

УДК 528:634.958

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ОЧАГОВ ОПУСТЫНИВАНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2013 г. К.Н. Кулик, А.С. Рулев, В.Г. Юферев

*Всероссийский научно-исследовательский институт агролесомелиорации РАСХН  
Россия, 400062 г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 97. E-mail: vyuferev1@rambler.ru*

Поступила 05.04.2012

Изучена структура очагов опустынивания ландшафтов Астраханской области. Дана оценка деградации на основе аэрокосмической информации и оценки распределения очагов по классам площади. Проведен анализ изменения площади очагов опустынивания по трем временным периодам. Разработана модель прогноза опустынивания при сохранении существующего тренда.

*Ключевые слова:* опустынивание, деградация, моделирование, космические снимки, геоинформационные системы, очаги, площадь, корреляция, регрессия, анализ.

В настоящее время математическое моделирование в сочетании с картографическими исследованиями становится одним из основных подходов в количественном описании процессов деградации в агроландшафтах. Среди существующих методов оценки деградации и опустынивания наибольший интерес представляют такие, которые обеспечивают прогноз изменений, происходящих в ландшафтах при реальной вариации внешних и внутренних факторов, определяющих такие изменения. Фактически прогнозирование динамичных процессов деградации носит вероятностный характер, а сам прогноз является результатом математического описания развития ситуации в зависимости от изменения наиболее значимых факторов (Виноградов и др., 2000). Основываясь на разработанных ранее критериях экологического состояния (норма, риск, кризис и бедствие) (Виноградов, 1993), для различных видов агроландшафтов определяются динамические критерии. Особенно яркие и быстротечные процессы деградации в переходных зонах, в частности, в ландшафтных экотонах между степью и полупустыней. Например, Черные земли Калмыкии в 1970-х гг. по относительной площади разбитых песков (до 15%) квалифицировались как зона экологического кризиса, однако по скорости прироста площади разбитых песков в год (более 3%) – как зона экологического бедствия (Виноградов, 1998). Б.В. Виноградовым выделено четыре класса динамики экосистем: стабильные (или слабо динамичные) экосистемы со скоростью изменений менее 0,5% площади в год; умеренно динамичные экосистемы со скоростью изменений до 1-2% площади в год; средне динамичные экосистемы со скоростью изменений до 2-3% площади в год; сильно динамичные экосистемы со скоростью изменений 3-4% и более площади в год.

Геоинформационный анализ ландшафтов может быть использован в качестве инструмента выявления динамики опустынивания, определения изменения их характеристик, что позволяет обеспечить рациональное использование ресурсов для ликвидации очагов опустынивания или введения особого режима их использования.

### Объекты и методы

Основная задача исследований – выявление состояния и определение основных тенденций изменения ландшафтов на территории Астраханской области, подверженных деградации и опустыниванию, определение динамики этих процессов.

Астраханская область расположена на Прикаспийской низменности. Почвенный покров характеризуется большим разнообразием и пестротой. Он представлен малопродуктивными засоленными, солонцеватыми и заболоченными почвами (80% территории) и плодородными массивами аллювиальных почв поймы и дельты Волги.

Выбор объекта исследований осуществлялся в соответствии с поставленной задачей – выявления

закономерностей деградации и опустынивания земель северо-восточной части Прикаспийской низменности. При анализе изображений, участки с солончаками были выделены в отдельную группу.

Ретроспективный ландшафтный анализ исследуемой территории показывает, что относительно молодая морская равнина имеет маломощные почвы (30-40 см.), что позволяет отнести имеющиеся здесь ландшафты в кластер неустойчивых. То есть, любое негативное воздействие на почвенный покров, несомненно, является толчком к развитию процессов деградации, и, в конечном итоге, ведет к опустыниванию территорий с увеличением открытых поверхностей.

Оценка деградации ландшафтов основывается на математическом и пространственном описании процессов изменения экологического состояния с составлением тематических карт по существующим видам и уровням деградации ландшафтов, а также прогнозных карт экологического состояния ландшафтов.

Источниками аэрокосмической информации являлись космоснимки, получаемые со спутников «GeoEye», «Ikonos», «QuickBird», «OrbView», «SPOT», «Worldview», «IRS», «Landsat-7», «Ресурс ДК», «Метеор 1М» и архивные аэрофотоснимки ВНИИЛМИ.

На начальном этапе с использованием специализированных программных комплексов «Талка 3.2», «Mapinfo», «Global Mapper», «SAS planet» и ряда других была создана многослойная локальная геоинформационная система, объединяющая растровые, векторные, атрибутивные данные на регион, которая позволила оперировать геокодированной информацией для создания новых, аналитических слоев.

