ТЕПЛОВОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТОВ УРАЛО-ЗАВОЛЖЬЯ В РАЙОНАХ НЕФТЕГАЗОДОБЫЧИ: АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

К.В. Мячина

Институт степи УрО РАН,
РФ, 460000, Оренбург, Пионерская, 11; mavicsen@list.ru

Резюме. Основными источниками теплового воздействия на ландшафты при эксплуатации нефтегазовых месторождений являются факельные установки сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ). По данным официальной статистики, Россия занимает ведущие позиции в мире по объемам сжигания ПНГ. На настоящий момент в регионах нефтегазодобычи продолжает функционировать колоссальное количество факельных установок. В Урало-Заволжском степном регионе, выбранном объектом исследования, производится около 22% от общероссийского объема добычи нефти, что подразумевает большие объёмы утилизируемого ПНГ. Задачами исследования являлись выявление реального количества действующих источников сжигания попутного нефтяного газа и оценка теплового загрязнения степных ландшафтов, оказываемого факелами нефтегазовых месторождений. Для выявления факелов, функционирующих в пределах месторождений степной зоны Урало-Заволжья, использовались снимки спутников Landsat. Показано, что источники открытого огня с высокой точностью выявляются при отображении зимних снимков в сочетании каналов инфракрасного спектра. При изучении сцены Landsat площадью около 37 тыс. км², включающей значительное количество месторождений степной зоны Урало-Заволжья, в границах нефтегазопромыслов выявлено 145 термоточек. На основе тематической обработки тепловых каналов снимков спутника Landsat-8 в специализированном ПО ENVI 5.2, выполненной для снимков вегетационного периода, проведен анализ изменения температуры приповерхностного слоя в радиусе действия факельных установок. Выявлено, что при функционировании газовых факелов температура приповерхностного слоя может увеличиваться более чем на 9 градусов в радиусе от 30 до 350 м от точки открытого огня. Подсчитано, что в ходе действия одной факельной установки происходит изменение температуры приповерхностного слоя окружающего степного ландшафта в среднем на площади 0.085 км², что подтверждает формирование так называемых "островков тепла". При сжигании ПНГ с использованием 145-ти факелов возможно изменение температуры на площади более чем в 12 км². Известно, что вокруг горящих факельных установок в пределах радиуса повышенных температур наблюдаются серьёзные превышения концентрации загрязняющих веществ, таких, как CO, NO₂, SO₂ и CH₄. На космических изображениях зимних снимков Landsat можно четко проследить размеры дымового шлейфа,

содержащего подобные загрязнители, и площадь его рассеивания. Подсчитано, что длина дымового газового шлейфа может достигать 11 км и рассеиваться на ширину до 3 км, соответственно, покрывая площадь более чем в 30 км². Таким образом, в процессе сжигания ПНГ происходит как значительное нагревание участков атмосферы, так и её загрязнение на обширных площадях.

Ключевые слова. Степной ландшафт, нефтегазовое месторождение, тепловое воздействие, газовый факел, выявление, снимки Landsat, тематическая обработка, динамика температуры, островки тепла, дымовой шлейф.

THERMAL POLLUTION OF THE URAL-VOLGA STEPPE LANDSCAPES WITHIN THE OIL AND GAS FIELDS: AN ANALYSIS BASED ON SATELLITE DATA

K.V. Myachina

Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences
11, Pionerskaya str., 460000, Orenburg, Russia; mavicsen@list.ru

