СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ. АГРОНОМИЯ

DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-19

THE MAPPING OF INVASIVE FOREST POLLUTION IN THE VOLGA-AKHTUBA FLOODPLAIN USING GIS TECHNOLOGIES AND RESULTS OF REMOTE SENSING

V.G. Yuferev¹, N.N. Taranov²

¹*Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences», Volgograd*

²*Federal State Budget Educational Institution «Volgograd Socio-Pedagogical University»*

Received 21.05.2020

Submitted 10.08.2020

The paper was carried out with the financial support of the RFBR and the Volgograd region in the framework of the scientific project No. 19-416-343003\19 «Mapping and assessment of biological pollution of forests of the Volga-Akhtuba floodplain (within the Volgograd region) using remote sensing and GIS technologies»

Summary

The article presents the results of the assessment of biological pollution of the Vol-Akhtuba floodplain. For the first time, phenological indication has been used to decode invasive species in the Volga-Akhtuba floodplain. As a result of the study, a bank was created from more than 350 photo-measuring points of Pencilvan ash, which made it possible to identify more than 1,500 ranges of this invasive species, with a total area of more than 7,100 hectares.

Abstract

Introduction. Biological invasions are one of the essential factors for a person to change natural communities. The issues of changing natural ecosystems are so widespread that the ongoing changes are considered as one of the main problems in modern ecology. The seriousness of biological pollution is that invasions displace natural communities, resulting in a loss of natural biodiversity, which can lead to serious environmental consequences. **Object.** One of the types of invasions on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain is Pencilvan ash (*Fraxinus pennsylvanica*). In terms of the scale and speed of expansion of the invasion, this species now obviously prevails over all other alien species. Ash-tree with equal ease masters both disturbed habitats and territories with natural communities. The introduction of ash into coastal willows (*Salix alba*), sedge forests (*Populus nigra*), oak forests at relatively low elevations, raw sedge meadows (*Carex acuta*), medium-sized crustaceous (*Bromopsis inermis*) meadows and other floodplain communities throughout the Volga-Akhtuba floodplain. Ash is characterized by the following properties: high viability; environmental plasticity; ease of distribution of seeds with the help of both wind and water; high germination and abundant germination. Ash is able to occupy both areas with disturbed vegetation cover, and closed grassy and woody communities. The survival rate of ash seedlings is very high, which leads to the crowding out of native species of woody and herbaceous plants and the formation of almost pure impenetrable thickets. The speed of distribution of this invasive species requires effective monitoring and compilation of geocoded and attributive maps of the distribution of ranges of Pennsylvania ash. **Materials and methods.** The fulfillment of the task by means of remote sensing and geographic information technologies includes the following stages of work: field photo-calibration, processing of satellite images of a certain period of photographing, research of test areas with analysis of archived images and identification of spatio-temporal changes in the ranges of invasions, cameral cartographic and aerospace assessment of forest stands, mapping ranges of invasive tree species, development of photo standards for invasive tree species for further interpolation ns in the study area. **Results and conclusions.** As a result of the processing of aerospace information, plots for field stand-ardization were allocated and a bank was created from more than 350 photo-measuring points for Pencilvan ash. The habitats of the Pennsylvania ash tree were estimated in the course of ground-based studies on photo-et alization, and during the work, the data were geocoded and referenced using a GPS receiver. The processing of the results of the study showed that in the territory of the natural park there are more than 1,500 areas of Pencilvan ash (*Fraxinus pennsylvanica*) With a total area of more than 7,100 ha. The presence of

invasive vegetation photo standards, observation of the phenological state, including the results of autumn aerospace studies of the Volga-Akhtuba floodplain, can maximize the accuracy and reliability of information, as well as the ability to determine the areas occupied by invasive species, which contributes to the use of precise coordinate measures to combat plants with “transformers”.

