

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ

DOI 10.15593/2409-5125/2019.02.09

УДК 504.064.37:528.8

**И.Р. Рахматуллина¹, З.З. Рахматуллин²,
Ф.Ф. Исхаков¹, О.В. Серова¹**

¹Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы

²Башкирский государственный аграрный университет

ДИНАМИКА ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS L.*) В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УФИМСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

Заложены семь пробных площадей в лесных культурах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) в различных зонах нефтехимического и транспортного загрязнения г. Уфы. По августовским космоснимкам Landsat среднего пространственного разрешения (30 м) на пробные площади построены временные ряды вегетационного индекса NDVI с 1988 по 2017 год. Средние значения NDVI для сосновых насаждений $0,600 \pm 0,003$. Самые низкие значения вегетационного индекса получены на снимке от 05 августа 2010 года, они свидетельствуют о крайне низкой вегетационной активности, как следствии аномально длительного жаркого и засушливого весенне-летнего периода. Самые высокие значения вегетационного индекса наблюдаются на снимке от 13 августа 2013 года, в период, характеризующийся как теплый, с некоторым превышением количества осадков. Если рассматривать расположение пробных площадей, то самое высокое значение NDVI ($0,613 \pm 0,005$) – в зоне относительного контроля – в юго-западной пригородной зоне города. Самое низкое значение NDVI ($0,585 \pm 0,003$) – в зоне со средним уровнем нефтехимической и высоким уровнем автотранспортной и рекреационной нагрузки. В районе сильного нефтехимического загрязнения, на расстоянии 300 м с наветренной стороны от Уфимского нефтеперерабатывающего завода, значение NDVI относительно высокое и составляет $0,605 \pm 0,008$. Установлено, что в условиях уфимского промышленного центра совместное влияние транспортной, рекреационной нагрузки и возраста лесных культур сосны снижает уровень хлорофилла в них. Факт влияния нефтехимического производства на содержание хлорофилла в сосновых насаждениях не доказан.

Динамика вегетационного индекса NDVI насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) в условиях загрязнения уфимского промышленного центра / И.Р. Рахматуллина, З.З. Рахматуллин, Ф.Ф. Исхаков, О.В. Серова // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2019. – № 2. – С. 106–117. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.09

Rahmatullina I., Rahmatullin Z., Iskhakov F., Serova O. Dynamics of the NDVI Vegetation Index of Pine Forest Plantations (*Pinus sylvestris L.*) under Pollution in Industrial Center of Ufa. PNRPU. Applied Ecology. Urban Development. 2019. No. 2. Pp. 106-117. DOI: 10.15593/2409-5125/2019.02.09

Ключевые слова: лесные культуры, сосна обыкновенная, содержание хлорофилла, нефтехимическое загрязнение, космические снимки Landsat, нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI).

Введение. Отрицательное влияние города проявляется в различных видах деградации природных ландшафтов. Вопросы оздоровления урбанизированной среды, улучшения условий жизни остаются актуальными уже несколько десятилетий.

Древесные растения являются эффективным средством снижения уровня распространения загрязнения территорий. Среди них особая роль принадлежит хвойным насаждениям, способным круглый год выполнять роль фитофильтров за счет многолетней хвои [1].

На территории уфимского промышленного центра (УПЦ) выделяются искусственные насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), успешно произрастающие даже в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий. Так, в окрестностях нефтеперерабатывающих заводов г. Уфы, в условиях постоянной загазованности, наблюдается устойчивый рост и развитие сосны. В таких условиях адаптивный потенциал сосны проявляется изменениями в строении ассимиляционного аппарата и корневых систем [2].

Степень воздействия промышленного загрязнения на интенсивность фотосинтеза сосны обыкновенной неоднозначна [3]. При воздействии невысоких концентраций загрязняющих веществ происходит активация процессов фотосинтеза [4, 5]. Влияние высоких доз промышленных поллютантов, напротив, приводит к деградации фотосинтетических пигментов и снижению интенсивности фотосинтеза [6, 7].

Исследования влияния техногенных загрязнений на фотосинтетические процессы древостоев средствами наземного мониторинга являются дорогостоящими. Поэтому повышается роль дистанционного зондирования Земли [8]. Так, одним из самых распространенных индексов для характеристики количества фотосинтетически активной биомассы по космическим снимкам является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index – нормализованный относительный вегетационный индекс). Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6–0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом высших сосудистых растений, а в инфракрасной области (0,7–1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. Отношение этих показателей друг к другу позволяет оценить объем зеленой биомассы и концентрацию хлорофилла [9, 10].