Abstract. The main sources of thermal influence on landscapes within oil and gas fields are a flares burning of associated gas (AG). According to official statistics, Russia has a leading position in the world in AG flaring. At the moment, a tremendous amount of flares continues to operate in the regions of oil and gas production. In the Ural-Volga steppe region, which was the selected as object of our study, produces around 22% of the total Russian oil production, that implies large volumes of utilized AG. Objectives of the study were to determine the actual number of existing sources of gas flaring and estimation of thermal pollution of the steppe landscapes provided by the flares of oil and gas fields. To identify flares, functioning within the fields of the Ural-Volga steppe zone, used Landsat satellite images. We showed that the open flames with high precision are detected in the display of winter image in the combination of channels of the infrared spectrum. In the study of the Landsat scene area of around 37 000 km², which including a significant number of fields of the Ural-Volga steppe region, within the boundaries of oil and gas field we identified 145 thermal spots. Based on thematic processing of Landsat-8 thermal bands in a specialty software ENVI 5.2, made for pictures of the vegetation period, we analyzed of the temperature changes of the surface layer in the radius of the flares. We found that during the operation of gas flares, the temperature of the surface layer may increase by more than 9 degrees in radius from 30 to 350 m from the point of combustion. We estimated that one flare may cause temperature changes of the surface layer of the surrounding steppe landscape average area of 0.085 km², that confirms the formation of the so-called "heat islands". Utilizing the AG by the 145 flares we may change the temperature rise on an area of over 12 km². It is known that around the burning flares, the radius of high temperatures, there are serious concentration of pollutants such as CO, NO₂, SO₂ and CH₄. On the satellite winter images can clearly see the dimensions of the

smoke plume containing such pollutants and the area of its dispersion. It is estimated that the length of the flue gas plume may reach 11 km away and scattered by the width to 3 km, covering an area of more than 30 km². Thus, there are a significant heating of the atmosphere areas and its pollution in the process of burning gas.

Keywords. A steppe landscape, oil and gas field, thermal effects, gas flare, detection, Landsat image, thematic processing, temperature dynamics, Islands of heat, the smoke plume.

Введение

Тепловое воздействие на степные ландшафты в границах нефтегазовых месторождений не приводит к быстрым очевидным последствиям, фиксируемым визуально, поэтому часто при различных оценках этому виду воздействия не уделяется должного внимания. Однако влияние, оказываемое высокими температурами на компоненты окружающей среды, нельзя недооценивать. Некоторые исследователи утверждают, что "для генерации кинетической энергии и воздействия таким путем на динамический режим атмосферы (на ее циркуляцию) достаточно энергии в 2-3 Вт м⁻² на ограниченной территории, сопоставимой по площади с масштабами синоптических возмущений", что может повлечь изменение циркуляционного режима атмосферы и увеличение повторяемости климатических аномалий (Борисенков, 1982).

Основными источниками термического воздействия на ландшафты при эксплуатации нефтегазовых месторождений являются, в первую очередь, факельные установки сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ). Проблема сжигания попутного газа является одной из важнейших для нашей страны: Россия, по данным официальной статистики, занимает ведущие позиции в мире по объемам сжигания ПНГ (Проблема попутного газа..., 2017). Существующие эколого-экономические проблемы и последствия сжигания попутного газа в России исчерпывающе изложены в Аналитическом докладе Всемирного фонда дикой природы (WWF), подготовленном коллективом авторов - экспертов (Кирюшин и др., 2013), поэтому в данном материале автор не планирует подробно освещать указанные аспекты. Хочется лишь отметить, что, несмотря на то, что упущенная выгода от каждого млрд. м³ попутного нефтяного газа (ПНГ), невовлеченного в сферу переработки, составляет 270 млн. долларов (Алексеева и др., 2015), а также на то, что почти в каждом нефтегазодобывающем регионе, в том числе и на степной территории Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна, в последнее десятилетие приняты решения о погашении газовых факелов (Гаснут факелы..., 2008), на настоящий момент колоссальное количество факельных установок продолжает функционировать. На рис. 1 показаны некоторые точки сжигания ПНГ, действующие на территории степной зоны Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна на период экспедиционных исследований автора (полевых сезонов 2014-2015 гг.).

а)

б)

Рисунок 1. Действующие факельные установки по сжиганию попутного нефтяного газа: вертикальный и горизонтальный факелы Боголюбовского нефтяного месторождения (а); вертикальные факелы Загорского месторождения нефти (б)

В Урало-Заволжском степном регионе, выбранном объектом нашего исследования, производится около 22% от общероссийского объема добычи нефти (Energy Information Administration..., 2017), что подразумевает большие объёмы утилизируемого ПНГ. Объекты нефтегазопромыслов составляют на исследуемой территории около 22% от всех антропогенных источников экологических рисков (Павлейчик, Мячина, 2012). Как правило, официальная статистика по количеству действующих факельных установок, полученная от нефтегазодобывающих компаний, занижена, поэтому одной из проблем анализа термического воздействия является выявление реального количества действующих источников сжигания попутного нефтяного газа, что является одной из задач данной работы. Следующей задачей ставилась оценка теплового загрязнения ландшафтов, оказываемого факелами нефтегазовых месторождений степной зоны.

