

УДК 502.13(470.45)

Н.Н. ТАРАНОВ
(Волгоград)

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ИНВАЗИЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА*

Оценка динамики биологических инвазий на основе ретроспективных и актуальных данных аэрофотосъемки, результатов эталонирования и картографирования является неотъемлемой частью комплексного исследования природного парка Волго-Ахтубинская пойма. Точечные проявления инвазивных растений динамично распространяются и превращаются в значительные ареалы.

Ключевые слова: древостой, инвазии, инвазивные древесные породы, аэрокосмоснимки, гистограммы, пиксели, картографирование, ретроспективный анализ, динамика, деградация.

NIKOLAY TARANOV
(Volgograd)

ASSESSMENT OF THE DYNAMICS OF THE INVASIONS SPREAD BASED ON THE RESULTS OF GEOGRAPHIC INFORMATION RETROSPECTIVE ANALYSIS

The assessment of the dynamics of the biological invasions on the basis of the retrospective and relevant data of the aerial survey, the results of standartization and mapping is the essential part of the complex research of the natural park "the Volga-Akhtuba floodplain". The isolated manifestations of the invasive plants are dynamically distributed and transformed into significant areas.

Key words: forest stand, invasion, invasive tree species, aerospace images, histograms, pixels, mapping, retrospective analysis, dynamics, degradation.

Введение.

На территории Волго-Ахтубинской поймы одним из самых опасных инвазивных видов является ясень пенсильванский (*Fraxinus pennsylvanica* Mash.). Анализ скорости распространения и проведение наблюдений за инвазивными видами являются важнейшими проблемами, решение которых направленно на возможность устойчивого функционирования уникальнейших природных территорий Волго-Ахтубинской поймы [2]. Данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) представляют собой совокупность пикселей, упорядоченных в единое растровое изображение снимаемого участка территории. Данные, предоставляемые ДЗЗ, содержат пространственно-привязанную информацию о месте и распространению ареалов инвазий, актуальную на дату фотографирования. При анализе полученной информации происходит создание геоинформационных картографических слоев, в которых необходимо учитывать всевозможные изменения, что в сумме с ЦМР (цифровыми моделями рельефа), выполненным дешифрированием архивных снимков, математическим моделированием, а также атрибутивной и графической информацией, обеспечит проведение мониторинга и оценку динамики распространения инвазий на территории Волго-Ахтубинской поймы. Моделирование процессов увеличения площади занимаемой инвазивной растительностью, с применением аэрокосмоснимков, предполагает изучение изменения площади ареалов с учетом времени и пространственного положения [1]. Результатом компьютерного математико-картографического моделирования является составление карт распространения ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Mash.) [4, 5]. Прогноз динамики распространения инвазий обеспечивает разработку системы мер по поддержанию их нормального функционирования уникальных пойменных ландшафтов.

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Волгоградской области в рамках научного проекта № 19-416-343003.19.

Материалы и методы.

Для исследований уникальной в своем роде территории Волго-Ахтубинской поймы одним из передовых методов, представляющим собой систему оперативного сбора и анализа разновременных данных, является геоинформационные системы исследований, основанные на данных дистанционного зондирования Земли. Они предоставляют комплексный подход к оперативной оценке состояния и динамики распространения инвазивной растительности на территории природного парка [3, 4, 5]. В сравнении с наземными обследованиями лесных насаждений, которые требуют значительных затрат человеко-часов и к тому же не носят регулярного характера, проведение фотоэталонирования и компьютерного картографирования инвазивной растительности с целью оценки динамики их распространения по данным космических снимков “Sentinel-2” является наиболее актуальным и современным решением. Фотоэталонирование инвазивной растительности выполняется как в полевых условиях при эталонировании насаждений, так и в камеральных, по космоснимкам с размером пикселя на местности до 3 м. Одним из наиболее оправданных способов фотоэталонирования является способ, связанный с естественными изменениями, происходящими с растением, а именно с фенологической фазой. Для применения фенологических изменений для индикации листовых пород необходимы разновременные аэро- и космические снимки, на которых растения представлены в фазе окрашивания и опадания листвы. Окрашивание листвы на осенних снимках является определяющим признаком для дешифрования и индикации инвазивной растительности [6].

