



УДК 551.0.4.634.93
ББК 26.1

ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ АГРОЛЕСОЛАНДШАФТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

А.С. Рулев, В.Г. Юферев, А.В. Кошелев, Н.А. Ткаченко

Геоинформационные технологии обеспечивают применение программно-технических средств обработки, передачи и анализа информации при планировании агролесоландшафтов. В статье приведены результаты исследований агроландшафтов степной, сухостепной и полупустынной зон Российской Федерации. Использование ГИС-технологий и аэрокосмической информации для мониторинга состояния агроландшафтов обеспечивает его актуальность и достоверность. Применение ГИС-технологий при мониторинге, картографировании и моделировании агроландшафтов Северо-Западного Прикаспия показали его высокую эффективность. Общая обследованная площадь превысила 4,4 млн га.

Ключевые слова: ландшафт, географическая информационная система, мониторинг, картографирование, деградация, пастбища, проективное покрытие, космоснимок.

На сегодняшний день целостное представление о лесоаграрных ландшафтах и происходящих в них процессах может дать только картографическое изображение, а обращение к современным географическим информационным системам (далее – ГИС) для его получения становится обязательным требованием нашего времени, когда уже нельзя обойтись без компьютерных технологий, если необходимо соблюсти условие оперативности обработки и передачи информации. Под ГИС понимается информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, отображение и распространение пространственных данных. Перечисленные функции ГИС позволяют выполнять практически все функции мониторинга (сбор, передачу, обработку, анализ, хранение и документирование информации) в камеральных условиях, сокращая тем самым время и расходы на полевые исследования.

Геоинформационные технологии обеспечивают широкое использование приемов и методов применения программно-технических

средств обработки и передачи информации в ландшафтном планировании агролесокомплексов, то есть реализацию функциональных возможностей геоинформационных систем.

Первоначально определение экологического мониторинга было дано секретариатом ООН по окружающей среде (SCOPE) в 1973 г. как «система повторных наблюдений окружающей среды в пространстве и во времени с определенными целями и в соответствии с заранее подготовленными программами» [1]. Концепция экологического мониторинга в последующие годы получила наиболее полное развитие в нашей стране. Б.В. Виноградов обобщил определение экосистемного мониторинга как «системы наблюдения за состоянием экосистем, регистрации их современной структуры, контроля их динамики, главным образом антропогенной, прогноза их изменений и, наконец, управления и оптимизации» [1].

Исходя из вышеизложенного, целью наших исследований была разработка системы аэрокосмического мониторинга сельскохозяйственных земель с целью предотвращения деградации и опустынивания, сохранения и воспроизводства плодородия почв.

Новизна исследований заключается в том, что впервые в отечественной практике

предложена технология геоинформационного моделирования и мониторинга ландшафтов, основанная на синтезе принципов катенарно-бассейнового подхода, методов пластики рельефа, морфодинамического анализа и картографо-аэрокосмического мониторинга. Новизна технологии подтверждена патентами: «Способ определения состояния защитных лесных насаждений» (патент РФ на изобретение № 2330242); «Способ определения состояния почв в агроландшафтах» (патент РФ на изобретение № 2265839); «Способ определения состояния пастбищ» (патент РФ на изобретение № 2327107).

Методика предполагает использование катенарно-бассейнового подхода и базируется на разработанных во ВНИАЛМИ пятиэтапной методике ландшафтно-экологического картографирования в агролесомелиорации, методике многопараметрического компьютерного анализа аэрокосмоснимков, методике ландшафтно-экологического профилирования, методике дистанционного эколого-экономического мониторинга аридных пастбищ [3].

Применение информационных технологий для обработки картографических и аэрокосмических данных позволяет интегрировать пространственный ландшафтно-экологический анализ, методы математического моделирования и компьютерного картографирования. При проведении дешифрирования космоснимков используется фотограмметрическая станция Талка 3.3, для построения цифровой модели рельефа (ЦМР) – Global Mapper 9.0, OZExplorer, Талка 3.3, для геоинформационного картографирования – MapInfo 9.0, при полевых работах – GPS-приемники.