Цель исследования – выявить динамику вегетационного индекса NDVI для насаждений сосны обыкновенной в условиях уфимского промышленного центра на основе космических снимков среднего пространственного разрешения (30 м).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- построение временных рядов значений NDVI по августовским снимкам за период 1998–2017 годов,
- анализ многолетней динамики вегетационного индекса,
- анализ вегетационного индекса в зависимости от степени загрязнения территории.

Объекты исследований. УПЦ относится к зоне повышенного смешанного загрязнения воздуха с преобладанием углеводородного типа загрязнения. Экологическая обстановка определяется влиянием выбросов нефтеперерабатывающей промышленности, автотранспорта и энергетики. В городе расположено свыше 960 предприятий, выбрасывающих загрязняющие вещества в атмосферу. Преобладающими ветрами являются ветры южных и юго-западных направлений [11].

В зависимости от характера расположения промышленных предприятий, селитебной зоны и направления господствующих ветров территория УПЦ была условно разделена на три зоны (рис. 1). При закладке пробных площадей использовались лесотаксационные описания (материалы лесоустройства) и материалы полевых исследований, проведенных ранее А.Ю. Кулагиным, Г.А. Зайцевым (2006 год) [5].

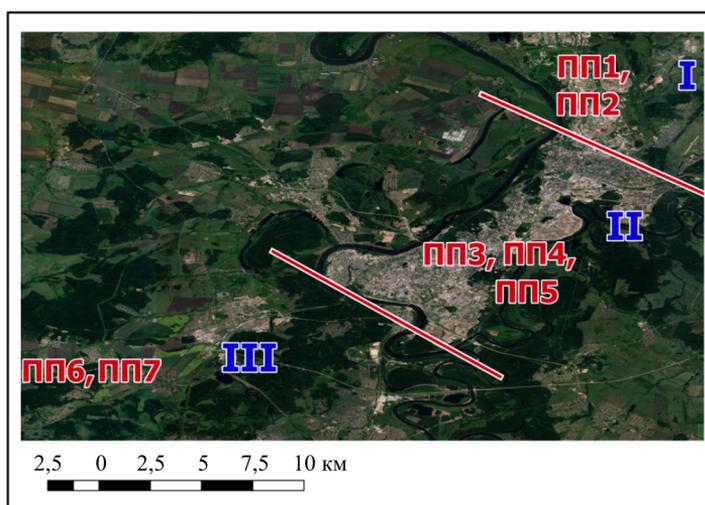


Рис. 1. Карта-схема расположения пробных площадей (ПП1–ПП7) и зон нефтехимического загрязнения (I–III)

1. Зона максимального уровня нефтехимического загрязнения (северная часть города), в которой расположены три нефтеперерабатывающих завода: «Уфанефтехим», «Уфимский НПЗ», «Новойл», являющиеся филиалами ПАО АНК «Башнефть». В средневозрастных лесных культурах сосны обыкновенной с примесью до 10 % твердолиственных пород естественного происхождения заложены две постоянные пробные площади (ПП):

ПП1. Расположена в непосредственной близости от «Башнефть-УНПЗ» (300 м, с западной стороны). На 2006 год лесные культуры имели следующие таксационные показатели: состав – 10 сосна обыкновенная + вяз шершавый + клен остролистный, возраст 45 лет, средний диаметр 12,8 см, высота 12,0 м, полнота 0,8.

ПП2. Расположена в непосредственной близости от «Башнефть-УНПЗ» (450 м, с западной стороны). На 2006 год лесные культуры сосны имели состав: 9 сосна обыкновенная, 1 клен остролистный + вяз шершавый, возраст 45 лет, средний диаметр 12,6 см, высота 12,6 м, полнота 0,9 [5].

2. Зона среднего уровня нефтехимического и повышенного транспортного загрязнения, высокой рекреационной нагрузки (центральная часть города). В последние годы отмечается некоторое снижение выбросов от стационарных источников на фоне возрастания выбросов от автотранспорта. Постоянные пробные площади заложены в чистых высокопродуктивных снытьевых сосняках:

ПП3. Заложена в Лесопарке имени лесоводов Башкирии. Примыкает непосредственно к улице Менделеева, характеризующейся высокой транспортной нагрузкой. Уфимское участковое лесничество Уфимского лесничества, квартал 19, выдел 19. На момент лесоустройства, 2014 год, насаждение имело следующие таксационные показатели: состав – 10 сосна обыкновенная, возраст 75 лет, средний диаметр 28 см, высота 27 м, полнота 0,9, запас 400 м³/га.