Key words: *invasive pollution, phenological phase, forest stand, invasion, aerospace image, histogram, pixel, mapping, analysis, estimation, natural park, Volga-Akhtuba floodplain.*

Citation. Yuferev V.G., Taranov N.N. The mapping of invasive forest pollution in the Volga-Akhtuba floodplain using GIS technologies and results of remote sensing. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2020. 3(59). 189-198 (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-19.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 528.7:630*273:502.13(470.45)

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ИНВАЗИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛЕСОВ ВОЛГО-АХТУБИНСКОЙ ПОЙМЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ И РЕЗУЛЬТАТОВ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

В. Г. Юферев¹, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник
Н. Н. Таранов², кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», г. Волгоград

²ФГБОУ «Волгоградский социально-педагогический университет»

Дата поступления в редакцию 21.05.2020

Дата принятия к печати 10.08.2020

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Волгоградской области в рамках
научного проекта № 19-416-343003\19. "Картографирование и оценка биологического за-
грязнения лесов Волго-Ахтубинской поймы (в границах Волгоградской области) средства-
ми ДЗЗ и ГИС технологий "**

Актуальность. Биологические инвазии – один из существенных факторов изменения человеком естественных сообществ. Вопросы изменения естественных экосистем настолько масштабны, что происходящие изменения рассматриваются как одна из главных проблем в современной экологии. Серьезность биологического загрязнения заключается в том, что инвазии вытесняют естественные сообщества, в результате чего происходит потеря естественного биоразнообразия, что может привести к серьезным экологическим последствиям. **Объект.** Одним из видов инвазий на территории Волго-Ахтубинской поймы является ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica*). По масштабам и скорости расширения инвазии этот вид сейчас, очевидно, преобладает над всеми остальными чужеродными видами. Ясень с одинаковой легкостью осваивает как нарушенные местообитания, так и территории с естественными сообществами. Отмечено внедрение ясеня в прибрежные ивняки (*Salix alba*), осокорники (*Populus nigra*), дубравы на относительно низких высотных отметках, сырые осоковые луга (*Carex acuta*), кострцовые (*Bromopsis inermis*) луга среднего уровня и другие пойменные сообщества по всей территории Волго-Ахтубинской поймы. Ясень характеризуется следующими свойствами: высокая жизнеспособность; экологическая пластичность; легкость распространения семян как с помощью ветра, так и течением воды; высокой всхожестью и обильным прорастанием. Ясень способен занимать как участки с нарушенным растительным покровом, так и сомкнутые травянистые и древесные сообщества. Выживаемость семян ясеня очень высокая, что приводит к вытеснению аборигенных видов древесных и травянистых растений и образованию почти чистых непроходимых зарослей. Скорость распространения этого инвазивного вида требует эффективного мониторинга и составления геокодированных и атрибутивных карт распространения ареалов ясеня пенсильванского. **Материалы и методы.** Выполнение поставленной задачи средствами ДЗЗ и геоинформационных технологий включает в себя следующие этапы

работ: полевое фотоэталонирование, обработку космоснимков определенного периода фотографирования, исследование тестовых участков с анализом архивных снимков и выявление пространственно-временных изменений ареалов инвазий, камеральную картографо-аэрокосмическую оценку лесных насаждений, составление картосхем ареалов инвазивных древесных пород, разработку фотоэталонов инвазивных древесных пород для дальнейшей интерполяции на исследуемую территорию. **Результаты и выводы.** В результате обработки аэрокосмической информации были выделены участки для полевого эталонирования и создан банк из более чем 350 точек фотоэталонирования ясеня пенсильванского. Ареалы произрастания ясеня пенсильванского были оценены в ходе наземных исследований по фотоэталонированию, а также при проведении работ было произведено геокодирование и привязка полученных данных при помощи GPS – приемника. Обработка результатов исследования показала, что на территории природного парка находятся более 1500 ареалов ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*) общей площадью более 7100 га. Использование фотоэталонов растительных инвазий, мониторинг фенологических изменений, результаты осенних аэрокосмических исследований территории Волго-Ахтубинской поймы позволяют максимально повысить точность и достоверность информации, а также возможность определения площадей, занятых инвазивными видами, что способствует применению точных координатных мер по борьбе с растениями «трансформерами».

Ключевые слова: инвазивное загрязнение лесов, древостои, растительные инвазии, инвазивные древесные породы, аэрокосмоснимки, гистограммы, картографирование, природные парки, Волго-Ахтубинская пойма.