Методы и материалы

Данные дистанционного зондирования, находящиеся в свободном доступе, позволяют выполнить анализ теплового воздействия техногенных объектов на ландшафты. Для выявления факелов, функционирующих в пределах нефтегазовых месторождений степной зоны Урало-Заволжья, использовались снимки спутников Landsat.

В процессе экспертного анализа изображений Landsat на предмет обнаружения газовых факелов автором установлено, что источники открытого огня с высокой точностью выявляются при отображении зимних снимков в сочетании каналов инфракрасного спектра. Подобное отображение снимков позволяет с высокой точностью выявить местонахождения термоточек. Поскольку исследуются зимние снимки в границах месторождений, с высокой долей уверенности можно предположить, что все выявленные точки являются источниками открытого огня и идентифицируют действующие факельные установки.

В ходе наземных исследований, выполняемых в полевые сезоны 2003-2016 гг., было установлено, что вблизи горящих факелов сжигания ПНГ, особенно наземных горизонтальных установок, отмечается значительное повышение температуры приземного слоя, иногда до такой степени, что затруднительно находиться вблизи источника огня на расстоянии вплоть до 10-15 м. На основе тематической обработки тепловых каналов снимков спутника Landsat-8 с помощью модуля калибровки температурных каналов специализированного ПО ENVI 5.2, выполненной для снимков вегетационного периода, произведен анализ изменения температуры приповерхностного слоя в радиусе действия факельных установок с шагом 30 м (1 пиксель изображения Landsat). Предварительно точки размещения факелов, выбранных в качестве ключевых объектов исследования, были зафиксированы с помощью GPS-навигатора в ходе полевых работ.

Результаты

При изучении сцены Landsat площадью около 37 тыс. км², включающей значительное количество месторождений степной зоны Урало-Заволжья, расположенных в административном отношении на территориях Оренбургской и Самарской областей, в границах нефтегазопромыслов выявлено 145 термоточек (рис. 2). Например, на участке Герасимовского нефтегазоконденсатного месторождения, имеющего размер около 320 км², на дату исследования (21.01.2015 г.) выделено 5 источников открытого огня (рис. 3). Однако в ходе полевых исследований автором обнаружено, что часть факелов на месторождениях эксплуатируется не ежедневно, а с определенной периодичностью. Таким образом, тепловое воздействие в пределах исследуемого участка, скорее всего, не ограничивается выявленными пятью термоточками.

Выявлено, что при функционировании факельных установок температура приповерхностного слоя может увеличиваться более чем на 9 градусов в радиусе от 30 до 350 м от точки открытого огня (рис. 3). Примечательно, что,

по некоторым данным, расстояние, на котором наблюдается изменённая факелом температура, может составлять до 450 м (Ojeh, 2012).

Рисунок 2. Изучаемая сцена Landsat с параметрами р/г 168/23

Месторождения нефти и газа обозначены черным цветом

(Источник - карта ФАН "Роснедра" (Федеральное агентство..., 2017))

Рисунок 3. Действующие факельные установки (в красных кругах) на участке Герасимовского нефтегазоконденсатного месторождения на дату 21.01.2015 г.

В результате простых подсчетов можно вычислить, что в ходе действия одной факельной установки происходит изменение температуры приповерхностного слоя окружающего степного ландшафта в среднем на площади 0.085 км^2 , а при сжигании ПНГ с использованием 145-ти факелов возможно изменение температуры на площади более чем в 12 км^2 .

По некоторым данным, существует значительная зависимость между повышением температуры среды в зоне действия факела и содержанием в воздухе загрязняющих веществ — продуктов сгорания. Известно, что вокруг горящих факельных установок в пределах радиуса повышенных температур наблюдаются серьёзные превышения концентрации загрязняющих веществ, таких, как CO , NO_2 , SO_2 и CH_4 (Ojeh, 2012). На космических изображениях зимних снимков Landsat можно четко проследить размеры дымового шлейфа и площадь его рассеивания (рис. 5).

