отражение объектов в инфракрасной и красной областях спектра, соответственно.

Химический состав проб загрязненной почвы, болотной воды и отмерших растений, отобранных в разные годы на загрязненной территории, определяли стандартными методами [8]. Величины pH и Eh измеряли милливольтметром марки pH-673 М. Состав микробного сообщества, представленного группой сапрофитных и углеводородокисляющих, сульфатредуцирующих и денитрифицирующих бактерий, участвующих в деструкции углеводов, анализировали путем посева проб на жидкие и твердые селективные среды для выявления микроорганизмов отдельных физиологических групп [9, 10].

Для определения степени загрязнения нефть из отобранных образцов почвы экстрагировали горячим способом на аппарате Сокслета с использованием хлороформа, который удаляли на роторном испарителе [11]. Количественную и качественную оценку деструкции углеводов нефти проводили методами ИК-спектроскопии. ИК-спектры снимали на спектрометре Фурье NIKOLET 5700 (FT-IR) в диапазоне от 400 до 4000 см⁻¹. Биодеструктивные процессы оценивали по изменению величины оптических коэффициентов, рассчитанных по данным ИК-спектроскопии [12].

Результаты и их обсуждения

Основные площади загрязнения на месторождениях обнаружены на обводненных болотах (86 %). Картографирование участков промысловых и магистральных нефтепроводов, проходящих по болотистой территории, и зон их неблагоприятного влияния на почвенно-растительный покров осуществляли с использованием средств геоинформационных систем ERDAS Imagine и ArcGIS по схеме, приведенной на

рис. 1. Из рисунка следует, что построение контуров болот осуществляли в несколько этапов. На первом этапе проводили классификацию «с обучением» КС и их векторизацию. На втором этапе генерализацию классифицированного КС проводили с помощью фильтров обнаружения и замены неправильно классифицированных пикселей средними значениями и путем удаления векторных контуров болот малого размера по сравнению с масштабом карты.

Построение сети трубопроводов проводили на основе цифрования их на КС и топографических картах. Используя вышеприведенную схему, построена карта нефтедобывающих территорий Самотлорского и Ватинского месторождений Западной Сибири с сетью промысловых и магистральных нефтепроводов, участками возможных аварий и зонами их влияния на почвенно-растительный покров (рис. 2). На карте показана зона риска загрязнения нефтью территории месторождений, насыщенных сетью промысловых и магистральных нефтепроводов, проложенных на обводненных болотах. Кроме того, территория изучаемых месторождений расположена в районе заболоченной поймы р. Обь.

На обводненной болотистой местности из-за малой пересеченности рельефа, незначительных уклонов профиля труб и больших расстояний между линейными задвижками, составляющими от 20 до 30 км, при аварийных ситуациях загрязнение охватывает значительные площади. Примерная зона загрязнения по обе стороны нефтепровода изменяется от 200 м (для наземного участка), до 3 км (для перехода через водную преграду). Зона такого риска показана на карте и закрашена серым цветом (рис. 2).



Рис. 1. Схема картографирования участков нефтепроводов и зон их влияния на почвенно-растительный комплекс.

