

НАУКИ О ЗЕМЛЕ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Дмитрий Валерьевич МОСКОВЧЕНКО¹

Михаил Дмитриевич МОСКОВЧЕНКО²

УДК 551.586

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ ЛАНДШАФТОВ ЗАПОЛЯРНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ*

¹ доктор географических наук, заведующий сектором геоэкологии,
Тюменский научный центр СО РАН; ведущий научный сотрудник,
Международный институт криологии и криософии,
Тюменский государственный университет
moskovchenko1965@gmail.com

² студент, Институт наук о Земле,
Тюменский государственный университет
moskovchenkomd@yandex.ru

Аннотация

В статье проанализирована динамика ландшафтов Заполярного месторождения, расположенного в лесотундровой зоне Западной Сибири. На основе данных, полученных путем дешифрирования космических снимков Landsat, зафиксированы изменения различных индикаторных показателей (площадь озер, участков техногенных нарушений,

* Работа выполнена по программе исследований РАН на 2018-2020, проект № 0371-2018-0034 Тюменского научного центра и при поддержке РФФИ (грант 18-45-890002 p_a).

Цитирование: Московченко Д. В. Оценка современной динамики ландшафтов Заполярного месторождения с использованием спутниковых данных / Д. В. Московченко, М. Д. Московченко // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2018. Том 4. № 2. С. 6-16.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-6-16

участков послепожарных сукцессий). С использованием снимков MODIS подсчитаны значения вегетационного индекса NDVI за период 2000-2016 гг. При помощи корреляционного анализа выполнена оценка факторов, влияющих на процессы ландшафтной динамики. Зафиксировано увеличение площади озер, что связано с ростом суммы осадков, заполнением водой карьеров минерального грунта. Не отмечен тренд к росту значений NDVI, хотя наблюдается постепенный рост суммы положительных температур. Отсутствие тренда связано с периодическими пожарами и техногенными нарушениями, вызывающими снижение NDVI, а также с ростом площади термокарстовых озер. Происходит сдвиг вегетационного периода на более поздние календарные даты, в мае отмечена тенденция к снижению, в сентябре — к увеличению значений NDVI. На территории месторождения преобладают нарушения, произошедшие в период разведки и подготовки к эксплуатации. В период с 1990 по 1998 г. было нарушено 2,5% территории, в последующий период, после начала промышленной добычи газа, — еще 2%. Важным фактором динамики ландшафтов являются торфяные пожары. Послепожарное восстановление растительности лишайниковых тундр занимает период не менее 45 лет. На горячих местах тундр и редколесий с преобладанием лишайников формируются устойчивые ерниковые тундры и редколесья с преобладанием мхов и кустарничков.

Ключевые слова

Западная Сибирь, криолитозона, динамика ландшафтов, Заполярное месторождение, космоснимки.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-6-16

Введение

Изучение современной динамики ландшафтов криолитозоны весьма актуально в условиях современных климатических изменений. Особенно важно определить изменения на участках промышленного освоения месторождений нефти и газа, где велик риск деградации многолетнемерзлых пород (ММП) при нарушении почв и растительного покрова. Техногенное воздействие на растительный покров, связанное со строительством инженерных сооружений, внедорожным движением транспорта, зачастую вызывает увеличение мощности сезонного слоя, активизацию экзогенных процессов (солифлюкции, термоэрозии, термокарста), усиление плоскостного смыва [1]. Наиболее распространенным методом мониторинга изменений геосистем является метод дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Нами с использованием ДЗЗ была проанализирована динамика геосистем Заполярного газоконденсатного месторождения, расположенного на северо-востоке Ямало-Ненецкого автономного округа, в Пур-Тазовском междуречье.

Район и методы исследования

Заполярное месторождение было открыто в 1965 г., промышленная эксплуатация началась в 2001 г. Согласно данным ПОА Газпром, Заполярное месторождение в настоящее время является самым мощным по добыче газа в России и одним

из крупнейших по объему запасов [7]. В настоящее время техногенные объекты представлены на территории вахтовыми поселками, установками комплексной подготовки газа, кустами скважин, газопроводами, дорогами на песчаных насыпях и песчаными карьерами.