ПП4. Расположена в Лесопарке имени лесоводов Башкирии: Уфимское участковое лесничество Уфимского лесничества, квартал 19, выдел 14. На момент лесоустройства насаждение имело следующие таксационные показатели: состав – 10 сосна обыкновенная, возраст 82 года, средний диаметр 32 см, высота 28 м, полнота 0,9, запас 410 м³/га.

ПП5. Расположена в лесопарке имени лесоводов Башкирии: Уфимское участковое лесничество Уфимского лесничества, квартал 19, выдел 35. На момент лесоустройства насаждение имело следующие таксационные показатели: состав – 10 сосна обыкновенная, возраст 77 лет, средний диаметр 32 см, высота 29 м, полнота 0,8, запас 380 м³/га.

3. В качестве фоновой территории подобраны лесохозяйственные выделы, состоящие из лесных насаждений сосны обыкновенной в южных пригородах в аналогичных типах леса, схожих по показателям продуктивности. Эти выделы отнесены к дендрологическому памятнику природы регионального значения «Юматовские опытные лесные культуры» Постановлением СМ БАССР от 17.08.1965 года [12].

ПП6. Заложена в Юматовском участковом лесничестве Уфимского лесничества, квартал 43, выдел 20, состав – 10 сосна обыкновенная + клен остролистный + вяз шершавый, возраст 75 лет, средний диаметр 32 см, высота 30 м, полнота 0,7, запас 340 м³/га.

ПП7. Заложена в Юматовском участковом лесничестве Уфимского лесничества, квартал 43, выдел 22, состав – 10 сосна обыкновенная + вяз шершавый + клен остролистный, возраст 59 лет, средний диаметр 24 см, высота 27 м, полнота 1, запас 440 м³/га [13].

Установление конфигурации и размеров пробных площадей проводили в два этапа. На первом этапе их определяли по расположению лесохозяйственные выделы. На втором – в соответствии с разрешением снимка (30 м) ограничивали пробные площади только пикселями, целиком входящими в лесохозяйственный выдел, т.е. исключали пограничные области.

Программа и методика работ. В исследованиях использованы 14 снимков Landsat (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) за август 1998–2017 годов с облачностью менее 10 %, покрывающие территорию г. Уфы. Обработку снимков проводили с помощью инструментов программного продукта SAGA GIS ver.6.3.0 (System for Automated Geoscientific Analyses, <http://www.saga-gis.org>). Обработка снимка включала в себя радиометрическую калибровку красных (RED) и ближних инфракрасных (NIR) спектральных каналов снимков. Для этого безразмерные нормализованные значения (Digital Number / DN) каждого пикселя пересчитали в отражательную способность (reflectance) с помощью инструмента Top of Atmosphere Reflectance.

Для каждого снимка, используя откалиброванные спектральные каналы, с помощью инструмента Vegetation Index – Slope Based построили индексное изображение – нормализованный разностный вегетационный индекс (NDVI).

Пробные площади в виде векторных слоев были наложены на разновременные изображения NDVI. Используя инструмент Grid Values to Point, в пределах каждой пробной площади создали векторные точечные слои таким образом, чтобы на каждый пиксель индексного изображения NDVI приходилась одна векторная точка, в атрибутах которой содержалось значение вегетационного индекса (рис. 2).

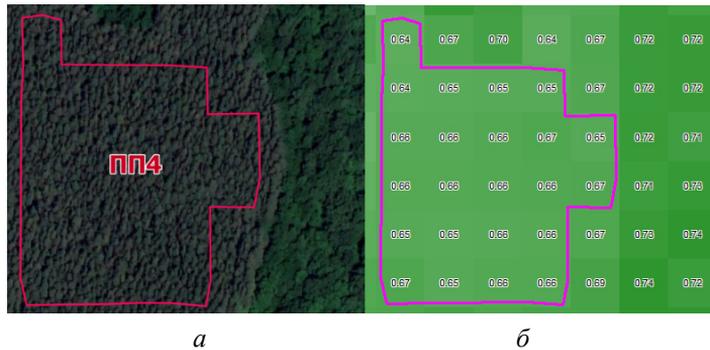


Рис. 2. Пробная площадь № 4: а – общий вид; б – значения NDVI

Всего собраны значения вегетационного индекса по 1022 пикселям каждого снимка. На каждую пробную площадь приходилось от 56 до 322 пикселей. Их обработка и анализ производились в программных продуктах Microsoft Excel и Statistica.