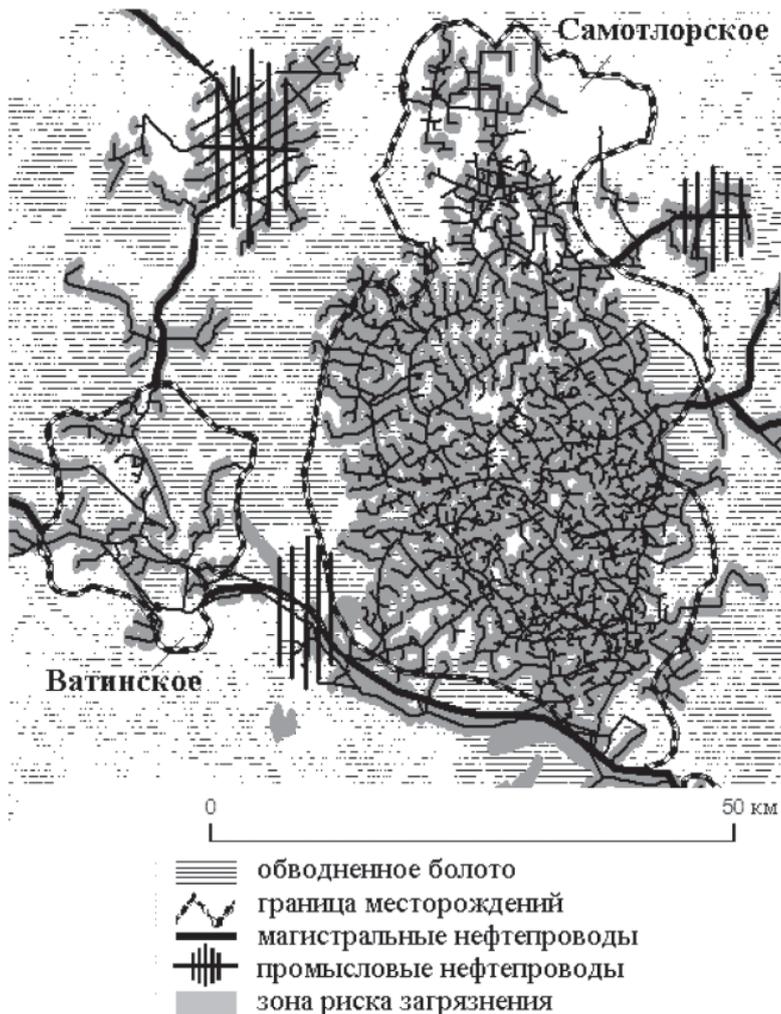


Рис. 2. Карта сети промысловых нефтепроводов на территории изучаемых месторождений.

Для количественной оценки состояния растительного покрова на территории разлива нефти Самотлорского и Ватинского месторождений проведен расчет нормализованного вегетационного индекса NDVI на основе космических снимков Landsat с использованием средств геоинформационных систем ERDAS Imagine, ArcView, ArcGIS. Значение индекса NDVI рассчитывали по отношению разности интенсивностей отраженного света в инфракрасном (0,75–0,90 мкм) и красном (0,63–0,69 мкм) диапазонах спектра к их сумме для каждой точки изображения. В красной области спектра находится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, в инфракрасной области спектра – максимум отражения клеточными структурами пластинки листа растений. Значения NDVI меняются в диапазоне от -1 до +1. Как правило, для густой растительности значение индекса составляет 0,7, для разреженной растительности – 0,25–0,35, для погибшей растительности значения индекса минусовые (рис. 3).

Следовательно, согласно отрицательным значениям индексов NDVI за 1999–2000 гг. нефтяное загрязнение и разлив минерализованной пластовой воды оказали губительное действие на растительность. Концентрация нефтезагрязнения на территории погибшей растительности составила 42–49 %.

Физико-химические и микробиологические исследования на территории нефтеразливов

Во время аварии на территории Самотлорского месторождения в 1999 г. разлив нефти составил 35 т, пластовой воды – 47 т. Концентрация загрязнения грунта – 49 %, водной поверхности болота – 41,3 %, толщина пленки нефти на поверхности воды – до 2,5 мм, общая площадь загрязнения – более 4,0 га.

Пластовые воды с минерализацией от 17,2 до 34,6 г/л содержат богатый и разнообразный биоценоз. Содержание Cl составляет от 14,3 до 25,0, Na от 8,9 до 15,5 г/л, фосфатов 0,4–14,2 мг/л, сульфатов до 46,7 мг/л, сероводорода 0,06 г/л, бикарбонатов 0,32 г/л, солей тяжелых металлов 0,94 г/л. Показатели отношения Ca/Mg и I/Br составляют, соответственно, 1,9 и 0,87. В отличие от нефтяного загрязнения разливы минерализованных вод, как правило, вызывают полную гибель древесной и травянистой растительности в течение одного вегетационного периода. Все это губительно сказалось на биоценозе, который при отсутствии рекультивационных мероприятий к 2000 г. не восстановился.