Выбранный участок (рис. 1) расположен в лесотундровом типе субарктической умеренно-континентальной и континентальной группы ландшафтов, в его границах представлены аккумулятивные морские, озерно-аллювиальные и болотные роды [8]. В растительном покрове преобладают ерниковые и ивняково-ерниковые кустарничково-моховые тундры, встречаются лиственничные редколесья, травяно-мохово-лишайниковые, кустарничково-зеленомошно-лишайниковые тундры и осоково-сфагновые болота [10]. Согласно криолитологическому районированию

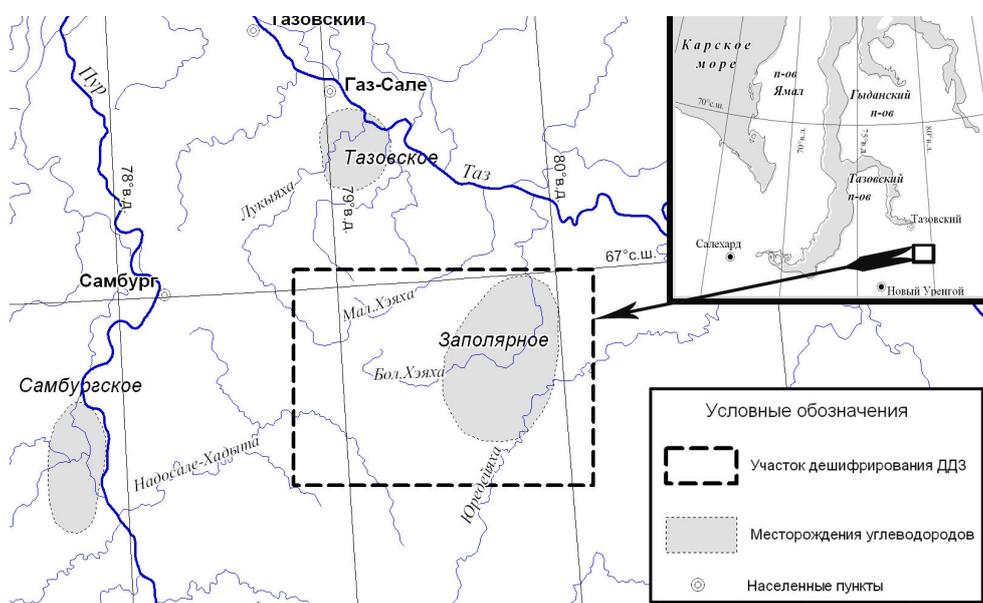


Рис. 1. Схема района исследований

Fig. 1. The research area scheme

Западной Сибири, район исследований расположен в заполярной тундрово-лесотундровой зоне, Устьпуровско-Тазовской области, в которой ММП имеют практически сплошное распространение [4].

Исследование выполнялось дистанционными методами путем дешифрирования мультиспектральных снимков Landsat и MODIS, находящихся в открытом доступе на сайте геологической службы США (USGS). Был выбран прямоугольный участок, ограниченный 66,67 с. ш. / 78,95 в. д. и 66,85 с. ш. / 79, 89 в. д., т. к. на нем расположена большая часть объектов обустройства Заполярного месторождения, а также различные типы ненарушенных геосистем, образующие единый ландшафтно-динамический ряд — от водораздела к речной пойме. Динамика геосистем оценивалась по изменению площади термокарстовых озер, участков,

нарушенных пожарами и участков техногенных нарушений. Для изучения динамики индикаторных компонентов геосистем использовались снимки трех поколений спутников Landsat (Landsat 5, 7, 8), сделанные 1973-2016 гг. без технических погрешностей в период минимальной облачности. При обработке снимков использовался программный пакет ENVI 5.2. Общая тенденция динамики растительности была определена по многолетним трендам изменения значения индекса NDVI (нормализованный относительный индекс растительности), позволяющего оценить фитомассу и ее динамику, в том числе вызванную современными изменениями климата [12]. Определение вегетационных индексов проведено с использованием снимков MODIS за период 2000-2016 гг. Анализ изменений климатических показателей проводился на основании рядов среднегодовых значений температуры воздуха и осадков за последние четыре десятилетия (по данным ближайшей метеостанции пос. Тазовский) [3]. Для оценки взаимосвязи между климатическими показателями и площадью индикаторных компонентов геосистем использовался корреляционный анализ.