Результаты и их обсуждение. Среднее значение NDVI августовских снимков по годам и пробным площадям составило 0,60. Наблюдается высокая изменчивость вегетационного индекса по годам (рис. 3).

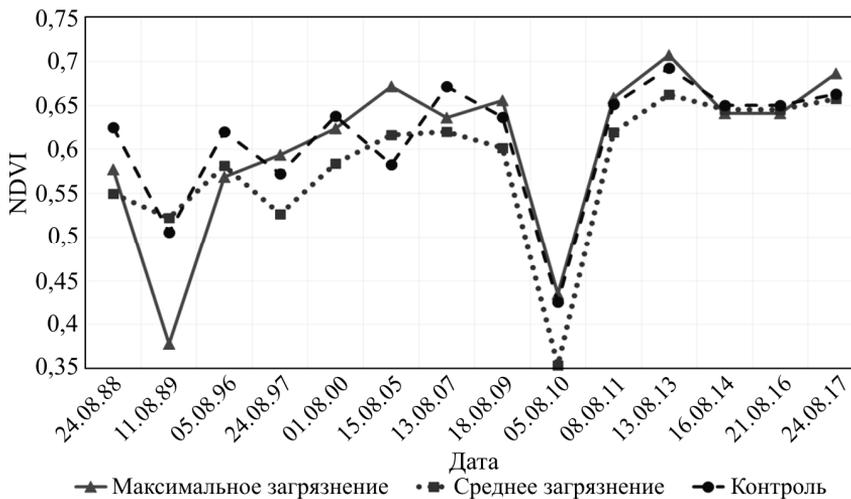


Рис. 3. Варьирование NDVI по зонам и годам (зона максимального загрязнения построена только по ПП1)

Так, самые низкие показатели получены 5 августа 2010 года (таблица), среднее значение по пробным площадям 0,39, минимальное зафиксировано на пробной площади № 4 и составило 0,35. Такие показатели свидетельствуют о крайне низкой для данного сезона вегетационной активности. Лето

2010 года оказалось аномальным и по температуре, и по количеству осадков. Такого длительного жаркого и засушливого периода на территории Республики Башкортостан не было за все время наблюдений. Особенно засушливым оказался вегетационный период – с мая по октябрь, когда наблюдался значительный дефицит осадков. Среднемесячная температура воздуха мая, июня, июля оказалась выше нормы на 3–5 °С, августа – на 8 °С. Многократно перекрывались температурные максимумы [14].

Средние значения NDVI

Пробные площади	По всем снимкам		5 августа 2010 года		13 августа 2013 года	
	Среднее	Стандартная ошибка среднего	Среднее	Стандартная ошибка среднего	Среднее	Стандартная ошибка среднего
ПП1	0,605	0,008	0,435	0,004	0,707	0,002
ПП2	0,627	0,008	0,447	0,004	0,723	0,003
ПП3	0,587	0,007	0,367	0,004	0,663	0,002
ПП4	0,583	0,005	0,346	0,002	0,661	0,002
ПП5	0,586	0,010	0,366	0,005	0,671	0,006
ПП6	0,609	0,005	0,426	0,003	0,689	0,001
ПП7	0,625	0,010	0,424	0,006	0,706	0,003
По всем ПП	0,600	0,003	0,393	0,005	0,684	0,003

Низкие значения NDVI наблюдались и на снимке от 13 августа 1989 года, что также связано с недостатком осадков в июле и начале августа рассматриваемого года.

Самый высокий вегетационный индекс наблюдается на снимке от 13 августа 2013 года, среднее значение по пробным площадям 0,68, максимальное – 0,72 (пробная площадь № 2). Этот год характеризовался как теплый, с некоторым превышением количества осадков. В августе средняя температура воздуха составила 16–19 °С, что на 1–2 °С выше многолетних значений, количество осадков превысило норму в 1,5 раза, особенно дождливой оказалась первая декада месяца [15].