Цитирование. Юферев В. Г., Таранов Н. Н. Картографирование инвазивного загрязнения лесов Волго-Ахтубинской поймы с использованием ГИС технологий и результатов дистанционного зондирования. *Известия НВ АУК*. 2020. 3(59). 189-198. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-03-19.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Одной из опаснейших древесных пород, с точки зрения инвазии, в лесных ландшафтах поймы является ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica*). Во второй половине XX века ясень пенсильванский использовался для создания лесных культур, лесных массивов и полезащитных полос в Волго-Ахтубинской пойме. До 60-х годов проводились посадки ясеня, благодаря его устойчивости к затоплению, способности переносить сложные интразональные условия, зимние паводки, высокой приживаемости семян и быстрому росту. Широкое использование в зеленом строительстве началось с первой половины XX века. Во второй половине XX века появляются многочисленные данные одичания вида в разных странах: Австрии, Венгрии, Германии, Польше, Хорватии и в других странах [6]. Последствия воздействия инвазивных видов на биоразнообразие и природные комплексы Волго-Ахтубинской поймы уже могут быть сопоставимы по масштабу с теми негативными изменениями аборигенных сообществ, которые связаны с зарегулированием стока. Организация деятельности по контролю и сдерживанию инвазий должна быть дифференцирована в соответствии с особенностями поведения чужеродных видов в конкретном регионе.

Особого внимания заслуживают растения – «трансформеры», натурализовавшиеся виды, способные к вытеснению местных видов, нарушению сукцессионных смен и преобразованию экосистем, к которым и относится ясень пенсильванский. Экосистемы долины Нижней Волги, как и другие долинные комплексы, в силу своей динамичности и открытости, являются очень уязвимыми для биологических инвазий. Успешное проникновение/внедрение в пойменные сообщества новых видов и их быстрое расселение по бассейну является закономерным процессом, так как долины рек всегда были естественными путями для «движения видов». Локальные и даже точечные заносы чуже-

родных видов быстро превращаются в обширные ареалы за счет наличия доступных и активных путей распространения водой [6].

Решение задачи по оценке площади распространения *Fraxinus pennsylvanica* на территории Волго-Ахтубинской поймы с использованием ГИС-технологий обеспечивается картографированием ее ареалов с использованием метода фенологической индикации. Использование полевых исследований требует большого объема работ, затратен и неэффективен, особенно в труднодоступных местах и в половодье [7].

Материалы и методы. Метод дистанционного исследования пойменных лесных насаждений, основанный на данных космических съемок, – современный и экономически обоснованный путь для оценки инвазий. Для повышения достоверности результатов дистанционных исследований используется система выборочного, полевого эталонирования тестовых участков [10]. Полевое эталонирование ареалов инвазий в Волго-Ахтубинской пойме – существенный этап для выполнения их тематического картографирования с применения совокупности векторных, растровых и атрибутивных данных, включая спектрально-зональную спутниковую информацию. В качестве эталонов выбирается типичный участок ареала инвазии, который включает главные дешифровочные признаки объекта эталонирования, которые отражаются на космоснимке при адекватных условиях сканирования [6]. Фотоэталонирование как методический прием позволяет сопоставить реальные параметры объектов исследований с параметрами, которые можно определить по космоснимкам. Методика, используемая для полевого эталонирования космических снимков, основана на предложенной Б. В. Виноградовым технологии, и получила развитие в работах К. Н. Кулика, А. С. Рулева и В. Г. Юферева [2, 4, 5, 6, 11].

Комбинированный метод исследования лесных насаждений осуществляется в две стадии: полевое эталонирование на тестовых участках и камеральное дешифрирование данных дистанционного зондирования. При этом результаты исследований экстраполируют на насаждения-аналоги. Полевое эталонирование проводится на тестовых участках, которые репрезентативно отражают компоненты ландшафта. Для анализа изменения площади ареалов инвазий проводится изучение изменения распределения пикселей в растре космоснимков по гистограммам.

Измерения отражательных свойств растительности при изменении сезонов, погоды и времени суток дают возможность выявить корреляцию между ними и определить функциональные связи. Тестовые участки, установленные для эталонирования, используют для проведения уточненного дешифрирования и картографирования ареалов инвазий [8, 9].

Особое внимание при дистанционном исследовании лесных насаждений по космоснимкам необходимо уделить сезонным изменениям их характеристик, чтобы установить закономерности изменения фототона изображения. Лесная порода, выбранная для изучения, характеризуется типичными особенностями, включая геометрические и морфологические параметры, которые можно использовать для дешифрирования и эталонирования инвазивных древесных пород. Для дешифрирования лесных насаждений выбираются космоснимки поздневесеннего и раннелетнего периода для лиственных пород. Для обеспечения точного определения ареалов ясеня пенсильванского предложен способ распознавания ареалов по особенностям фенологических фаз развития растений.