а)

б)

в)

г)

д)

Рисунок 4. График изменения температуры приповерхностного слоя в радиусе действия факельных установок нефтегазовых месторождений по данным термоканалов Landsat
 а) факела Вахитовского месторождения; б) факела Покровского месторождения; в) факела Первомайского месторождения; г) факела Герасимовского месторождения; д) факела Боголюбовского месторождения. Расстояние между точками измерения температуры 30 м

Рисунок 5. Дымовой шлейф действующей факельной установки Покровского месторождения нефти по состоянию на 21.01.2015 г.

Автором подсчитано, что длина дымового газового шлейфа может достигать 11 км и рассеиваться на ширину до 3 км, соответственно, покрывая площадь более чем в 30 км^2 по любому румбу, в зависимости от направления, скорости ветра и прочих метеорологических условий в момент сжигания сырья.

Дискуссия

Результаты выполненных измерений и подсчетов подтверждают значительные изменения температурного фона приземного слоя атмосферы в степной зоне Урало-Заволжья и формирование так называемых "островков тепла", являющихся результатом функционирования факельных установок нефтегазовых месторождений. Термин "островки тепла" широко используется в мировой науке для характеристики тепловых аномалий, имеющих антропогенное происхождение (Ojeh, 2012). Вполне вероятно, что существование подобных образований на исследуемой территории способно вызвать изменение режима циркуляции атмосферы на локальном уровне, что, в свою очередь, является одной из причин появления и учащения региональных климатических аномалий (Мартазинова, Тимофеев, 2008).

Между тем, на фоне высоких объёмов добычи нефти, добыча попутного нефтяного газа выросла в период январь-сентябрь 2016 г. на 6.5% по сравнению с аналогичным периодом 2015 г. (О промышленном производстве..., 2017). Несмотря на Постановление Правительства Российской Федерации № 7 от 8.01.2009 г. "О мерах по стимулированию сокращения загрязнения атмосферного воздуха продуктами сжигания попутного нефтяного газа на факельных установках", в котором заложено требование по доведению уровня утилизации попутного газа до 95%, на настоящий момент колоссальное количество факельных установок продолжает функционировать, а нефтегазодобывающими компаниями делаются попытки включить в пакет антикризисных

мер вопрос о снижении на период кризиса (до 2018 года) коэффициентов расчета штрафов за сверхнормативное сжигание ПНГ (Аналитический доклад..., 2015). При этом, сжигание попутного нефтяного газа на промышленных факелах является наименее рациональным способом его использования: существуют различные варианты переработки с получением ценных продуктов (Кирюшин и др., 2013).

Помимо потери ценного ресурса в процессе сжигания попутного нефтяного газа известно, что существуют серьезные проблемы со здоровьем населения в нефтедобывающих регионах в связи с поступлением в окружающую среду продуктов неполного сгорания ПНГ, например, таких, как летучие органические соединения и полициклические ароматические углеводороды (Kindzierski, 1999; Gobo et al., 2009). Подобные загрязнители, как показано выше, могут распространяться на значительные территории. Кроме прямого воздействия на живые организмы через дыхательную систему продукты сгорания накапливаются, в том числе, в сельскохозяйственных насаждениях (Dung et al., 2008), часто соседствующих с нефтегазовыми промыслами в степной зоне, а также вносят значительный вклад в развитие парникового эффекта.

Поскольку общественный контроль за утилизацией попутного нефтяного газа в России отсутствует, остается надеяться только на сознательность руководителей нефтегазодобывающих компаний и непредвзятое добросовестное исполнение обязанностей государственными экологическими контрольно-надзорными органами. Что касается научного аспекта проблемы — необходимо помнить, что изучение уровней и вариантов трансформации природных комплексов в районах с развитой сетью нефтегазопромыслов является необходимым условием в решении экологических проблем нефтегазоносных регионов.

Список литературы

Алексеева М. Н., Перемитина Т. О., Яценко И. Г. 2015. Методика выявления и картографирования высокотемпературных участков нефтедобывающих территорий Западной Сибири на основе спутниковых данных. — Геоинформатика, № 3, с. 2-6.