Пробные площади ПП1 и ПП2, заложенные в условиях максимального уровня загрязнения в окрестностях нефтеперерабатывающих заводов, имеют сходный характер динамики NDVI. Однако на ПП2 вегетационный индекс во все наблюдаемые годы имеет повышенные значения, в среднем на 0,02–0,04. В самый засушливый 2010 год эта разница опустилась до 0,01. Высокие значения ПП2 объясняются относительно смешанным составом насаждений, только на этой пробной площади сосна представлена 9 единицами, 1 единицу занимает твердолиственная поро-

да – клен остролистный. Поэтому при характеристике территории, приуроченной к зоне максимального загрязнения, ограничились ПП1.

Среднее значение NDVI на ПП1 – 0,605. Если проследить по годам, то вегетационный индекс с 1988 по 1996 год был самым низким среди всех пробных площадей. Однако с 1997 по 2017 год тенденция противоположная – вегетационный индекс самый высокий. Таким образом, при достижении насаждений сосны 35-летнего возраста наблюдается высокое содержание хлорофилла на этом участке. Факт влияния нефтехимического загрязнения на содержание хлорофилла не установлен, что может быть связано с расположением пробной площади с наветренной стороны по отношению к нефтехимическому заводу.

Пробные площади ПП3, ПП4, ПП5, заложенные в условиях среднего нефтехимического загрязнения и сильного автотранспортного и рекреационного, в Лесопарке имени лесоводов Башкирии, имеют очень близкие значения вегетационного индекса. Разница между ними в отдельные годы (1996, 1997, 2000, 2010 годы) не превышает 0,02 ед., в большинстве случаев эта разница не превышает 0,008 ед. (2005, 2007, 2009, 2011, 2014, 2016 годы).

В целом сосновые насаждения территории лесопарка имеют самые низкие значения вегетационного индекса (0,58–0,59) по сравнению с зоной сильного нефтехимического загрязнения (УНПЗ) и относительного контроля (Юматово). Это объясняется сильной автотранспортной и рекреационной нагрузкой. К лесопарку примыкает оживленная ул. Менделеева с высокой транспортной загруженностью. Лесопарк, располагаясь в центре города, испытывает длительную нагрузку большого количества рекреантов в течение всего года. При этом здесь расположены самые возрастные насаждения сосны – 82 года (ПП4), в которых процессы фотосинтеза имеют тенденцию к ослаблению.

Пробные площади, заложенные к юго-западу от города и характеризующиеся как относительный контроль, имеют более высокие значения вегетационного индекса, но в то же время значительные расхождения между собой. Несмотря на большой размах стандартной ошибки средней и доверительного интервала, ПП7 имеет более высокие значения NDVI (рис. 4). Так, среднее значение NDVI на ПП6 – 0,61, на ПП7 – 0,625. Более высокие значения 7-й пробной площади объясняются более молодым возрастом сосновых культур (59 лет по сравнению с 75 годами) и более высокой полнотой (полнота 1 против 0,7).