Результаты исследований. Разработана технология дистанционного мониторинга сельскохозяйственных земель в лесостепной, степной и полупустынной зонах европейской части РФ на основе катенарно-бассейнового подхода и аэрокосмического картографирования. Практическая реализация технологии осуществлена при картографировании и планировании агролесомелиоративных мероприятий в пригородных агроландшафтах г. Волгограда, на землях Клетского, Урюпинского, Нехаевского, Кумылженского районов Волгоградской области, Тимашевского района Краснодарского края и Харабалинского района Астраханской области.

Для картографирования, оценки и прогноза деградации лесных насаждений в агролесоландшафтах изучается динамика деградационных процессов, рассматриваются взаимосвязи основных таксационных и дешифровочных показателей лесных насаждений и закономерности изменений состояния древостоя при воздействии различных факторов.

Оценивая отдельные ряды в насаждении по фототону изображения, можно установить сохранность и общее состояние каждого ряда (или группы рядов с сомкнутыми кронами), а также общее состояние по вариации диаметров кроны и по сохранности древостоя. Для комплексной оценки сохранности лесного насаждения, исходя из данных, определяемых по космоснимкам, приемлемым параметром является суммарная площадь проекций кроны деревьев в лесонасаждении или, если насаждение имеет сомкнутые кроны, площадь полога.

Критерием для количественной оценки деградации может служить относительная суммарная площадь кроны деревьев [2]. Оценка состояния лесных насаждений осуществляется следующим образом: на космическом фотоснимке выделяют эталонные участки с видимыми и хорошо различимыми признаками деградации и с отсутствием таковых. Участки подбирают в ЗЛН одинакового породного состава и конструкции. Применение специализированных программ обработки космоснимков (например, ENVI) позволяет проанализировать изменение фототона изображения вплоть до отдельно взятого пикселя. Анализ распределения пикселей по изображению дает возможность получить разностороннюю информацию о состоянии насаждений на момент съемки.

Масштаб и разрешение исходного космоснимка, выбираемого для анализа, зависит от размера объекта наблюдения и необходимой детализации. Для оценки лесонасаждений обычно выбираются снимки масштаба 1 : 20 000 с разрешением 10 м (спутник IRS-5) или снимки масштаба 1 : 5 000 с разрешением 1–2,44 м (спутники Geo Eye, Quick Bird, Ikonos). Такие изображения имеют высокую детализацию и позволяют идентифицировать при дешифрировании изображения даже отдельно стоящих деревьев.

Для оценки ЗЛН отбираются космоснимки с покрытием облачностью не более 5 %,

масштаба 1 : 50 000 с разрешением 6 м (спутник IRS-5) или снимки масштаба 1 : 12 500 с разрешением 2,44 м (спутник Quick Bird). При визуальном анализе изображения выделяется и обозначается контуром территория, занимаемая кулисными насаждениями. Прямоугольное выделение полога отдельной кулисы или рядов с сомкнувшейся кроной по максимальной ширине кроны позволяет определить количество пикселей и средний фототон для полога ряда (рядов) деревьев. Фотоэталон уровня деградации «Норма» устанавливается по специально выбираемому участку полога с наибольшей равномерностью значений тона. При этом за эталонное значение принимается диапазон от минимального до максимального значения фототона на этом участке. Степень деградации можно определить по относительной плотности полога древостоя, выраженной отношением площади полога к площади всего насаждения.

Количество пикселей, приходящихся на площадь полога, может быть определено по гистограмме полного изображения насаждения путем суммирования всех пикселей, которые совпадают по фототону с диапазоном шкалы фототона, отнесенному к пологу. Для установления диапазона фототона, который соответствует изображению полога, на эталонном изображении выделяется сомкнутый полог одного эталонного ряда или нескольких рядов.

Критерием деградации древостоя можно считать отношение количества пикселей, входящих в заданный диапазон фототона, который соответствует уровню деградации «Норма», к общему количеству пикселей прямоугольного выделения эталонного полога насаждения, заведомо находящегося в состоянии «Норма».