Для фенологического дешифрирования участков леса с инвазивными породами важной является фаза расцветивания, а также фаза опадания листьев. Использование мультиспектральных снимков для дешифрирования ареалов инвазивных пород дает возможность использования дополнительных дешифровочных качеств, определяемых особенностями отражения излучения растительностью в различных диапазонах спектра, в том числе по отличию в содержании хлорофилла.

Результаты и обсуждение. Для картографирования лесных насаждений Волго-Ахтубинской поймы была построена регулярная сетка на территорию Волго-Ахтубинской поймы, состоящую из квадратов со стороной 2° (рисунок 1).

Рисунок 1 – Регулярная сетка, построенная на территорию Волго-Ахтубинской поймы

Figure 1 – A regular grid built on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain

Изолинейная карта распределения древесно-кустарниковой растительности построена по полученным пространственным данным с использованием программы Surfer. Для чего была разработана регулярная ячеистая модель, содержащая координаты точки (центра ячейки) x , y и значение z – площадь, занимаемая древесно-кустарниковой растительностью. В каждой ячейке были установлены площади, занятые такой растительностью. В результате картографирования в автоматическом режиме была построена изолинейная карта (рисунок 2).

По результатам анализа разработанной карты установлено, что основная часть древесно-кустарниковой растительности размещена в западной части Волго-Ахтубинской поймы.

Здесь доля достигает 38 %. На основе полученных данных были выделены участки для полевого эталонирования и создан банк из более, чем 350 точек фотоэталонирования ясеня пенсильванского. Ареалы произрастания ясеня пенсильванского были оценены в ходе наземных исследований по фотоэталонированию, а также при проведении работ было проведено геокодирование и привязка полученных данных при помощи GPS-приемника (рисунок 3).

Исследование динамики фенологических фаз показало, что осеннее изменение цвета листвы ясеня пенсильванского (с преобладанием желтого цвета) в 2019 году в условиях Волго-Ахтубинской поймы было зафиксировано в начале сентября (рисунок 4) [7, 10].

Рисунок 2 – Изолинейная карта распределения древесно-кустарниковой растительности

Figure 2 - The isoline map of the distribution of woody-shrubby vegetation

В результате проведения полевых исследований, фотоэталонирования, геокодирования и привязки полученных данных были созданы фотоэталонны для дешифрирования ареалов ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*), локализованных на территории Волго-Ахтубинской поймы. В связи с тем, что фенологическая фаза изменения цвета листвы в осенний период у ясеня началась раньше, чем у соседствующих пород (рисунок 5), интерпретация и векторное выделение ареала *Fraxinus pennsylvanica* было проведено с достаточной точностью, соответствующей разрешению космоснимка.

Рисунок 3 – Схема распределения точек фотоэталонирования ясеня пенсильванского

Figure 3 - Scheme for the distribution of photo-calibration points of *Fraxinus pennsylvanica*

Рисунок 4 – Подрост ясеня пенсильванского (1) на фоне дубового насаждения (2).
Участок полевого эталонирования «оз. Чичера»

Figure 4 – The growth of *Fraxinus pennsylvanica* (1) against the background of oak plantation (2).
Site of field calibration «Lake Chichera»

Рисунок 5 – Фенологическая индикация по космоснимку: посадка ясеня пенсильванского (1);
дуб черешчатый (2) Участок полевого эталонирования «оз. Кустистый садок»

Figure 5 – Phenological indication from a space photograph: planting of *Fraxinus pennsylvanica* (1);
Quercus robur (2) Site of field calibration “Lake. Kustistyy sadok”

По результатам аэрокосмического и геоинформационного исследования территории Волго-Ахтубинской поймы разработан векторный геоинформационный картографический слой ареалов распространения ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*) (рисунок 6).

Обработка результатов, полученных в ходе ГИС-анализа пространственных данных, показала, что на территории природного парка находятся более 1500 ареалов ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*) общей площадью более 7100 га.