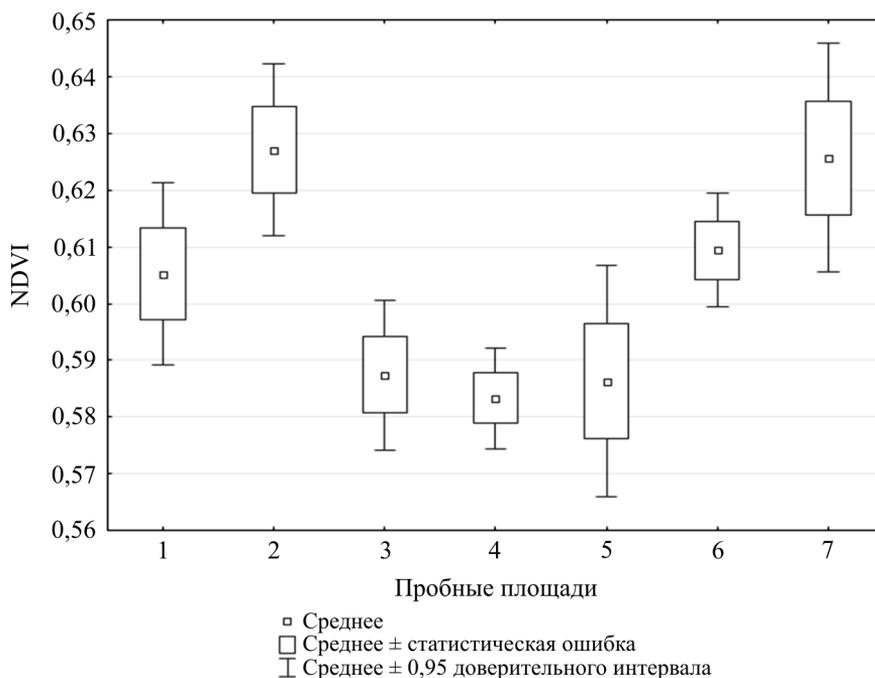


Рис. 4. Статистические показатели NDVI по пробным площадям

Выводы. Таким образом, временные ряды значений NDVI по августовским снимкам Landsat позволяют охарактеризовать количественный отклик сосновых культур на тип загрязнения, оценить их многолетнюю динамику. Отчетливо выделяются летние периоды с низким (2010 год) и высоким (2013 год) значением биомассы и содержанием хлорофилла.

Обнаружено, что в условиях уфимского промышленного центра совместное влияние транспорта, рекреационной нагрузки и возраста лесных культур сосны снижает уровень хлорофилла в них. Однако на основании полученных данных не выявлено, что нефтехимическое загрязнение сказывается на уровне содержания хлорофилла в сосновых насаждениях, находящихся с наветренной стороны к нефтехимическим предприятиям. Это может служить обоснованием при озеленении лесными культурами сосны обыкновенной санитарно-защитных зон нефтехимических предприятий.

Библиографический список

1. Зайцев Г.А., Кулагин А.А., Мельникова Г.А. Особенности формирования ассимиляционного аппарата хвойных в условиях нефтехимического загрязнения (Предуралье, Уфимский промышленный центр) // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – № S (75). – С. 130–132.
2. Зайцев Г.А., Сметанина Е.Э., Кулагин А.Ю. Перспективность использования хвойных в создании санитарно-защитных насаждений в условиях нефтехимического загрязнения // Биологиче-

ская рекультивация нарушенных земель: материалы междунар. совещания. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2003. – С. 104–111.

3. Сметанина Е.Э. Содержание хлорофилла в хвое представителей семейства *Sosnovye* в условиях уфимского промышленного центра. Принципы формирования высокопродуктивных лесов. – Уфа: Изд-во БГАУ, 2000. – С. 94–95.

4. Коршиков И.И. Адаптация растений к условиям техногенно загрязненной среды. – Киев: Наукова думка, 1996. – 238 с.

5. Зайцев Г.А., Кулагин А.Ю. Сосна обыкновенная и нефтехимическое загрязнение: дендро-экологическая характеристика, адаптивный потенциал и использование. – М.: Наука, 2006. – 124 с.

6. Тарханов С.Н., Бирюков С.Ю. Влияние атмосферного загрязнения на фотосинтезирующий аппарат *Pinus sylvestris* L. и *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) karst в северной тайге бассейна Северной Двины // Лесной журнал. – 2014. – № 1 (337). – С. 20–26.

7. Григоренко А.В. Физиологические и морфологические показатели хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях аэротехногенного загрязнения // Вестник КрасГАУ. – 2015. – № 4. – С. 15–19.

8. Сравнительный анализ спутниковых снимков высокого разрешения при дешифрировании древостоев, загрязненных отходами силикатного производства / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, Ю.А. Полевщикова, С.А. Незамаев, Е.Н. Демишева // Вестник Пермского государственного университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 2 (18). – С. 74–90.

9. Price K.P., Pyke D.A., Mendes L. Shrub dieback in a semiarid ecosystems: The integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1992. – № 58 (4). – P. 455–463.

10. Черепанов А.С., Дружинина Е.Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // Геоматика. – 2009. – № 3. – С. 28–32.

11. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды в Республике Башкортостан за 2017 г. – Уфа: Министерство природопользования и экологии, 2018. – 330 с.

12. Лесохозяйственный регламент Уфимского лесничества Республики Башкортостан. – Уфа: Институт стратегических исследований Республики Башкортостан, 2018. – 198 с.

13. Таксационное описание Уфимского лесничества / Рослесинфорг. – Уфа, 2014.

14. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан за 2010 г. / Министерство природопользования и экологии. – Уфа, 2011. – 343 с.

15. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан за 2014 г. / Министерство природопользования и экологии. – Уфа, 2015. – 326 с.