Оценка распространения инвазивной растительности на территории Волго-Ахтубинской поймы в настоящий момент наиболее актуальна, т. к. подобные исследования не проводилось вообще, а инвентаризация лесных насаждений в пойме не проводилась с 1975 г. Космоснимки, предоставленные системой “Sentinel-2”, в настоящее время позволяют осуществлять непрерывное наблюдение за лесными насаждениями благодаря возможности получать данные ДЗЗ с периодичностью в 2–3 дня (для средних широт). “Sentinel-2” обладает захватом полосы шириной 290 км в 13 спектральных каналах, из которых 4 канала имеют разрешающую способность 0 м, 6 каналов – разрешение 20 метров, а остальные каналы обладают разрешающей способностью в 60 м. Системы получения данных ДЗЗ, такие как, например “Landsat-7”, обеспечивающий шестнадцатидневное время повторной съемки, значительно уступают “Sentinel-2”.

Комплексный анализ космоснимков, с целью оценки динамики распространения инвазивной растительности, проводится с использованием гистограмм, позволяющих выявлять статистические характеристики как по количественному, так и по качественному распределению пикселей на фотоизображении [7]. Для получения данных об изменении площадей, занимаемых инвазивной растительностью, необходимо проводить ретроспективный анализ на основе сравнения данных современных космоснимков и снимков архивного периода картографирования, с применением тщательного сопоставления изменений, произошедших на объектах исследований в определенный временной промежуток [6]. Ретроспективный анализ – это математическая обработка и анализ геокодированной и атрибутивной информации, полученной в результате проведения дешифровочных работ по аэро- и космоснимкам за определенный интервал времени. Накопленный архив данных дистанционного зондирования Земли делает возможным оценку изменения распространения инвазивных видов, которые могут занимать значительные временные периоды [6, 8]. Аэро- и космоснимки являются своеобразным «слепок» и содержат актуальные данные о месте, характере и времени произошедших изменений.

Ретроспективный анализ территории Волго-Ахтубинской поймы позволяет реконструировать ход процессов изменения площадей распространения инвазивных видов, определить наиболее удобные для произрастания инвазий территории, выдвинуть предположения о возможных путях распространения растений «трансформеров» [2].

Результаты и обсуждение.

Для изучения динамики распространения такого инвазивного вида, как ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Mash.) были выбраны три ключевых участка: «Госпитомник Лещевский» (N48°32'23»; E44°53'03») (1), «Новенький» (N48°42'33»; E44°46'15») (2) и «Долгий» (N48°31'37»; E45°08'02») (3) (см. рис. 1 на с. 15).