Критерий относительной площади устанавливает соотношение площади горизонтальной проекции полога древостоя, находящегося в состоянии «Норма», ко всей проектной площади исследуемого насаждения полога. Это позволяет учитывать потери площади полога, выявлять и оценивать его сохранность. Фотоэталонирование крон отдельных деревьев или однорядных насаждений производится по космоснимкам разрешением до 2,5 м или космокартам масштабом до 1 : 12 500. Для автоматизированного, компьютерного расчета уровня деградации насаждений «Норма»,

«Риск», «Кризис», «Бедствие» применяется разработанный критерий относительной площади полога. Визуальное дешифрирование по фотоэталонам производится методом выбора из таблиц изображения, наиболее подобного исследуемому объекту, для чего применяются разработанные фотоэталонны.

Автоматизированное дешифрирование космоснимков позволяет получить предварительную карту контуров и вычислить значения площадей лесных полос в автоматическом режиме. Карта контуров полейзащитных лесных полос СПК «Кубанец» Тимашевского района создана по результатам компьютерного дешифрирования космоснимков.

В ходе полевого эталонирования космоснимков высокого разрешения на таксационно-дешифровочных пробных площадях и камерального дешифрирования разрабатываются дешифровочные признаки основных видов лесных насаждений, формируется база эталонов преобладающих схем смешения лесных полос, характеризующих состояние насаждений в данный возрастной период для исследуемого района.

Стереофотограмметрическое дешифрирование космоснимков производится при помощи программного комплекса «Талка», предназначенного для обработки аэроснимков и космоснимков Ikonos, Quick Bird и SPOT-5.

Способ определения состояния насаждения по его сохранности на основе гистограммного анализа распределения пикселей по относительной плотности полога запатентован. Суть данного способа заключается в следующем. Полог нормального сомкнутого насаждения и полог распадающегося насаждения имеют различные яркостные характеристики. Эти отличия видны на гистограмме распределения пикселей, что позволяет количественно оценить состояние лесной полосы по среднему значению фототона. Для качественной характеристики состояния насаждений нами использовалась 6-балльная шкала лесоводственно-мелиоративной оценки академика Е.С. Павловского, адаптированная под данный способ, учитывающая состав пород, высоту и конструкцию насаждений для конкретных лесорастительных условий.

По завершении полевого эталонирования и камерального дешифрирования на основе полученных данных нами была создана агро-

лесомелиоративная геоинформационная система Тимашевсокого района на базе программного пакета «MapInfo». Фрагменты агролесомелиоративной геоинформационной системы о состоянии лесных насаждений содержат картографическую информацию, таксационно-мелиоративную характеристику и пространственные координаты каждой лесной полосы. В ГИС были получены картографические модели защитных лесных полос, которые позволяют оценить пространственное размещение насаждений и определить виды, объемы и очередность лесохозяйственных мероприятий, направленных на увеличение долговечности лесных полос с пространственной привязкой к каждому насаждению. То есть, зная географические координаты лесной полосы, можно проводить точные лесохозяйственные мероприятия не по всему профилю насаждения, а только в его худших по состоянию участках.

Таким образом, разработанная ГИС может поддерживать в актуальном состоянии базы данных с таксационно-мелиоративной характеристикой о каждой лесной полосе и картографическую информацию, обеспечивать оперативное внесение текущих изменений на естественный рост насаждений и хозяйственную деятельность. На базе агролесомелиоративной ГИС целесообразно проведение мониторинга состояния насаждений и обновление лесных карт, планирование и проектирование лесохозяйственных мероприятий. Кроме того, она дает возможность получать различную информацию через систему программных запросов для анализа, принятия решений и планирования ведения лесного хозяйства.

Реализация предложенного способа оценки деградации лесных насаждений основана на дешифрировании изображений на основе систематического эталонирования и пиксельного анализа.

Таким образом, использование предлагаемой технологии позволяет:

- произвести расчет показателей, характеризующих состояние агроландшафта;
- выполнить анализ пространственной изменчивости состояния земель по рассчитанным характеристикам;
- проанализировать границы зон нормы, риска, кризиса и бедствия и определить тенденции развития экологической ситуации;

- составить прогноз изменения состояния агроландшафта при действии определенных факторов.