References

1. Zajcev G.A., Kulagin A.A., Mel'nikova G.A. Osobnosti formirovaniya assimilacionnogo apparata hvojnyh v usloviyah neftekhimicheskogo zagryazneniya (Predural'e, Ufimskij promyshlennyj centr) [Features of formation of the assimilation apparatus of conifers in the conditions of petrochemical pollution]. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2007, no. S (75), pp. 130-132.

2. Zajcev G.A., Smetanina E. E.H., Kulagin A.YU. Perspektivnost' ispol'zovaniya hvojnyh v sozdanii sanitarno-zashchitnyh nasazhdenij v usloviyah neftekhimicheskogo zagryazneniya [Prospects for the use of conifers in the creation of sanitary-protective plantings in the conditions of petrochemical pollution]. *Biologicheskaya rekul'tivaciya narushennyh zemel': materialy Mezhdunarodnogo soveshchaniya*. Ekaterinburg: UrO RAN, 2003, pp. 104-111.

3. Smetanina E.E.H. Soderzhanie hlorofilla v hvoe predstavitelej semejstva Sosnovye v usloviyah Ufimskogo promyshlennogo centra [The content of chlorophyll in the coniferous pine family in the conditions of the Ufa industrial center]. *Principy formirovaniya vysokoproduktivnyh lesov*. Ufa: BGAU, 2000, pp. 94-95.

4. Korshikov I.I. Adaptaciya rastenij k usloviyam tekhnogenno zagryaznennoj sredy [Adaptation of plants to the conditions of technogenic polluted environment]. Kiev: Naukova dumka, 1996, 238 p.

5. Zajcev G.A., Kulagin A.Yu. Sosna obyknovennaya i neftekhimicheskoe zagryaznenie: dendroekologicheskaya harakteristika, adaptivnyj potencial i ispol'zovanie [Pine and petrochemical pollution: dendroecological characteristics, adaptive potential and use.]. Moscow: Nauka, 2006, 124 p.

6. Tarhanov S.N., Biryukov S.Yu. Vliyanie atmosfernogo zagryazneniya na fotosinteziruyushchij apparat *Pinus sylvestris* L. i *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) karst v severnoj tajge bassejna Cevernoj Dviny [The impact of atmospheric pollution on photosynthetic apparatus of *Pinus sylvestris* L. and *Picea obovata* Ledeb. × *P. abies* (L.) karst in the Northern taiga of the Northern Dvina basin]. *Lesnoj zhurnal*. 2014, no. 1 (337), pp. 20-26.

7. Grigorenko A.V. Fiziologicheskie i morfologicheskie pokazateli hvoi sosny obyknovЕННОj (*Pinus sylvestris* L.) v usloviyah aehrotekhnogennogo zagryazneniya [Physiological and morphological parameters of pine needles (*Pinus sylvestris* L.) in conditions of aerotechnogenic pollution]. *Vestnik KrasGAU*. 2015, no. 4, pp. 15-19.

8. Kurbanov E.H.A., Vorob'ev O.N., Polevshchikova Yu.A., Nezamaev S.A., Demisheva E.N. Sravnitel'nyj analiz sputnikovyh snimkov vysokogo razresheniya pri deshifirovanii drevostoev, zagryaznennyh othodami silikatnogo proizvodstva [Comparative analysis of satellite images with high resolution for interpretation of forest stands polluted by the waste of silicate production]. *Vestnik PGU. Seriya: Les. EHkologiya. Prirodopol'zovanie*. 2013, no. 2 (18), pp. 74-90.

9. Price K.P., Pyke D.A., Mendes L. Shrub dieback in a semiarid ecosystems: The integration of remote sensing and geographic information systems for detecting vegetation change // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 1992, no. 58(4), pp. 455-463.

10. CHerepanov A.S., Druzhinina E.G. Spektral'nye svoystva rastitel'nosti i vegetacionnye indeksy [Spectral properties of vegetation and vegetation indices]. *Geomatika*. 2009, no. 3, pp. 28-32.

11. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii prirodnyh resursov i okruzhayushchej sredy v Respublike Bashkortostan za 2017 g [State report on the state of natural resources and environment in the Republic of Bashkortostan for 2017]. Ufa: Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ehkologii, 2018, 330 p.

12. Lesohozyajstvennyj reglament Ufimskogo lesnichestva Respubliki Bashkortostan [Forestry regulations of the Ufa forestry of the Republic of Bashkortostan]. Ufa: Institut strategicheskikh issledovaniy Respubliki Bashkortostan, 2018, 198 p.