Результаты и обсуждение

По данным наблюдений на близлежащей метеостанции пос. Тазовский, в течение последних десятилетий наблюдается устойчивый тренд к росту температуры воздуха. Средняя температура в летний период (июнь — август) повысилась за период 1970-2016 гг. на два градуса, с +8 до +10°C (в среднем на 0,044°C/год). Параметры динамики температурного режима в районе исследований совпадают со средними значениями потепления на севере Западной Сибири, составляющими 0,042-0,046°C/год [9].

Известно, что изменение температурного режима воздуха и грунтов в полярных широтах приводит к усилению вегетации и, соответственно, к росту значения вегетационного индекса, а также вызывает изменение площади термокарстовых озер или их полное исчезновение. В настоящее время в тундровой зоне наблюдается положительная динамика NDVI, связанная с ростом суммы температур вегетационного периода [6, 12]. Важным индикатором изменения геокриологических условий является дренирование озер. Отмечалось, что в Западной Сибири за период 1993-1998 гг. исчезло 1 170 озер [11]. Максимальные темпы дренирования озер в Западной Сибири наблюдаются в южной тундре и лесотундре [2].

Проведенные нами подсчеты значений NDVI и суммы положительных температур за период май — октябрь показали, что между ними существует прямая зависимость — значение коэффициента детерминации $R^2 = 0,73$ (рис. 2). Обращает на себя внимание отсутствие совпадения суммы положительных температур и значений NDVI в 2000-2001 гг., что мы связываем с активным освоением в этот период Заполярного месторождения, когда природные закономерности вегетационной динамики были нарушены вследствие сокращения площади, занимаемой коренной растительностью. В целом за период 2000-2016 гг. не наблюдается тренд к росту NDVI вопреки увеличению суммы положительных температур (рис. 2)

Вместе с тем прослеживается «сдвиг» вегетационного периода во времени. В последние полтора десятилетия теплый период начинается позднее, но длится дольше. Поэтому в мае тенденция изменения NDVI отрицательная, а в сентябре — положительная (рис. 3).

Изменение температурного режима воздуха и грунтов имеет одним их последствий изменение площади термокарстовых озер. Результаты обработки

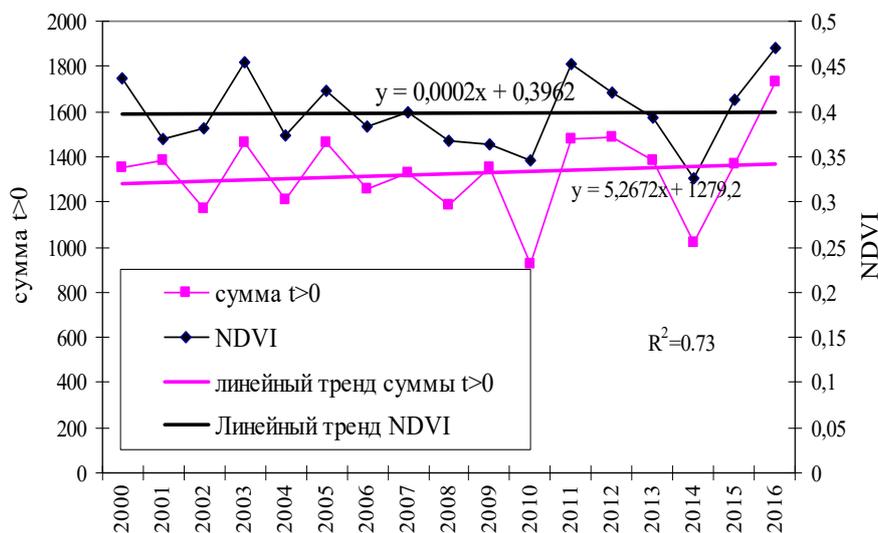


Рис. 2. Динамика NDVI и суммы положительных температур (2000-2016 гг.)