Современные компьютерные технологии позволяют в приемлемом временном режиме выполнять целенаправленную обработку и автоматизированную интерпретацию огромных массивов динамических картографических данных. Новая эффективная технология оценки и прогнозирования изменения агроландшафтов с применением геоинформационных программных комплексов является основой для разработки математико-картографических моделей агроландшафтов. Анализ рисунка и размера фотоизображения участков поверхности почвы дает возможность идентифицировать вариант, глубину и степень деградации почв. Разработанные и обоснованные полевыми наблюдениями дешифровочные признаки и регрессионные модели обеспечивают определение варианта и степени деградации почв. Картографическое моделирование визуализирует данные о процессах в агроландшафтах, согласует их численными методами во времени и по типам физических процессов, синтезирует новые параметры, автоматизирует расчет и графическое отображение процессов деградации. Разработанная технология осуществляется по этапам.

На первом этапе – инвентаризационном – проводится сбор всей имеющейся информации об объекте обустройства: картографические материалы, аэро- и космоснимки, литературные и статистические данные и т. д. Осуществляется предварительное дешифрирование аэро- и космоснимков визуальными и автоматизированными методами. На данном этапе используются крупномасштабные космоснимки, которые позволяют исключить рекогносцировочные объезды территории и наметить в камеральных условиях объемы полевых работ. Для подробного описания почвенно-растительного покрова с привязкой к каждому структурному элементу проводится ландшафтно-экологическое профилирование на ключевых участках.

На втором этапе – оценочно-картографическом – выполняется построение цифровой модели рельефа и составление ландшафтной карты, на их основе создаются производные оценочные карты.

Цифровая модель рельефа (далее – ЦМР) строится по регулярной ячеисто-узловой модели отметок высот. На основе ЦМР создается ландшафтная карта с использованием метода пластики рельефа.

Наличие собственного архива аэрокосмоснимков во ВНИАЛМИ, возможность получения космоснимков высокого разрешения, использование их для проведения экспериментальных работ, необходимое программное обеспечение, внедрение системы GPS для прецизионной привязки координат обеспечили возможность точного (координатного) подхода к технологиям мониторинга ландшафтов.

Концепция мониторинга на основе интеграции достижений аэрокосмических исследований и компьютерного картографирования предполагает использование методологии математико-картографического моделирования ландшафтов в трех пространственно-временных срезах: 1) восстановленных (доземледельческих), 2) современных деградированных и 3) фито-, лесомелиорированных с прогнозом динамики деградационных процессов в перспективе.

В целом методология мониторинга предполагает: камеральное дешифрирование среднemasштабных аэрокосмических снимков ландшафтов (М 1 : 10 000 – 1 : 100 000) при разрешении до 30 м; камеральное и полевое дешифрирование крупномасштабных аэрокосмических снимков лесомелиоративных объектов (до М 1 : 10 000) при разрешении до 10 м; полевое дешифрирование аэрокосмических снимков высокого разрешения (до 3 м) точечных объектов (фрагментов лесных полог, биогрупп деревьев).

При этом необходимо на всех этапах проводить полевое эталонирование снимков с выборочными исследованиями на калибровочных ключевых участках, анализ разновременных аэрокосмоснимков и материалов более ранних годов наблюдений, составление тематических космокарт исследуемой области по видам мелиорации, корректировка координат при помощи системы GPS, составление ландшафтных планов лесомелиорации земель.

Цифровая картографическая модель включает растровую (аэрокосмическое изображение) и топографическую (карта) модели

местности, изолинейные модели растительности и рельефа, почвенную модель, векторную модель крутизны и экспозиции склонов и трехмерную модель рельефа.

Построение модели ландшафта основано на использовании нескольких источников информации, а именно: аэрокосмоснимка участка поверхности, ландшафтной карты, топографической карты на этот же участок поверхности, почвенной карты, карты растительности и др., а также данных GPS-обследования модельных точек с уточнением их топографических координат и отметок высот. Аэрокосмоснимки рассматриваются как основной источник данных для моделирования состояния ландшафта, при этом сам снимок, представленный в оцифрованном виде, уже является растровой моделью поверхности.