13. Taksacionnoe opisanie Ufimskogo lesnichestva [Taxonomic description of the Ufa forestry]. Ufa: Roslesinforg, 2014.

14. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii prirodnyh resursov i okruzhayushchej sredy Respubliki Bashkortostan za 2010 g [State report on the state of natural resources and environment in the Republic of Bashkortostan for 2010]. Ufa: Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ehkologii, 2011, 343 p.

15. Gosudarstvennyj doklad o sostoyanii prirodnyh resursov i okruzhayushchej sredy Respubliki Bashkortostan za 2014 g [State report on the state of natural resources and environment in the Republic of Bashkortostan for 2014]. Ufa: Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ehkologii, 2015, 326 p.

Получено 20.03.2019

I. Rahmatullina, Z. Rahmatullin, F. Iskhakov, O. Serova

**DYNAMICS OF THE NDVI VEGETATION INDEX
OF PINE FOREST PLANTATIONS (*PINUS SYLVESTRIS* L.)
UNDER POLLUTION IN INDUSTRIAL CENTER OF UFA**

Seven test areas in the forestry plantations of pine (*Pinus sylvestris* L.) have been selected, located in various zones of petrochemical and transport pollution of the city of Ufa. Time series of NDVI vegetation index on the territories of the test areas based on the Landsat space images from 1988 to 2017 years have been constructed. Average values of NDVI for pine plantations are 0.600 ± 0.003 . The lowest values of the vegetation index are received in the picture of August 05, 2010. It shows very weak vegetation activity because of the very long hot and dry spring-summer

season. The highest values of the vegetation index are received in the picture of August 13, 2013. This period was warm, precipitation was slightly exceeded.

When the location of the sample areas was considered, the highest value of NDVI (0.613 ± 0.005) was detected in the area of relative control – in the South-Western suburban area of the city. The lowest NDVI value (0.585 ± 0.003) was detected in the zone with an average level of petrochemical pollution and high levels of road and recreational load. In the area of heavy petrochemical pollution, at a distance of 300 m from the windward side of the Ufa oil refinery, the NDVI value is relatively high and is 0.605 ± 0.008 . It is established that in the conditions of the Ufa industrial center, the combined influence of transport, recreational load and the age of pine forest cultures reduces the level of chlorophyll in them. The influence of petrochemical production on the chlorophyll content in pine plantations has not been proven.

Keywords: forest plantations, *Pinus sylvestris*, chlorophyll, petrochemical pollution, Landsat satellite images, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Рахматуллина Ирина Римилевна (Уфа, Россия) – канд. биол. наук, доцент кафедры «Экология, география и природопользование», Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы (450008, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а, e-mail: rahmat_irina@mail.ru).

Рахматуллин Загир Забирович (Уфа, Россия) – канд. сельскохозяйств. наук, доцент кафедры «Лесоводство и ландшафтный дизайн», Башкирский государственный аграрный университет (450001, Республика Башкортостан, Уфа, ул. 50-летия Октября, 34, e-mail: zagir1983@mail.ru).

Исхаков Фанис Фаннурович (Уфа, Россия) – канд. биол. наук, доцент кафедры «Экология, география и природопользование», Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы (450008, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а, e-mail: ishff@mail.ru).

Серова Оксана Васильевна (Уфа, Россия) – канд. биол. наук, доцент кафедры «Экология, география и природопользование», Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы (450008, Республика Башкортостан, Уфа, ул. Октябрьской революции, 3а, e-mail: serowa@mail.ru).

Rakhmatullina Irina (Ufa, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor of Ecology, Geography and Nature Management chair, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla (450008, Ufa, October Revolution st., 3a, e-mail: rahmat_irina@mail.ru).

Rakhmatullin Zagir (Ufa, Russian Federation) – Ph.D. in Agricultural Sciences, Associate Professor of Forestry and Landscape design chair, Bashkir State Agrarian University (450001, Ufa, 50-years Otyabrya st., 34, e-mail: zagir1983@mail.ru).

Iskhakov Fanis (Ufa, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor of Ecology, Geography and Nature Management chair, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla (450008, Ufa, October Revolution st., 3a, e-mail: ishff@mail.ru).

Serova Oksana (Ufa, Russian Federation) – Ph.D. in Biological Sciences, Associate Professor of Ecology, Geography and Nature Management chair, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla (450008, Ufa, October Revolution st., 3a, e-mail: serowa@mail.ru).