Fig. 2. The NDVI dynamics and the sum of temperatures above zero (2000-2016)

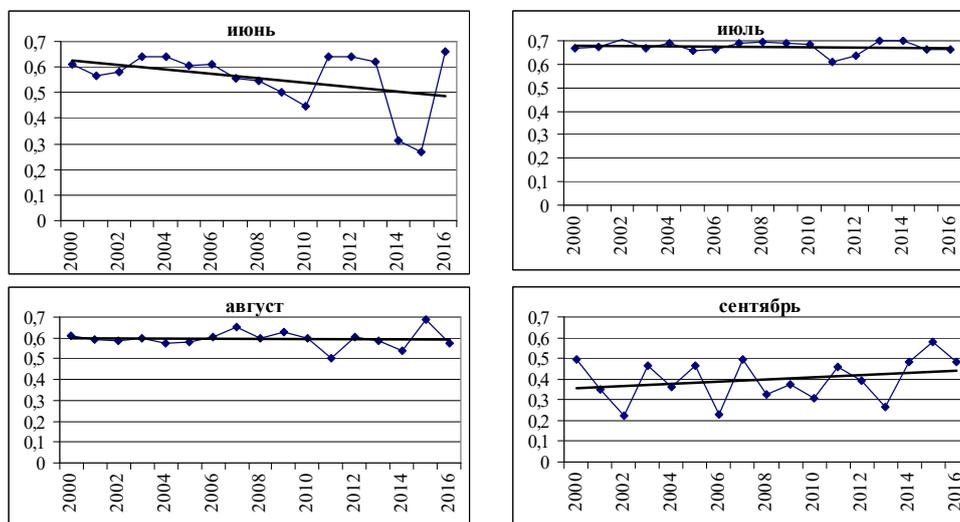


Рис. 3. Изменение NDVI в разные месяцы вегетационного периода

Fig. 3. NDVI changes in different months of the growing season

снимков с 1973 по 2016 г. выявили, что площадь озер на Заполярном месторождении увеличилась вопреки общей для лесотундры Западной Сибири тенденции к дренированию и сокращению площади водной поверхности. Если в 1973 г. озера занимали 2,5% территории участка, то в 2016 г. — 3,5% (рис. 4).

Сопоставление с данными метеостанции Тазовский [3] показало, что общая площадь озер коррелирует с суммой осадков, выпавших с января по июнь в соответствующий год. Статистически значимый коэффициент корреляции между площадью водных объектов и этим климатическим показателем ($r = 0,57$) указывает на существенное влияние природных факторов динамики озер. Следует добавить, что связь между температурой воздуха и динамикой озер не прослеживается.

Однако на площадь озер влияют также и техногенные факторы. Техногенное воздействие на территории Заполярного месторождения началось еще до начала промышленной эксплуатации, на стадии геологоразведочных работ, которые особенно активно проводились в 1990-1998 гг. Именно в этот период произошли основные нарушения. В период с 1990 по 1998 гг. было нарушено 2,5% территории, в последующий период, после начала промышленной добычи газа — еще 2% (рис. 4) Таким образом, преобладают нарушения, произошедшие в период разведки и подготовки к эксплуатации.

Появление новых озер совпадает с периодами строительства кустов скважин и прокладки автодорог. Новые буровые площадки и озера около них появляются на снимках 1998 и 2007 гг., появление этих озер связано с затоплением пес-