Этап анализа разновременных картографических слоев заключался в создании картографических контуров деградированных участков и последующем вычислении их площадей.

При математико-картографической обработке ряды полученных данных о площадях деградации земель сопоставлялись с временными рядами. В результате с использованием статистических программных комплексов Statistica 6.0 и Graphical Analysis 3.1 были выявлены корреляционные связи, уточнена вариабельность и проведен регрессионный анализ с определением зависимостей, описывающих изменения площади деградированных участков поверхности по годам исследований.

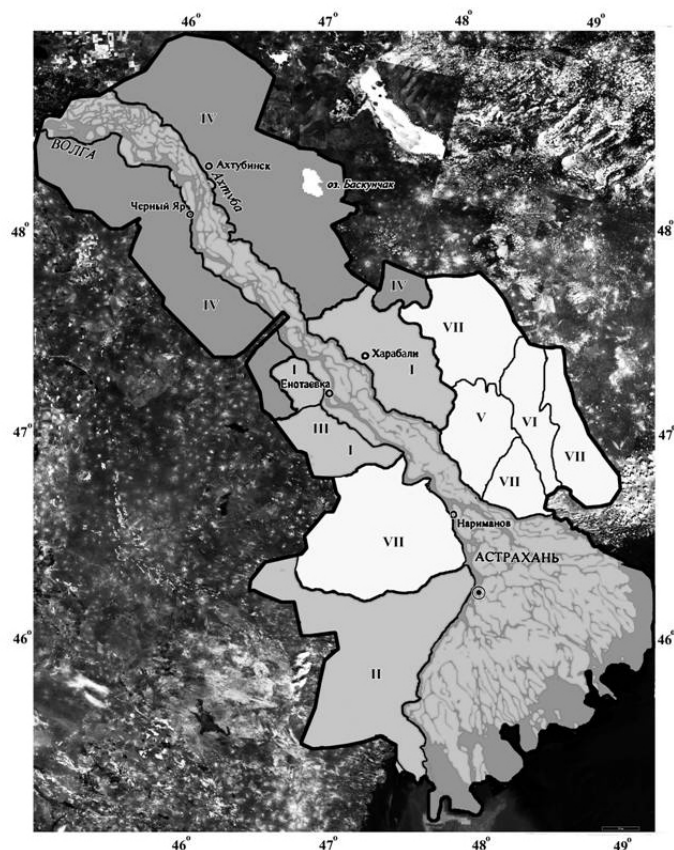
Подробно методика геоинформационных исследований ландшафтов изложена в более ранних работах (Юфев и др., 2010, Кулик и др., 2009., Рулев и др., 2011).

Геоинформационные исследования ландшафтов обеспечили создание цифровых картографических 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), яркости, контрастности и цветового баланса. Нормирование величин тона изображения и пикселя обеспечивало сравнимость результатов расчетов площадей объектов и осуществлялось с использованием процедур программного комплекса по обработке космоснимков ENVI.