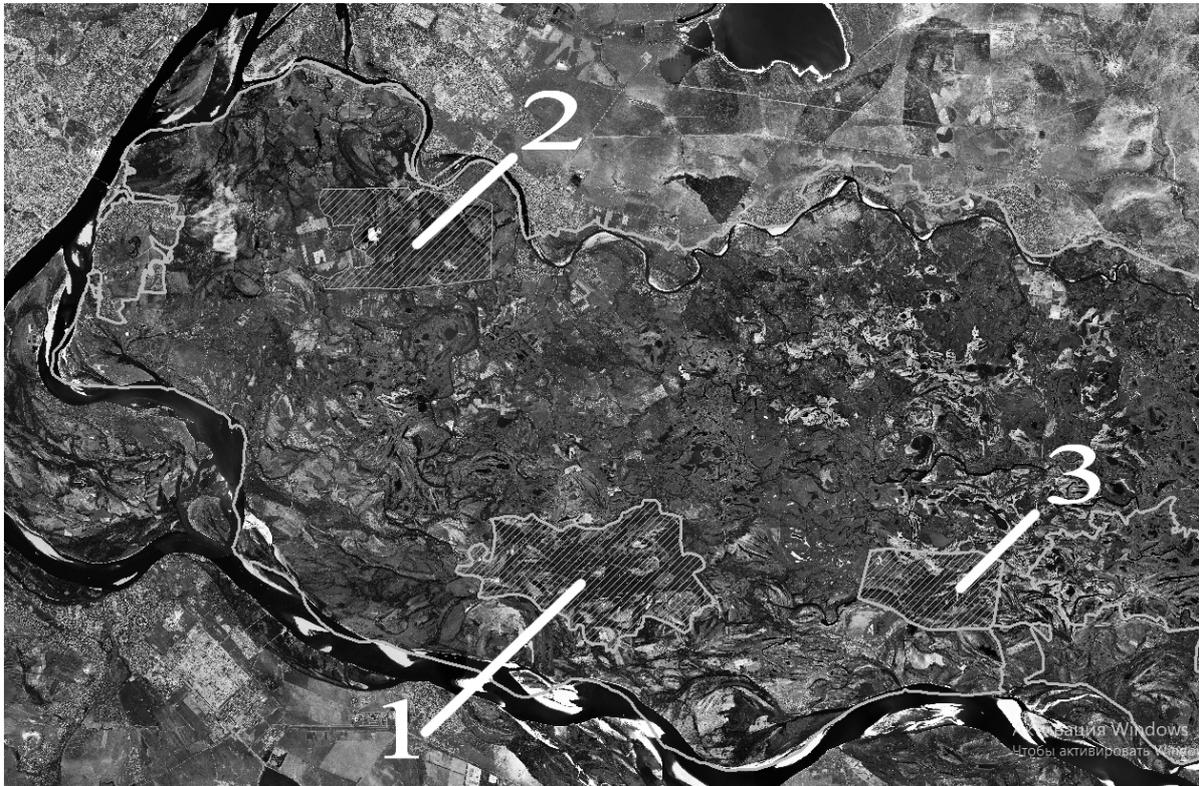


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков

Ключевые участки были определены в результате наземных исследований, при проведении работ по фотоэталонированию инвазивной растительности было проведено геокодирование при помощи GPS-приемника, а полученные данные сформированы в shape-файл (*.shp). (см. рис. 2).

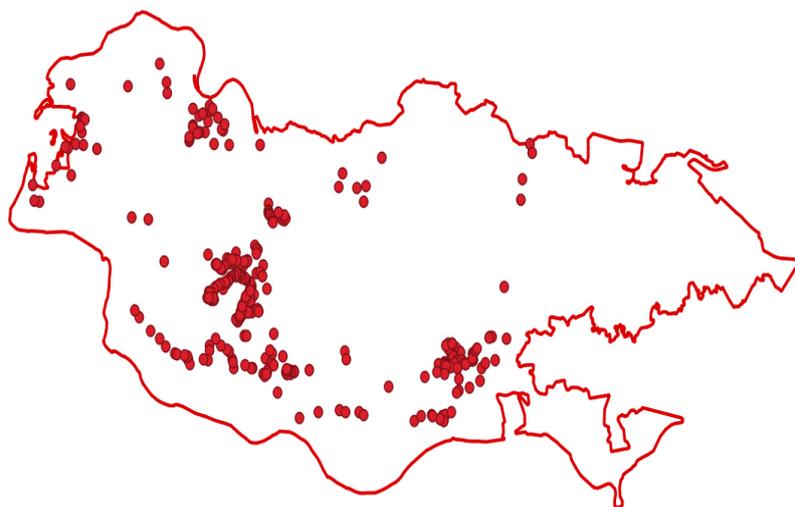


Рис. 2. Схема распределения точек фотоэталонирования ясеня пенсильванского

Применение фенологической индикации для дешифрирования и выделения ареала ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Mash.) значительно облегчило задачу, т. к. фенологическая фаза осеннего окрашивания листьев у инвазивного вида началась раньше, чем у древесных пород других видов. Наглядно в этом можно убедиться на рис. 3, достаточно отчетливо проявляется разница в тоне пикселей крон дуба (*Quercus robur* L.) и ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Mash.).



Рис. 3. Фенологическая индикация: дуб черешчатый (1), ясень пенсильванский (2)

В результате гистограммного анализа распределения пикселей для ясеня пенсильванского установлено среднее значение тона 121 единицы, стандартное отклонение – 38, для дуба черешчатого среднее значение тона – 44 единицы, стандартное отклонение – 23. Из приведённых выше данных следует, что гистограммный анализ делает возможным разделение группы пикселей на снимке по тону, расчёт площади, занимаемые инвазивными видами, а также дает возможность экстраполировать полученные результаты на территории аналоги.

В результате проведения работ по фотоэталонированию и дешифрированию был разработан ГИС-слой ареала ясеня пенсильванского (*Fraxinus pennsylvanica* Mash.) на трех ключевых участках.

Обработка результатов исследования показала, что на территории ключевого участка «Госпитомник Лещевский» (N48°32'23»; E44°53'03»), площадью 5835,2 га, наблюдается значительное увеличение площади занимаемой инвазивной растительностью. Так, с 2011 по 2017 г. произошло увеличение площади инвазий с 640 га до 1046 га (см. рис. 4 на с. 17).