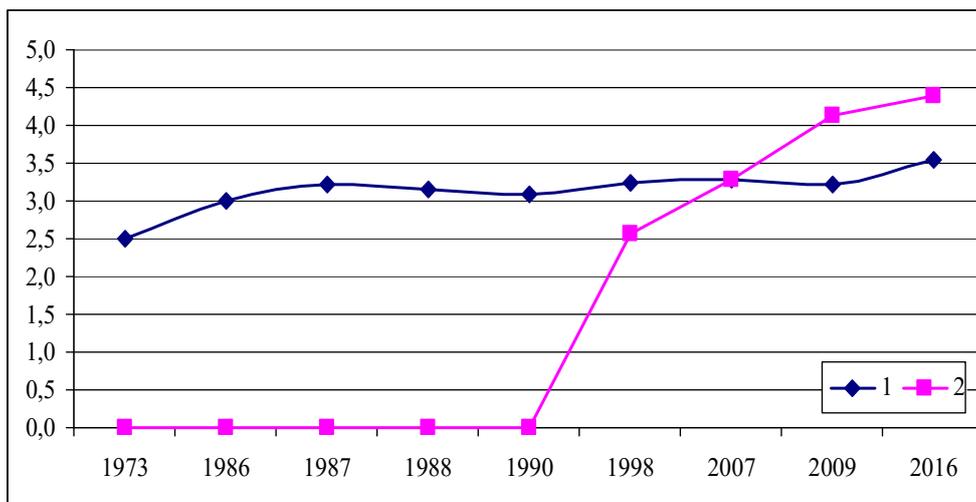


Рис. 4. Площадь пространственных объектов (в % от площади участка), выделенных в ходе дешифрирования снимков:
1 — озера, 2 — участки техногенных нарушений

Fig. 4. The area of spatial objects (% of the total area) allocated during the processing of satellite images:
1 — lake, 2 — areas of technogenic violations

чаных карьеров, расположенных вблизи реки. Площадь водной поверхности увеличивается также вследствие подтопления придорожных полос. В целом площадь озер на обследованном участке увеличивается, процессы дренирования и исчезновения термокарстовых озер проявляются слабо.

Предшествующие исследования на севере Западной Сибири показали, что основной причиной сокращения площади термокарстовых озер является усиление почвенного дренажа при оттаивании мерзлоты, вызванной повышением температуры почвы [5]. Т. к. на рассматриваемом участке наблюдается противоположная тенденция — рост площади водной поверхности, процесс дренирования проявляется слабо. Это связано с особенностями геокриологических условий и низким эрозионным потенциалом. Незначительное проявление термоэрозионных и иных геокриологических процессов, вероятно, вызвано невысоким влагосодержанием грунтов легкого механического состава, их низкой льдистостью.

Проведенные подсчеты показали, что важным фактором изменения растительного покрова являются пожары на торфяниках: 14% площади на обследованном участке занимают растительные сообщества, представляющие собой различные стадии послепожарных сукцессий. Отдельные участки послепожарных сукцессий, расположенные в пределах лишайниковых тундр, просматриваются на снимках за весь период наблюдений, начиная с 1973 г., что свидетельствует о крайне медленном восстановлении лишайниковых сообществ, занимающем не менее 45 лет. На участках пожаров формируются ерниковые кустарничково-моховые тундры и редколесья. Скорость восстановления исходных сообществ зависит в том числе от площади пожара — крупные участки пожарищ площадью в несколько тыс. га продолжают оставаться заметными на снимках весь период наблюдений, в то время как на участках локальных пожаров восстановление занимает 20-30 лет.

Заключение

Проведенный анализ динамики ландшафтов Заполярного месторождения позволил сделать следующие выводы:

- 1) зафиксировано увеличение площади озер, что связано с ростом суммы осадков, заполнении водой карьеров минерального грунта, подтоплением придорожных полос;
- 2) при существовании тренда к росту суммы температур вегетационного периода не наблюдается тренд положительной динамики вегетационного индекса, что связано с техногенными нарушениями, вызывающими снижение NDVI, с периодическими пожарами, а также с ростом площади термокарстовых озер;
- 3) происходит сдвиг вегетационного периода на более поздние календарные даты, в мае отмечена тенденция к снижению, в сентябре — к увеличению значений NDVI;