Важным является моделирование крутизны склонов, которое осуществляется для оценки эрозионной опасности и используется при построении соответствующего картографического слоя синтезированной модели ландшафта. В результате моделирования разрабатывается векторная модель протяженности и крутизны склонов, наглядно показывающая наиболее эрозионно опасные участки.

Практическое применение предлагаемого способа прогнозно-динамического картографирования и моделирования пастбищных ландшафтов Северо-Западного Прикаспия показали его высокую эффективность и результативность. Общая обследованная площадь превысила 4,4 млн га. По результатам этого обследования составлена космокарта деградации растительного травянистого покрова на исследуемой территории, на которой выделены цветом участки пастбищ с различным уровнем деградации. При этом к сильно деградированным участкам, требующим специальных, точно ориентированных по почвенным и растительным условиям планов восстановления, можно отнести уголья, занимаемые в настоящее время подвижными (открытыми) песками, сильносбитыми пастбищами и солончаками, что составило 1,4 млн га.

Реализация системы мониторинга на основе геоинформационных исследований состояния ландшафтов обеспечила создание картографических геоинформационных

слоев деградации за 2002, 2007, 2010 гг., на основе космоснимков со спутников Landsat 7 (2002 г.), IRS-5 (2007 г.) и GeoEye (2010 г.) с нормированным размером пикселя для всех снимков – 100 м, с нормированными

яркостью, контрастностью и цветовым балансом. Нормирование величин тона изображения и размера пикселя обеспечивает сравнимость результатов расчетов площадей объектов (см. рис. 1).

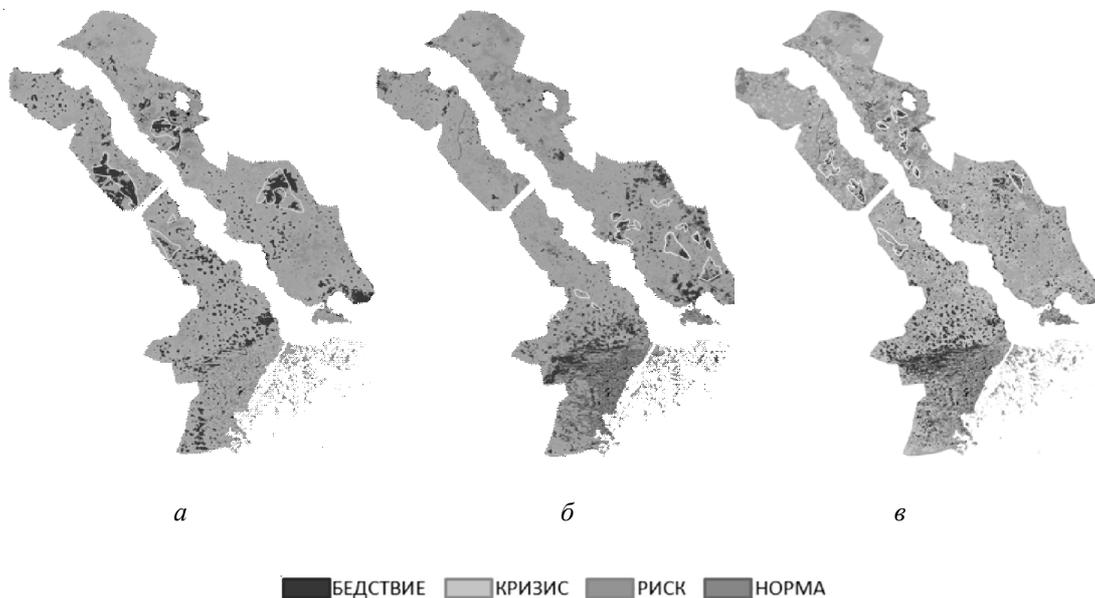


Рис. 1. Картографические слои деградации ландшафтов:

а – 2002 г.; б – 2007 г.; в – 2010 г.

В результате исследований получены данные об изменении уровня деградации ландшафтов на территории Астраханской области, которые свидетельствуют о нарастании самого опасного вида деградации – опустынивания; площадь открытых и скальпированных поверхностей в 2010 г. достигла 0,765 млн га, что составляет 19 % от общей площади исследования, а в 2002 г. было 0,416 млн га или чуть больше 10 %. Таким образом, произошло увеличение площади опустынивания в 1,9 раза.