Рисунок 6 – Схема распространения очагов инвазивного загрязнения на территории Волго-Ахтубинской поймы

Figure 6 – Scheme of distribution pattern of foci of invasive pollution in the Volga-Akhtuba floodplain

Выводы. Таким образом, в результате проведения полевых исследований, фотоэталонирования, геокодирования и картографирования данных о пространственном распределении ареалов инвазии ясеня пенсильванского были созданы фотоэталонеры для дешифрирования ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*), установлены географические координаты и составлены растровые и векторные карты ареалов, локализованных на территории Волго-Ахтубинской поймы. Установлено, что основная часть древесно-кустарниковой растительности размещена в западной части Волго-Ахтубинской поймы, здесь ее доля достигает 38 % от общей площади. Обработка результатов, полученных в ходе ГИС-анализа пространственных данных, показала, что на территории Волго-Ахтубинской поймы распространились более 1500 ареалов ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica*) общей площадью более 7100 га. Применение способа дешифрирования древесных пород на основе фенологических особенностей развития древесных пород обеспечило достоверное выделение ареалов инвазий на исследуемой территории. Полученные в ходе исследований результаты способствует принятию точных координатных мер по борьбе с распространением растений-«трансформеров».

Библиографический список

1. Антонов С. А., Скрипчинский А. В. Использование данных дистанционного зондирования для многолетнего мониторинга за состоянием агроландшафтов // Наука. Инновации. Технологии. 2018. №2. С.89-100.
2. Геоинформационные технологии в обеспечении точного земледелия / А. С. Рулев, С. С. Шинкаренко, В. Н. Бодрова, Н. В. Сидорова // Известия НВ АУК. 2018. №4 (52). С. 115-122.
3. Кравченко А. С., Юферев В. Г., Шинкаренко С. С. Геоинформационный анализ ландшафтов Астраханского Заволжья // Известия НВ АУК. 2017. №4 (48). С. 154-163.
4. Кулик К. Н., Рулев А. С., Юферев В. Г. Геоинформационное моделирование структуры и динамики агролесоландшафтов // Экосистемы: экология и динамика. 2017. №2. С. 5-20.
5. Особенности применения аэрокосмических методов в почвоведении / А. И. Исмаилов, З. Г. Алиев, Х. Р. Исмаева, А. Н. Бадалова, С. С. Талыбова // Вестник Курганской ГСХА. 2019. №3 (31). С. 3-8.

6. Юферов В. Г., Таранов Н. Н. Геоинформационная оценка распространения инвазивных древесных пород на территории Волго-Ахтубинской поймы // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса. 2019. №1 (53). С. 307-313.

7. Юферов В. Г., Таранов Н. Н. Ретроспективный анализ деградации лесов Волго-Ахтубинской поймы // Известия НВ АУК. 2016. №3 (43). С. 66-72.

8. Mapping the Flowering of an Invasive Plant Using Unmanned Aerial Vehicles: Is There Potential for Biocontrol Monitoring? / N. C. De Sá, P. Castro, S. Carvalho, E. Marchante, F. A. López-Núñez, H. Marchante // Front Plant Sci. 2018. №9. P. 293. Published 2018 Mar 8. doi:10.3389/fpls.2018.00293.

9. Review: advances in in situ and satellite phenological observations in Japan / S. Nagai, K. H. Nasahara, T. Inoue, T. M. Saitoh, R. Suzuki // Int J Biometeorol. 2016. № 60(4). P. 615-627. DOI:10.1007/s00484-015-1053-3.

10. Timing Is Important: Unmanned Aircraft vs. Satellite Imagery in Plant Invasion Monitoring / J. Müllerová, J. Brůna, T. Bartaloš, P. Dvořák, M. Vítková, P. Pyšek // Front Plant Sci. 2017. №8:887. Published 2017 May 31. doi:10.3389/fpls.2017.00887.

11. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives / G. Yang, J. Liu, C. Zhao [et al.] // Front Plant Sci. 2017. №8:1111. Published 2017 Jun 30. doi:10.3389/fpls.2017.01111.

Conclusions. Thus, as a result of the field studies, photo etaloning, geocoding and mapping data about the spatial distribution of the areal of *Fraxinus pennsylvanica* was established photo etalons for decoding of the *Fraxinus pennsylvanica*, established the geographic coordinates and composed of raster and vector distribution maps, localized on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain. It is established that the main part of the tree and shrub vegetation is located in the Western part of the Volga-Akhtuba floodplain, where its share reaches 38% of the total area. Processing of the results obtained in the during of the GIS analysis of spatial data showed that more than 1,500 areals of *Fraxinus pennsylvanica* with a total area of more than 7,100 ha spread over the territory of the Volga-Akhtuba floodplain. The use of a method for deciphering wood species based on the phenological features of the development of wood species, provided a reliable identification of areas of infestations in the study area. The results obtained in the during of the research contribute to the approach of precise coordinate event to combat the spread of "transformers" plants.