### Результаты исследований и их обсуждение

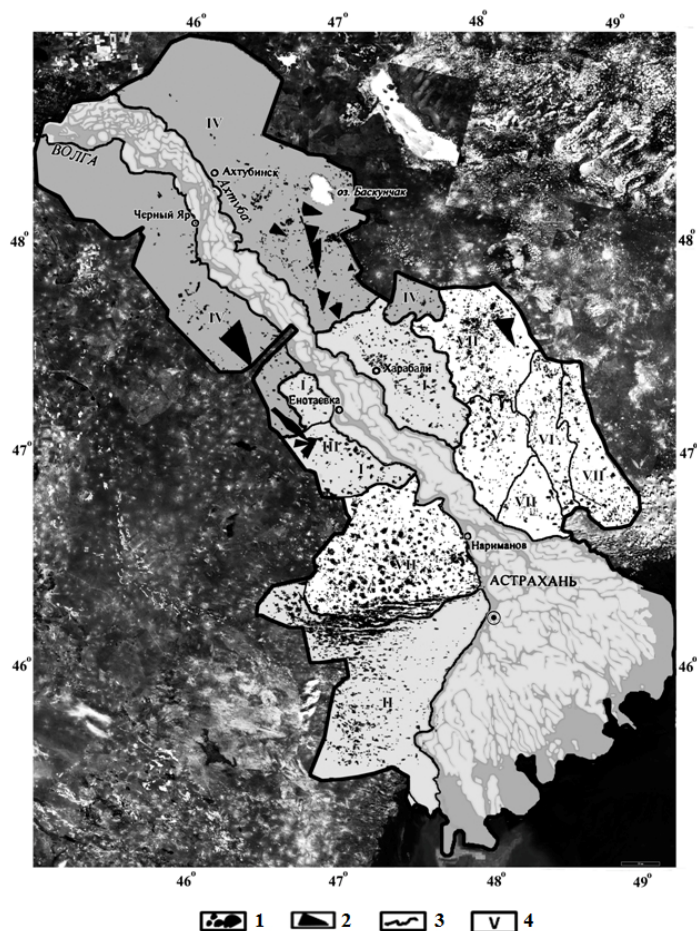
Картографирование территории, подверженной процессам опустынивания проводилось на территории области без учета пойменно-дельтовых ландшафтов реки Волга. С использованием геоинформационных технологий и космоснимков были созданы цифровые картографические растровые слои – ландшафтная карта и космокарта деградации ландшафтов (рис. 1, 2). Предварительный комплексный анализ этих слоев позволил инструментальными методами на космокарте выделить полигоны (в нашем случае под полигоном понимается конечное упорядоченное множество точек земной поверхности, ограниченной ребрами, точки пересечения которых, являются его вершинами, а общая совокупность ребер является его границей), близкие по геоморфологическим, морфометрическим, оптическим и другим формальным признакам. Такое выделение является условным, особенно при существующей мозаичности почв и растительности. Однако их использование является важным для последующего определения деградированных ландшафтов и их границ, а также выявления тенденций их деградации, а также определения направления изменений, происходящих в отдельных частях целого с точной, координатной привязкой объектов.

Картографический слой – «Обзорная карта» использовался для выявления географических координат очагов деградации и создания векторных геоинформационных слоев "Полигоны", "Очаги деградации" с привязкой к координатам атрибутивной информации (периметры, площади и т.д.).



**Рис. 1.** Картографический слой – ландшафты. Условные обозначения – **ЛЕГЕНДА к ЛАНДШАФТНОЙ КАРТЕ. Ландшафтные комплексы морских переувлажненных равнин:** I – бугристо-грядовые ландшафты "бэровских" бугров с белопопынно-прутняковыми (*Kochia prostrata-Artemisia lerchiana*) сообществами на бурых солонцеватых и солончаковатых супесчаных почвах; II – Ильменно-бугровые ландшафты с сорно-попынной растительностью на бурых супесчаных почвах "бэровских" бугров, злаково-разнотравными лугами и тростником на ильменных почвах по берегам ильменей; III – пологоволнистые ландшафты с бурыми супесчаными почвами в комплексе с солонцами, редко солончаками, единичными язвами, дефляции. **Ландшафтные комплексы морских равнин:** IV – плоские и волнисто-равнинные ландшафты с попынно-злаково-ромашниковыми (*Tanacetum achilleifolium-Gramineae-Artemisia lerchiana*) сообществами на светло-каштановых и бурых суглинистых и глинистых почвах

в комплексе с солонцами, ложбинами, западинами и микропонижениями. **Ландшафтные комплексы золово-аккумулятивных равнин:** V – бугристые разбитые и слабозаросшие пески с барханными комплексами, джужгуном (*Calligonum* spp.) по вершинам и склонам песчаных бугров, попынно-злаково-ромашниковой (*Tanacetum achilleifolium-Gramineae-Artemisia lerchiana*) изреженной растительностью по понижениям, почвенный покров слабо развит; VI – бугристые слабозаросшие пески с барханными комплексами, озерно-соровыми понижениями и котловинами, псаммофитами и солянками по понижениям; VII – бугристые слабо- и среднезаросшие пески с барханными комплексами, белопопынно-однолетниковыми сообществами, джужгуном и овсом щетинистым (*Avena strigosa*) по разбитым участкам. **Fig. 1. The Map's layer – the landscapes. LEGEND to THE LANDSCAPE MAP. The landscape complexes of the deflated marine plains:** I – hillocks-ridge landscapes of the "Baire" hillocks with white-sagebrush - kochia (*Kochia prostrata-Artemisia lerchiana*) communities on the brown saline and saliniferous sandy loam soils; II – the ilmen- hillock landscapes with weed-sagebrush vegetation on the brown sandy loam soils of "Baire" hillocks, with grass-forb meadows and reed on the ilmen's soils along the bank of ilmen; III – the gentle-wavy landscapes with the brown sandy loam soils in a combination with solonetz, rarely saline soils, single plagues of deflation. **The marine plains landscape complexes:** IV – the flat and wavy plain landscapes with sagebrush-grass-chamomile (*Tanacetum achilleifolium-Gramineae-Artemisia lerchiana*) plant communities on the light-chestnut and brown loamy and the clay soils in a combination with the solonetz, hollows, trough, and microdepressions. **The eolian-accumulative plains landscape complexes:** V – the broken hillock and poorly covered sands with barkhan complexes, calligonum (*Calligonum* spp.) along the peaks and slopes of sand hillock, sagebrush-grass-chamomile (*Tanacetum achilleifolium-Gramineae-Artemisia lerchiana*) thinned plant communities in depressions. The soil cover is undeveloped; VI – the poorly covered hillock sands with barkhan complexes, lake-sors depressions and hollows, psammophytes and saltworts in the depressions; VII – the slightly and medium overgrown hillock sands with the barkhan complexes, sagebrush, calligonum and giant ryegrass (*Avena strigosa*) on the broken areas.