Подобная ситуация наблюдается и в двух остальных ключевых участках. На ключевом участке «Новенький» (N48°42'33»; E44°46'15»), площадью 3800 га, с 2009 по 2019 г. произошло увеличение ареала ясеня пенсильванского с 588 га до 775 га (см. рис. 5 на с. 17).

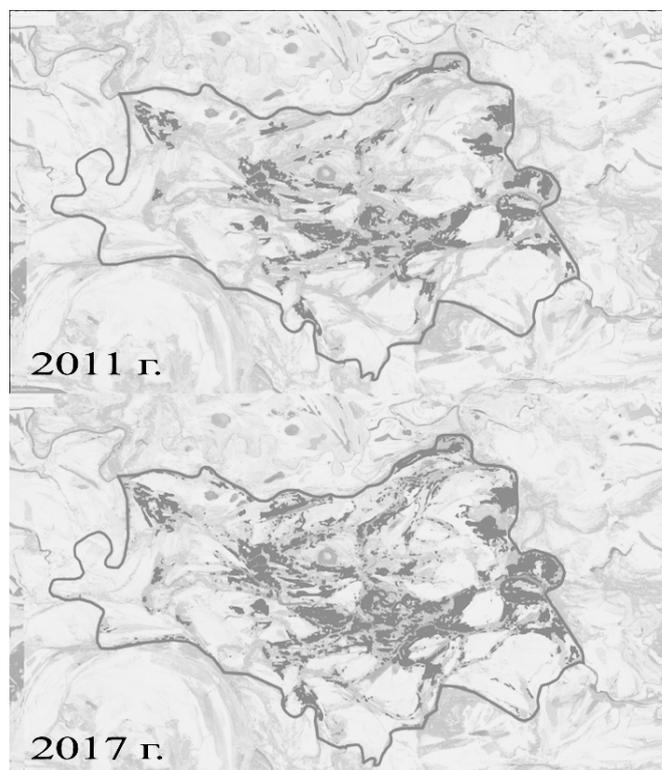


Рис. 4. Ретроспективный анализ ключевого участка «Госпитомник Лещевский» (N48°32'23»; E44°53'03»)

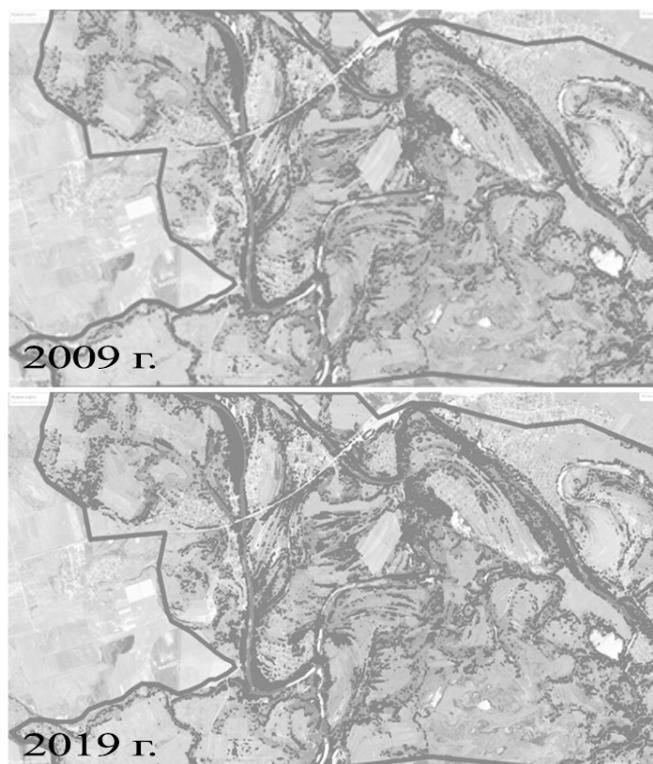


Рис. 5. Ретроспективный анализ ключевого участка «Новенький» (N48°42'33»; E44°46'15»)

На ключевом участке «Долгий» (N48°31'37»; E45°08'02»), площадью 2511 га, с 2014 по 2018 г. произошло увеличение ареала ясеня пенсильванского с 254 га до 446 га (см. рис. 6).