- 4) важным фактором динамики ландшафтов являются торфяные пожары — послепожарное восстановление растительности лишайниковых тундр занимает период не менее 45 лет, на горях на месте тундр и редколесий с преобладанием лишайников формируются устойчивые ерниковые тундры и редколесья с преобладанием мхов и кустарничков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антропогенные изменения экосистем Западно-Сибирской газоносной провинции / отв. ред. Н. Г. Москаленко. М.: Институт криосферы Земли, 2006. 359 с.
2. Брыксина Н. А. Ландшафтно-космический анализ изменения площади и количества термокарстовых озер в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири / Н. А. Брыксина, С. Н. Кирпотин // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012. № 4 (20). С. 185-194.
3. Булыгина О. Н. Описание массива данных месячных сумм осадков на станциях России / О. Н. Булыгина, В. Н. Разуваев, Н. Н. Коршунова, Н. В. Швец // Российский гидрометеорологический портал: ВНИИГМИ-МЦД / О. Н. Булыгина, В. Н. Разуваев, Л. Т. Трофименко, Н. В. Швец. URL: <http://meteo.ru/data/158-total-precipitation#> (дата обращения: 25.06.2018).
4. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э. Д. Ершова. М.: Недра, 1989. 454 с.
5. Днепровская В. П. Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты Западной Сибири на основе космических снимков / В. П. Днепровская, Н. А. Брыксина, Ю. М. Полищук // Исследование Земли из космоса. 2009. № 4. С. 88-96.
6. Жильцова Е. Л. Динамика растительности северной Евразии: анализ современных наблюдений и прогноз на 21 век / Е. Л. Жильцова, О. А. Анисимов // АРКТИКА. XXI век. Естественные науки. 2015. № 2 (3). С. 48-59
7. Заполярное месторождение. URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/zm/> (дата обращения: 25.06.2018).
8. Ландшафтная карта СССР масштаба 1 : 2 500 000 // Производственно-геологическое объединение по проведению специальных гидрогеологических и инженерно-геологических работ (Гидроспецгеология) / отв. ред. И. С. Гудилин. М., 1980.
9. Павлов А. В. Динамика криолитозоны России в условиях современных изменений климата XX-XXI веков / А. В. Павлов, Г. В. Малкова // Известия РАН. Серия «Географическая». 2010. № 5. С. 44-51.
10. Растительный покров Западно-Сибирской равнины / под ред. В. В. Воробьева, А. В. Белова. Новосибирск: Наука, 1985. 251 с.
11. Smith L. C. Disappearing Arctic Lakes / L. C. Smith, Y. Sheng, G. M. MacDonald et al. // Science. 2005. Vol. 308. No 5727. P. 1429. DOI: 10.1126/science.1108142
12. Walker D. A. Environment, Vegetation and Greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic Transects / D. A. Walker, H. E. Epstein, M. K. Reynolds et al. // Environmental Research Letters. 2012. № 7. 17 pp. DOI: 10.1088/1748-9326/7/1/015504

Dmitrii V. MOSKOVCHENKO¹

Mikhail D. MOSKOVCHENKO²

UDC 551.586

**ASSESSMENT OF MODERN LANDSCAPE DYNAMICS
OF THE ZAPOLYARNOE GAS FIELD USING SATELLITE DATA***

¹ Dr. Sci. (Geogr.), Head of Environmental Geoscience Department,
Institute of Problems of Development of the North, Tyumen Scientific Center SB RAS;
Leading Researcher, International Institute of Cryology and Cryosophy,
University of Tyumen
moskovchenko1965@gmail.com

² Undergraduate Student, Earth Sciences Institute,
University of Tyumen
moskovchenkomd@yandex.ru

Abstract

The article analyzes the dynamics of landscapes of the polar deposit located in the forest-tundra zone of Western Siberia. On the basis of data obtained by decoding Landsat satellite images, changes in various indicators (lake area, areas of man-caused disturbances, and areas of post-fire successions) were recorded. Using MODIS satellite data, the NDVI values in 2000-2016 were calculated. Using correlation analysis, the authors have evaluated the factors influencing the processes of landscape dynamics. They have recorded the increase in the area of lakes, which can be explained due to the increase in precipitation and filling of mineral soil quarries with water. There is no trend towards an increase in NDVI values, although there is a gradual increase in the positive temperatures. The lack of changes is due to periodic fires and technogenic disturbances, causing a decrease in NDVI, as in

* This work has been performed as a part of the RAS research program in 2018-2020, project no 0371-2018-0034 by the Tyumen Scientific Center, and supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant no 18-45-890002 r_a).

Citation: Moskovchenko D. V., Moskovchenko M. D. 2018. "Assessment of Modern Landscape Dynamics of the Zapolyarnoe Gas Field Using Satellite Data". Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology, vol. 4, no 2, pp. 6-16.
DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-6-16

well as in the growth of thermokarst lakes. There is a shift of the vegetation period to later calendar dates: in May, there is a tendency to decrease, in September — to increase the NDVI values. On the territory of the field, the violations, which occurred during the exploration and preparation for the operation, prevail. In 1990-1998, 2.5% of the territory was violated in the subsequent period, after the start of industrial gas production — another 2%. Peat fires are an important factor in landscape dynamics. Post-fire recovery of lichen tundra vegetation continues at least 45 years. In the burned areas instead of the tundra and woodland with a predominance of lichens, new dwarf birch tundra and woodlands emerge with a predominance of mosses and dwarf shrubs.