Кроме того, общая площадь недеградированных участков сократилась с 1 % (2002 г.) до 0,4 % (2010 г.).

Источник опустынивания – это ландшафты с уровнем деградации «Кризис», обеспечившие прирост опустынивания к 2010 году. В общей сумме площади деградированных ландшафтов с уровнями «Бедствие» и «Кризис» в Астраханской области составляют 3,631 млн га или 93 %.

Интересны данные о количестве и площадях деградированных участков, распре-

деленных по классам площади. Нами предложена логарифмическая шкала классов площади, включающая следующие классы: 0–10 га; 10–100 га; 100–1000 га; свыше 1000 га.

Рассмотрим распределение участков опустынивания (уровень деградации «Бедствие») по классам площади для трех временных срезов (см. рис. 2).

Можно отметить увеличение количества участков опустынивания к 2010 г. для всех классов площадей. Наибольшее абсолютное увеличение приходится на класс «до 100 га»: 1 526 в 2010 г. и всего 575 в 2002 году. По относительному увеличению можно отметить класс «до 10 га», где количества участков увеличилось в 5,27 раза.

Анализ гистограммы показывает экспоненциальное нарастание площади опустынивания практически по всем классам площадей, что подтверждает тезис о катастрофическом характере деградационных процессов.

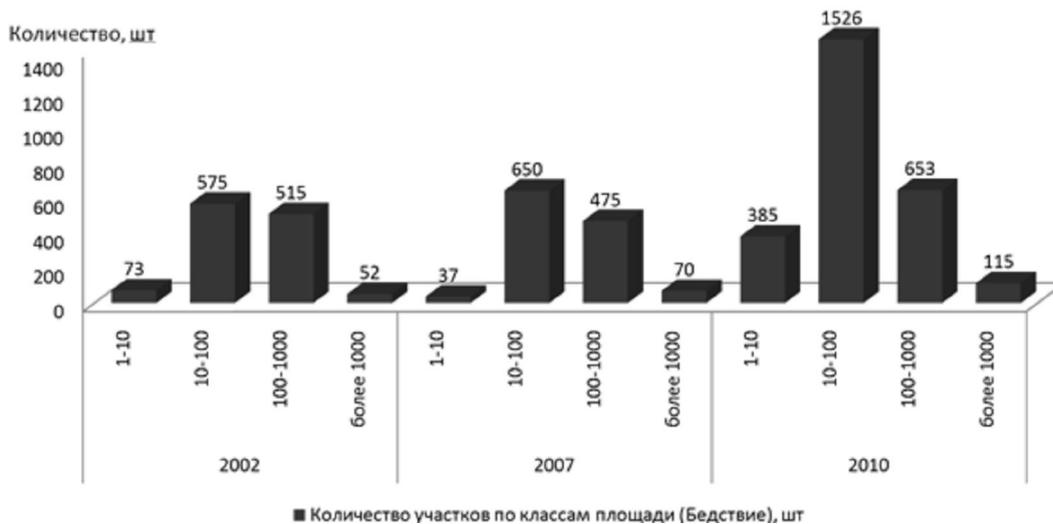


Рис. 2. Изменение количества участков по годам

На рисунке 3 показано увеличение площади деградации по уровню бедствие за 8 лет и линия тренда с прогнозом до 2017 года.

Для осуществления прогноза развития деградационных процессов в ландшафтах Астраханской области на основе полученных данных разработано логистическое уравнение в виде:

$$S_B = (316\ 000 / (0,531 + 285 \times \text{EXP}((-0,807) \cdot x))) + 415\ 882,$$

где S_B – площадь деградированных участков («Бедствие»);
 x – время от начала исследований, год.

За основу выбрано изменение площади опустынивания ландшафтов в регионе исследований за 10-летний период.

Это уравнение дает возможность осуществлять прогноз изменения площади деградирующих в сторону опустынивания ландшафтов без учета возможных мероприятий по их мелиорации.