Аналитический доклад по проблеме рационального использования попутного нефтяного газа в России. 2015. — Публикация Всемирного фонда дикой природы (WWF). — Электронный ресурс. URL: <http://new.wwf.ru/resources/publications/booklets/analiticheskiiy-doklad-po-probleme-ratsionalnogo-ispolzovaniya-poputnogo-neftyanogo-gaza-v-rossii/> (дата обращения 25 апреля 2017).

Борисенков Е.П. 1982. Климат и деятельность человека. — М., Наука, 138 с.

Гаснут факелы на Оренбургской земле. 2008. — Независимая газета: Экономика. 17.04.2008. — Электронный ресурс. URL: http://www.ng.ru/economics/2008-04-17/5_fakely.html (дата обращения 25 апреля 2017).

Кирюшин П.А., Книжников А.Ю., Кочи К.В., Пузанова Т.А., Уваров С.А. 2013. Попутный нефтяной газ в России: «Сжигать нельзя, перерабатывать!». —

Аналитический доклад об экономических и экологических издержках сжигания попутного нефтяного газа в России. – М., Всемирный фонд дикой природы (WWF), 88 с.

Мартазинова В.Ф., Тимофеев В.Е. 2008. Современное состояние атмосферной циркуляции воздуха в северном и южном полушарии и региональные климатические особенности в атлантико-европейском секторе и районе антарктического полуострова. – Проблемы Арктики и Антарктики, №. 3, с. 80.

О промышленном производстве в январе-сентябре 2016 г. 2017. – Федеральная служба государственной статистики. – Электронный ресурс. URL: http://www.gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/209.htm (дата обращения 25 апреля 2017).

Павлейчик В.М., Мячина К.В. 2012. Современные изменения природной среды и экологические риски в степных регионах Заволжья и Урала. – Проблемы геоэкологии и степеведения. Развитие научной школы в Институте степи. – Оренбург, УрО РАН, т. 3, с. 33-40.

Проблема попутного газа. 2017. – Публикация Всемирного фонда дикой природы (WWF). – Электронный ресурс. URL: <http://new.wwf.ru/what-we-do/green-economy/the-problem-of-associated-gas/> (дата обращения 25 апреля 2017).

Федеральное агентство по недропользованию "Роснедра": единое окно доступа к информационным ресурсам. 2016. – Электронный ресурс: <https://sobr.geosys.ru/?ctrl=GisSOBR> (17.10.2016 г.) (дата обращения 25 апреля 2017).

Dung E.J., Bombom L.S., Agusomu T.D. 2008. The effects of gas flaring on crops in the Niger Delta, Nigeria. – GeoJournal, vol. 73, No. 4, pp. 297-305.

Energy Information Administration. 2017. – Available at: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=RUS> (accessed 25 April 2017).

Gobo A.E., Richard G., Ubong I.U. 2009. Health impact of gas flares on Igwuruta/Umuechem Communities in Rivers State. – Journal of Applied Sciences and Environmental Management, vol. 13, No. 3, pp. 27-33.

Kindzierski W.B. 1999. Importance of human environmental exposure to hazardous air pollutants from gas flares. – Environmental Reviews, vol. 8, No. 1, pp. 41-62.

Ojeh V.N. 2012. Sustainable development and gas flaring activities: a case study of Ebodei area of Ukwuani LGA, Delta State, Nigeria. – Resources and Environment, vol. 2, No. 4, pp. 169-174.

References

Alekseeva M.N., Peremitina T.O., Jashhenko I.G. 2015. Metodika vyjavlenija i kartografirovanija vysokotemperaturnyh uchastkov neftedobyvajushhih territorij Zapadnoj Mibiri na osnove sputnikovyh dannyh [Methods of identification and mapping of high temperature sections in oil-producing areas of the Western Siberi based on satellite data]. *Geoinformatika – Geoinformatics*, no. 3, pp. 2-6.

Analiticheskij doklad po probleme racional'nogo ispol'zovanija poputnogo neftjanogo gaza v Rossii [Analytical report on the problem of rational use of associated petroleum gas in Russia]. 2015. *Publikacija Vsemirnogo fonda dikoj prirody (WWF)* [The publication of the World Wildlife Fund (WWF)]. Available at: <http://new.wwf.ru/resources/publications/booklets/analiticheskij-doklad-po-probleme-ratsionalnogo-ispolzovaniya-poputnogo-neftyanogo-gaza-v-rossii>.