В пластовой воде в числе доминирующих присутствуют углеводородокисляющие, денитрифицирующие и сульфатредуцирующие микроорганизмы, продуктами метаболизма которых являются сероводород, угле-

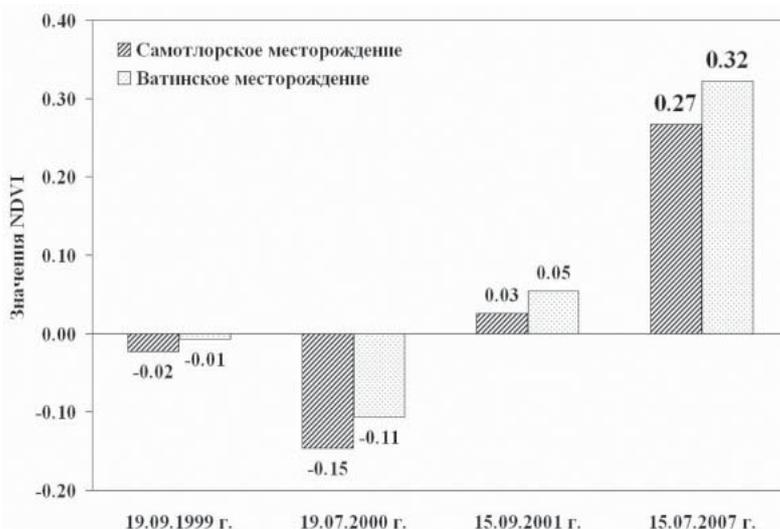


Рис. 3. Значения NDVI на загрязненных территориях изучаемых месторождений в период 1999–2007 гг.

кислый газ, карбоновые кислоты и другие соединения, способствующие развитию процессов разрушения и коррозии нефтепромыслового оборудования. При возникновении аварий на нефтепроводе, в результате разлива нефти и пластовой воды, образуется комплексное загрязнение окружающей среды, включающее органические и неорганические соединения.

Микробиологический анализ проб болотной воды и загрязненного грунта, отобранных в 1999-2000 гг., показал снижение численности изучаемых групп микроорганизмов в 4-5 раз по сравнению с фоновым уровнем. К 2001 г. число изучаемых микроорганизмов увеличилось на 1-2 порядка, деструкция загрязняющей нефти составила 12 % (деструкция загрязняющей нефти – до 12 %), что оказало положительное влияние на процесс восстановления растительности, в результате чего вегетационный индекс к 2001 г. имел положительные значения (рис. 3).

К 2007 г. в загрязненной почве и болотной воде численность почти всех бактериальных сообществ, в том числе углеводородокисляющих, увеличилась на 3–4 порядка. Возросла их деструктивная активность. Значения pH воды определялись в интервале от 7,3 до 6,9 ед., Eh – от +50 до -170 мВ. Изменение окислительно-восстановительного потенциала (Eh, мВ) от положительного до отрицательных значений создает условия для развития анаэробной микрофлоры [9]. Концентрация нефтепродуктов на загрязненных участках, снизилась на 45–52 %, заметно восстановилась растительность.

По данным ИК-спектров рассчитаны спектральные коэффициенты относительной интенсивности полос поглощения, отражающих деструктивные процессы (табл. 1). Согласно данным, приведенным в таблице, увеличение значений спектральных коэффициентов отмечено к 2001 г. и более значимые

Таблица 1

Спектральные коэффициенты нефти, экстрагированной из проб загрязненной, заболоченной почвы

Спектральные коэффициенты	Исследуемый период времени, г.			
	1999	2000	2001	2007
$C_1 = (D_{1610}/D_{720})$, ароматичность	0,74	0,74	0,79	1,58
$C_2 = (D_{750}/D_{720})$, интенсивность поглощения полициклических аренов и алканов	1,03	1,04	1,15	1,95
$C_3 = (D_{720}/D_{1380})$, интенсивность поглощения метиленовых и метильных групп	0,29	0,285	0,23	0,13
$C_4 = CH_3/CH_2 (D_{1380}/D_{720})$, разветвленность парафиновых структур	3,3	3,34	3,52	5,03
$C=O - (D_{1710}/D_{1600})$, интенсивность накопленных продуктов окисления	0,45	0,47	0,56	2,74