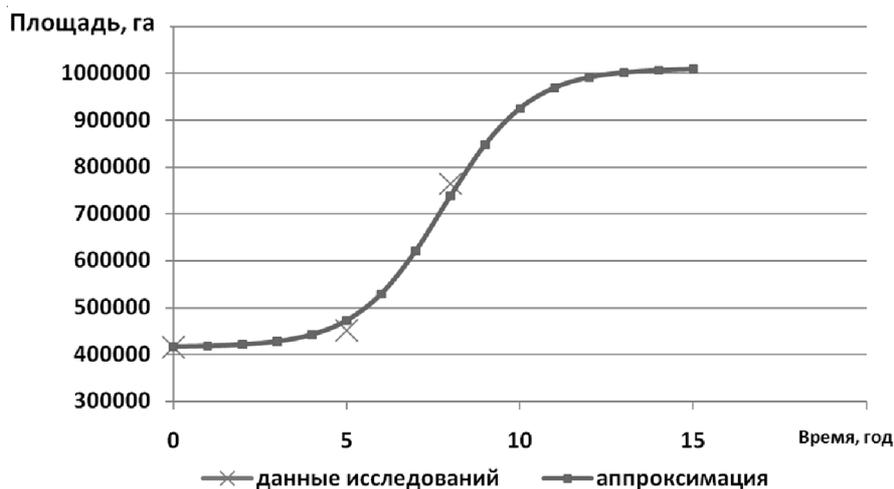


Рис. 3. Изменение площади деградации по уровню «Бедствие»

Практическое применение геоинформационных технологий для осуществления прогнозно-динамического картографирования и моделирования ландшафтов Астраханской

области показали его высокую эффективность и результативность. Общая исследованная площадь превысила 3,9 млн га. В результате разработана локальная ГИС с разновремен-

ными слоями деградации растительного травянистого покрова, на которой выделены участки с различным уровнем деградации, позволяющая проанализировать происходящие изменения. При этом к сильно деградированным – опустыненным участкам (уровень «Бедствие»), требующим специальных, точно ориентированных по почвенным и растительным условиям планов восстановления, – можно отнести уголья, занимаемые в настоящее время подвижными (открытыми) песками и солончаками, площадь которых к 2010 г. достигла 764,63 тыс. га. Кризисные участки ландшафта (уровень «Кризис») занимают площадь 2 866, 7 тыс. га и являются резервом дальнейшего опустынивания, здесь комплекс мероприятий должен включать как меры по восстановлению, так и меры по ограничению использования вплоть до восста-

новления их продуктивности. Умеренно деградированные ландшафты (уровень «Риск») имеют площадь 336,9 тыс. га. На данных территориях необходимо проведение фитомелиоративных мероприятий для восстановления экологического баланса и проективного растительного покрытия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградов, Б. В. Основы ландшафтной экологии / Б. В. Виноградов. – М. : Геос, 1998. – 418 с.
2. Геоинформационные технологии в агролесомелиорации / А. С. Рулев [и др.]. – Волгоград : Изд-во ВНИАЛМИ, 2010. – 102 с.
3. Методические указания по ландшафтно-экологическому профилированию при агролесомелиоративном картографировании / К. Н. Кулик, Е. С. Павловский, А. С. Рулев [и др.]. – М. : Изд-во РАСХН, 2007. – 42 с.

REMOTE MONITORING OF THE AGRO FORESTRY LANDSCAPES WITH APPLICATION OF THE GIS-TECHNOLOGIES

A.S. Rulev, V.G. Yuferev, A.V. Koshelev, N.A. Tkachenko

Geoinformation technologies ensure the application of the program-technical means of processing, transfer and analysis of the information when planning of the agro forestry landscapes. The article presents the results of the agro-landscapes of the steppe, dry steppe and semi-desert zones of the Russian Federation. The use of the GIS-technologies and aerospace information for monitoring of the state of agro-landscapes provides its relevance and credibility. Use of GIS-technologies for monitoring, mapping and modeling of the agro-landscapes of the North-West Caspian region showed its high effectiveness. The total surveyed area exceeded 4,4 million hectares.

Key words: *landscape, geographical information system, monitoring, mapping, degradation, grazing, vegetation cover, space photos, remote.*