Gasnut fakely na Orenburgskoj zemle [Extinguish the torches in the Orenburg region]. 2008. *Nezavisimaja gazeta: Jekonomika*. 17.04.2008. Available at: http://www.ng.ru/economics/2008-04-17/5_fakely.html

Kirjushin P.A., Knizhnikov A.Ju., Kochi K.V., Puzanova T.A., Uvarov S.A. 2013. Poputnyj neftjanoy gaz v Rossii: «Szhigat' nel'zja, pererabatyvat'!» [Associated petroleum gas in Russia: "cannot Burn, recycle!"]. *Analiticheskij doklad ob jekonomicheskikh i jekologicheskikh izderzhkah szhiganiya poputnogo neftjanogo gaza v Rossii* [Analytical report on the economic and environmental costs of associated petroleum gas combustion in Russia]. Moscow, World Wildlife Fund (WWF), 88 p.

Martazinova V.F., Timofeev V.E. 2008. Sovremennoe sostojanie atmosfernoj cirkuljacii vozduha v severnom i juzhnom polusharii i regional'nye klimaticheskie osobennosti v atlantiko-evropejskom sektore i rajone antarkticheskogo poluostrova [The modern condition of atmospheric air circulation in the Northern and southern hemisphere and regional climate features in the Atlantic-European sector, the area of the Antarctic Peninsula]. *Problemy Arktiki i Antarktiki – Problems of the Arctic and Antarctic*, no. 3, p. 80.

O promyshlennom proizvodstve v janvare-sentjabre 2016 g. [Industrial production in January-September, 2016]. 2017. *Federal'naja sluzhba gosudarstvennoj statistiki* [Federal Service of State Statistics]. Available at: http://www.gks.ru/bgd/free/B04_03/IssWWW.exe/Stg/d01/209.htm.

Pavlejchik V.M., Mjachina K.V. 2012. Sovremennye izmenenija prirodnoj sredy i jekologicheskie riski v stepnyh regionah Zavolzh'ja i Urala [Contemporary changes of natural environment and ecological risks in steppe regions Zavolzhja and Ural]. *Problemy geojekologii i stepevedenija. Razvitie nauchnoj shkoly v Institute stepi UrO RAN* [Problems of geoecology and stupidity. The development of a scientific school in the Institute of the steppe]. Orenburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., vol. 3, pp. 33-40.

Problema poputnogo gaza [The problem of associated gas]. 2017. *Publikacija Vsemirnogo fonda dikoj prirody (WWF)*. [The publication of the World Wildlife Fund (WWF)]. Available at: <http://new.wwf.ru/what-we-do/green-economy/the-problem-of-associated-gas>.

Federal'noe agentstvo po nedropol'zovanijaju "Rosnedra": edinoe okno dostupa k informacionnym resursam [Federal Agency for Subsoil Use Rosnedra: a single window for access to information resources]. Available at: <https://sobr.geosys.ru/?ctrl=GisSOBR> (17.10.2016).

Dung E.J., Bombom L.S., Agusomu T.D. 2008. The effects of gas flaring on crops in the Niger Delta, Nigeria. – GeoJournal, vol. 73, No. 4, pp. 297-305.

Energy Information Administration. 2017. – Available at: <https://www.eia.gov/beta/international/analysis.cfm?iso=RUS> (accessed 25 April 2017).

Gobo A.E., Richard G., Ubong I.U. 2009. Health impact of gas flares on Igwuruta/Umuechem Communities in Rivers State. – Journal of Applied Sciences and Environmental Management, vol. 13, No. 3, pp. 27-33.

Kindzierski W.B. 1999. Importance of human environmental exposure to hazardous air pollutants from gas flares. – Environmental Reviews, vol. 8, No. 1, pp. 41-62.

Ojeh V.N. 2012. Sustainable development and gas flaring activities: a case study of Ebedei area of Ukwuani LGA, Delta State, Nigeria. – Resources and Environment, vol. 2, No. 4, pp. 169-174.

Статья поступила в редакцию: 26.04.2017 г.

После переработки: 25.05.2017 г.