**Рис. 2.** Картографический слой деградации ландшафтов (2010 г.).

Условные обозначения: 1 – очаги деградации "бедствие", 2 – территории пройденные пожарами, 3 – границы ландшафтов, 4 – номера ландшафтных комплексов.

**Fig. 2.** The Map's layer of the landscape degradation (2010). Symbols: 1 – the degradation hotspots with level "disaster", 2 – the area affected by fires, 3 – the borders of the landscapes, 4 – the number of the landscapes complexes.

На следующем этапе были разработаны слои крупномасштабных тематических космокарт региона исследований. При этом были отобраны цифровые и оцифрованы архивные аналоговые разновременные снимки, содержащие полное изображение региона исследований с минимальными, по возможности, искажениями и потерями, и обеспечивающие возможность выявления необходимой информации.

Для обеспечения сравнимости результатов дешифрирования и повышения качества изображения осуществлялась компьютерная коррекция космоснимков (яркости, контрастности, цветовых параметров) с использованием гистограмм распределения цветов в системе RGB, путем выравнивания значений тонов совпадающих по уровню деградации эталонных участков (например, не покрытых растительностью). На основе скорректированных снимков были созданы геоинформационные слои – космокарты опустынивания территории по периодам исследований.

Ландшафты Астраханской области расположены на Прикаспийской низменности, характеризующейся незначительными перепадами высот, поэтому дешифрирование их состояния с достаточной точностью проводилось по одиночным снимкам с распознаванием тона и рисунка изображения.

В связи с тем, что видовой состав фитоценоза не может быть достоверно установлен только по космоснимкам, а проективное покрытие в определенной мере отражает деградацию (Виноградов, 1984), то оно было использовано как основной дешифровочный признак.

Исследования показали (Кулик и др., 2009) взаимосвязь проективного покрытия и фототона цифрового космоснимка. Важно отметить, что наибольшая точность в определении величины проективного покрытия достигается при его значениях от 20 до 60% (Виноградов, 1984). При этом средняя ошибка определения проективного покрытия составляет не более 5%. При величине проективного покрытия меньше 20%, средняя ошибка возрастает незначительно, а все значения более 45% относятся к уровню критерия "норма". Вследствие этого, проективное покрытие можно считать актуальным критерием, а использование дополнительных дешифровочных признаков, например,

рисунок, упорядоченность элементов изображения значительно повышают точность определения уровня деградации, хотя и требуют определенного уровня подготовки дешифровщика.

Определение значений диапазона фототона для дешифрирования состояния проективного покрытия деградированных ландшафтов осуществлялось в соответствии с эталонными значениями, установленными полевыми исследованиями (Кулик и др., 2009). В таблице 1 даны примерные значения диапазонов фототона для различных уровней деградации аридных ландшафтов.

**Таблица 1.** Соответствие диапазонов значений фототона уровням деградации ландшафтов.

**Table 1.** Levels of landscape degradation according to the ranges of the photo-tone values.

Уровни деградации	Проективное покрытие растительности, %	Диапазон фототона, ед.
Бедствие	0-15	140...210
Кризис	15-25	110...139
Риск	25-35	80...109
Норма	35-45	50...90
Солончаки	0-15	105...245

Общая площадь исследованной территории составила 3.98 млн. га. В результате исследований получены данные по динамике площади очагов деградации (табл. 2), которые свидетельствуют о нарастании самой опасного вида деградации – опустынивания в связи с чем, можно отметить, что деградация ландшафтов Астраханской области к настоящему времени приобретает характер экологического бедствия, из-за скорости изменений.