Reference

1. Antonov S. A., Skripchinsky A. V. Use of remote sensing data for long-term monitoring of the state of agrolandscapes // Science. Innovation Technologies. 2018. No2. P. 89-100.

2. Geoinformation technologies in providing precision farming / A. S. Rulev, S. S. Shinkarenko, V. N. Bodrova, N. V. Sidorova // Bulletin of AUK. 2018. No4 (52). P. 115-122.

3. Kravchenko A. S., Yuferev V. G., Shinkarenko S. S. Geoinformation analysis of the landscapes of the Astrakhan Trans-Volga // Izvestiya NV AUK. 2017. No4 (48). P. 154-163.

4. Kulik K. N., Rulev A. S., Yuferev V. G. Geoinformation modeling of the structure and dynamics of agroforestry // Ecosystems: ecology and dynamics. 2017. No2. P. 5-20.

5. Features of application of aerospace methods in soiling / A. I. Ismailov, Z. H. Aliyev, H. R. Ismatova, A. N. Badalova, S. S. Talybova // Bulletin of Kurgan State Agricultural Academy. 2019. No 3 (31). P. 3-8.

6. Yuferev V. G., Taranov N. N. Geoinformation assessment of the spread of invasive tree species on the territory of the Volga-Akhtuba floodplain // Bulletin of the Lower Volga agricultural university. 2019. No.1 (53). P. 307-313.

7. Yuferev V. G., Taranov N. N. Retrospective analysis of forest degradation of the Volga-Akhtuba floodplain // Proceedings of NV AUK. 2016. No3 (43). P. 66-72.

8. Mapping the Flowering of an Invasive Plant Using Unmanned Aerial Vehicles: Is There Potential for Biocontrol Monitoring? / N. C. De Sá, P. Castro, S. Carvalho, E. Marchante, F. A. López-Núñez, H. Marchante // *Front Plant Sci.* 2018. №9. P. 293. Published 2018 Mar 8. doi:10.3389/fpls.2018.00293.

9. Review: advances in in situ and satellite phenological observations in Japan / S. Nagai, K. H. Nasahara, T. Inoue, T. M. Saitoh, R. Suzuki // *Int J Biometeorol.* 2016. № 60(4). P. 615-627. DOI:10.1007/s00484-015-1053-3.

10. Timing Is Important: Unmanned Aircraft vs. Satellite Imagery in Plant Invasion Monitoring / J. Müllerová, J. Brůna, T. Bartaloš, P. Dvořák, M. Vítková, P. Pyšek // *Front Plant Sci.* 2017. №8:887. Published 2017 May 31. doi:10.3389/fpls.2017.00887.

11. Unmanned Aerial Vehicle Remote Sensing for Field-Based Crop Phenotyping: Current Status and Perspectives / G. Yang, J. Liu, C. Zhao [et al.] // *Front Plant Sci.* 2017. №8:1111. Published 2017 Jun 30. doi:10.3389/fpls.2017.01111.

Authors Information

Yuferev Valery Grigorievich, principal research scientist – head of laboratory of GIS modeling and mapping of agroforest landscape FSC of agroecology RAS (Russia, 400062, Volgograd, University ave., 97), doctor of agricultural sciences. E-mail: yuferevv@vfanc.ru

Taranov Nikolay Nikolayevich, Associate Professor, Volgograd Social and Pedagogical University (400005, Volgograd, 27 Lenin Ave., Volgograd, Volgograd, Volgograd Region.), candidate of agricultural sciences. E-mail: taranov-n@bk.ru

Информация об авторах

Юфереv Валерий Григорьевич, главный научный сотрудник – заведующий лабораторией геоинформационного моделирования и картографирования агролесоландшафтов ФНЦ агроэкологии РАН (РФ, 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, 97), доктор сельскохозяйственных наук. E-mail: yuferevv@vfanc.ru

Таранов Николай Николаевич, доцент ФГБОУ «Волгоградский социально-педагогический университет» (РФ, 400005, г. Волгоград, пр. имени В.И. Ленина, 27), кандидат сельскохозяйственных наук. E-mail: taranov-n@bk.ru