изменения к 2007 г., как результат деструктивных изменений, снижающих концентрацию n-алканов, которые, прежде всего, подвергаются биодеструкции при контакте с микроорганизмами. Увеличение коэффициента окисленности (C=O) отражает накопление кислородсодержащих продуктов метаболизма за счет деструктивных процессов, способствующих самоочищению нефтезагрязненной среды.

Заключение

Результаты микробиологических анализов, проведенных в разные годы после разлива нефти и пластовой воды, подтверждают выводы, полученные при расчете индексов NDVI. Таким образом, составление карт оценки экологического риска с использованием геоинформационной технологии и нормализованного вегетационного индекса NDVI значительно сократит время и финансовые расходы на проведение мониторинговых исследований загрязненных трудно-



доступных заболоченных территорий и позволит разработать план рекультивационных мероприятий для улучшения экологии окружающей среды.

Работа выполнена при финансовой поддержке Государственного контракта № П 514 Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы и проекта РФФИ № 11-05-98023 р-Сибирь-а.

Литература

1. Мочалова О.С. Физико-химические методы защиты водно-болотных экосистем / О.С. Мочалова, М.П. Нестерова, Н.М. Антонова // Нефтяное хозяйство. 1992. № 3. С. 35-37.
2. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 207 с.
3. Иларионов С.А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных земель. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2004. 193 с.
4. Загрязнение и рекультивация земель и водных объектов нефтедобывающими предприятиями // Офиц. веб-сайт органов государственной власти Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. URL: <http://www.admhmao.ru/socium/ekologiya/voda2.htm>.
5. Соловьева З.Е. Исследование зависимости состояния растительного покрова от содержания нефтепродуктов и легкорастворимых

Ключевые слова:

нефтезагрязнение,
биоценоз,
биодеструкция,
геоинформационные
технологии,
нормализованный
вегетационный индекс

солей в почвах Среднего Приобья в сфере влияния нефтедобычи // Материалы докладов конференции «Актуальные проблемы биологии и экологии», Сыктывкар. 2007. С. 296

6. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2002. 133 с.
7. Черепанов А.С. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы. / А.С. Черепанов, Е.Г. Дружинина // Геомастика. 2009. № 3. С. 28-32.
8. Резников А.А. Методы анализа природных вод. / А.А. Резников, Е.П. Муликовская, И.Ю. Соколов. М.: Недра, 1970. 490 с.
9. Романенко В.И. Экология микроорганизмов пресных водоемов. / В.И. Романенко, С.И. Кузнецов. Лабораторное руководство. Л.: Наука, 1974. С. 23.
10. Гусев М.В. Биология сине-зеленых водорослей. М.: Изд-во МГУ, 1968. С. 79.
11. Другов Ю.С. Анализ загрязненной почвы и опасных отходов. Практическое руководство / Ю.С. Другов, А.А. Родин. М.: Бином. Лаборатория знаний, 2007. 424 с.
12. Большаков Г.Ф. Инфракрасные спектры насыщенных углеводородов. Ч. 1. Алканы. Новосибирск: Наука, 1986. С. 5-32.



L.I. Svarovskaya, M.N. Alekseeva

GEOINFORMATION TECHNOLOGY FOR POLLUTION ASSESSMENT OF OIL AND GAS COMPLEXES

Ecological assessment of the territory of oil and gas complexes with estimation of vegetation recovery dynamics has been made on the basis of normalized vegetation index (NDVI) calculated by satellite images. The data obtained were proved by physico-chemical and microbiological analyses of samples taken from contaminated areas. With the help of topographic maps and satellite images a network of pipelines which may represent a particular risk for the environment has been selected.

Key words: oil pollution, biocenosis, biological degradation, geoinformation technology, normalized vegetation index.