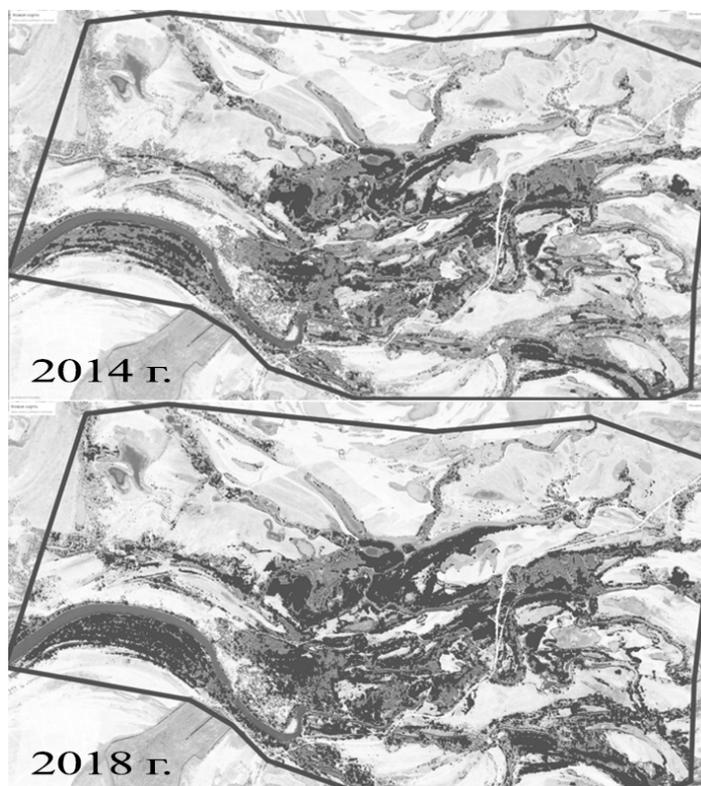


Рис. 6. Ретроспективный анализ ключевого участка «Долгий» (N48°31'37»; E45°08'02»)

Заключение. В целом, по данным ретроспективного анализа данных дистанционного зондирования земли, можно сделать вывод о том, что на ключевых участках, как и на всей территории Волго-Ахтубинской поймы происходит активное распространение инвазивных видов. 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. В наибольшей степени подвержены инвазии прибрежные сообщества водотоков поймы и дельты (ерики, протоки). Здесь в некоторых местах сложились практически чистые заросли ясеня. По масштабам и скорости расширения инвазии этот вид сейчас, очевидно, преобладает над всеми остальными чужеродными видами. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о том, что применение ретроспективного анализа данных актуальных и архивных космоснимков делает возможным быстрое получение информации о распространении инвазивной растительности.

Литература

1. Виноградов Б.В. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука, 1984.
2. Восстановление пойменных лесных экосистем: учебно-методическое пособие, выпущенное в рамках гранта ПРООН/Кока-Кола «Каждая капля имеет значение» / Климова Г.Ю., Луконина А.В. и др. М.: Планета, 2014.
3. Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г. Картографо-аэрокосмический мониторинг ландшафтов // Эколого-экономическая оптимизация природопользования: мат. круг. стола, (г. Волгоград, 30 марта 2004 г.). Волгоград: ВолГУ, 2004. С. 215–219.
4. Кулик К.Н., Юферев В.Г. Компьютерное математико-картографическое моделирование агролесоландшафтов на основе аэрокосмической информации // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 1. С. 52–54.

5. Русакова Е.Г., Заболотная М.В. Основные древесные породы фонда Астраханской области // *Естественные науки*. 2011. № 1(34). С. 22–31.
6. Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С. [и др.] *Геоинформационные технологии в агролесомелиорации*. Волгоград: Изд-во ВНИАЛМИ, 2010.
7. Юферев В.Г., Таранов Н.Н. Геоинформационная оценка распространения инвазивных древесных пород на территории Волго-Ахтубинской поймы // *Изв. Нижневолж. агроуниверситет. комплекса: наука и высшее профессиональное образование*. 2019. № 1(53). С. 307–313.
8. Heusden W.V. Monitoring changes in heathland vegetation using sequential aerial photographs // *ITC.Journal*. 1983. № 2. P. 160–165.
9. Kulik K.N., Rudev A.S., Yuferev V.G. Aerospace monitoring of pastures in conditions of dry steppe and semi-desert // *Science, technique and innovation technologies in an epoch of great revival: abstracts of reports International Scientific Conference (June 12–14, 2010)*. Ashgabat, 2010. P. 406–407.