Keywords

Western Siberia, permafrost, landscape dynamics, Zapolyarnoye field, satellite images.

DOI: 10.21684/2411-7927-2018-4-2-6-16

REFERENCES

1. Moskalenko N. G. (ed.). 2006. Antropogennyye izmeneniya ekosistem Zapadno-Sibirskoy gazonosnoy provintsii [Anthropogenic Changes in the Ecosystems of the West Siberian Gas Province]. Moscow: Institut kriosfery Zemli.
2. Bryksina N. A., Kirpotin S. N. 2012. “Landshaftno-kosmicheskiy analiz izmeneniya ploshchadi i kolichestva termokarstovykh ozer v zone mnogoletney merzloty Zapadnoy Sibiri” [Landscape-Space Analysis of Changes in the Area and Quantity of Thermokarst Lakes in the Zone of Permafrost in Western Siberia]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya, no 4 (20), pp. 185-194
3. Bulygina O. N., Razuvayev V. N., Korshunova N. N., Shchvets N. V. “Opisaniye massiva dannykh mesyachnykh summ osadkov na stantsiyakh Rossii” [Description of an Array of Monthly Rainfall Data at Russian Stations]. Rossiyskiy gidrometeorologicheskiy portal: VNIIGMI-MTSD. Accessed on 25 June 2018. <http://meteo.ru/data/158-total-pgecipitation#>
4. Yershov E. D. (ed.). 1989. Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir' [Geocryology of the USSR. Western Siberia]. Moscow: Nedra.
5. Dneprovskaya V. P. 2009. “Izucheniye izmeneniy termokarsta v zone preryvistogo rasprostraneniya vechnoy merzloty Zapadnoy Sibiri na osnove kosmicheskikh snimkov” [Study of Changes in Thermokarst in the Zone of Intermittent Propagation of the Permafrost of Western Siberia on the Basis of Space Images]. Issledovaniye Zemli iz kosmosa, no 4, pp. 88-96
6. Zhiltsova Ye. L., Anisimov O. A. 2015. “Dinamika rastitel'nosti severnoy Yevrazii: analiz sovremennykh nablyudeniy i prognoz na 21 vek” [Dynamics of Vegetation in Northern Eurasia: Analysis of Modern Observations and the Forecast for the 21st century] ARKTIKA. XXI vek. Yestestvennyye nauki, no 2 (3), pp. 48-59
7. Zapolyarnoye mestorozhdeniye. [The Zapolyarnoye Field]. Accessed on 25 June 2018. <http://www.gazprom.ru/about/production/projects/deposits/zm/>

8. Gudilin I. S. (ed.). 1980. "Landshaftnaya karta SSSR" [Landscape Map of the USSR]. In: Proizvodstvenno-geologicheskoye ob'yedineniye po provedeniyu spetsial'nykh gidrogeologicheskikh i inzhenerno-geologicheskikh rabot (Gidrospetsgeologiya). Moscow.
9. Pavlov A. V., Malkova G. V. 2010. "Dinamika kriolitozony Rossii v usloviyakh sovremennykh izmeneniy klimata XX-XXI vekov" [Dynamics of the Permafrost Zone of Russia in Conditions of Modern Climate Changes of the 20th-21st Centuries]. Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya, no 5, pp. 44-51.
10. Vorobyev V. V., Belov A. V. (eds.). 1985. Rastitel'nyy pokrov Zapadno-Sibirskoy ravniny [Vegetation Cover of the West Siberian Plain]. Novosibirsk: Nauka.
11. Smith L. C., Sheng Y., MacDonald G. M. et al. 2005. "Disappearing Arctic Lakes". Science, vol. 308, no 5727, p. 1429. DOI: 10.1126/science.1108142
12. Walker D. A., Epstein H. E., Raynolds M. K. et al. 2012. "Environment, Vegetation and Greenness (NDVI) along the North America and Eurasia Arctic Transects". Environmental Research Letters, no 7. DOI: 10.1088/1748-9326/7/1/015504