**Таблица 2.** Изменение суммарной площади очагов по уровням деградации в Астраханской области с 2002 по 2010 гг. **Table 2.** Change of the total area of degradation hotspots in the Astrakhan region by the levels of degradation beginning from 2002 to 2010 years.

Год	Площадь участков с разной степенью деградации, га			
	БЕДСТВИЕ	КРИЗИС	РИСК	НОРМА
2002	415882	3291903	205628	73109
2007	451733	3144643	240967	149180
2010	764628	2866716	336903	18276

Площадь открытых поверхностей в 2010 году возросла в 1.9 раза по сравнению с 2002 годом и достигла 0.765 млн. га, что составляет 19% от общей площади исследования (в 2002 было 0.416 млн. га или около 10%).

Общая площадь недеградированных участков сократилась с 1% (2002 г.) до 0.4% (2010 г.).

Пожарами были охвачены в 2002 году 0.166 млн. га, в 2007 г. – 0.073 млн. га и в 2010 г. – 0.067 млн. га (рис. 2). В 2010 г. пожарами вновь были пройдены некоторые территории, горевшие в 2002 г.

Ландшафты, пройденные пожарами отнесены в особую группу ареалов деградации, поверхность которых обнажается и на космоснимках фиксируется как открытая, без растительного покрова.

В Астраханской области наиболее часто подвергаются воздействию степных пожаров полынно-злаковые, ковылково-полынно-разнотравные, полынно-эфемеровые, ковылково-эфемеровые, разнотравно-злаковые, разнотравно-полынные, полынные, ковылковые, эфемерово-полынные растительные сообщества. Наиболее часто горят участки вблизи чабанских точек, населенных пунктов, дорожной сети (Воронина, 2012).

После пожара почва оголяется и покрывается золой, поэтому она быстрее и сильнее нагревается, иссушается, способствуя деградации. Выпавший зимой снег сносится, что приводит к снижению

общего запаса влаги в почве.

Степные пожары снижают экологическую устойчивость пастбищных экосистем. Пастбищные участки, пострадавшие от пожаров, можно эксплуатировать в щадящем режиме лишь на 2-3-й год после пожара, до восстановления дерновинных злаков, в противном случае пастбище легко подвергается дигрессии и превращается в "сбой". Такие участки были выделены на картографических слоях отдельными контурами.

На основании анализа распределения пикселей на изображении с учетом результатов дешифрирования и фотоэталонирования ландшафтов при помощи программного комплекса ENVI были созданы новые геоинформационные слои – уровней деградации, где все ландшафты представлены в 4-х цветном виде по диапазонам тонов пикселей, соответствующим уровням деградации.

Потенциально опасными, обеспечивающими прирост опустынивания к 2010 г., являлись ареалы с уровнем деградации «Кризис». В общей сумме площади деградированных ландшафтов с уровнями «Бедствие» и «Кризис» в Астраханской области составляют 3.631 млн. га или 93%.

Предложена логарифмическая шкала классов площади очагов деградации, включающая следующие классы: 0-10 га; 10-100 га; 100-1000 га; свыше 1000 га. Распределение очагов опустынивания, участков территории с уровнем деградации «Бедствие» было проведено по классам площади для трех временных срезов (табл. 3).

**Таблица 3.** Изменение количества, средней и суммарной площади очагов деградации по классам площади и годам исследований. **Table 3.** Changes of the number, average and total area of the degradation hotspots by the classes of area and the years of research.

Классы площади очагов деградации, га	1-10	10-100	100-1000	более 1000
Год космосъемки	2002			
Количество очагов по классам площади (Бедствие), шт	73	575	515	52
Средняя площадь очага в классе (Бедствие), га	7.4	45.6	286.2	4649.3
Сумма площадей очагов по классам (Бедствие), га	536.2	26208.0	147373.9	241763.9
Год космосъемки	2007			
Количество очагов по классам площади (Бедствие), шт	37	650	475	70
Средняя площадь очага в классе (Бедствие), га	8.6	42.5	322.2	3868.3
Сумма площадей очагов по классам (Бедствие), га	320	27599	153035	270778
Год космосъемки	2010			
Количество очагов по классам площади (Бедствие), шт	385	1526	653	115
Средняя площадь очага в классе (Бедствие), га	6.6	35.9	312.2	4377.3
Сумма площадей очагов по классам (Бедствие), га	2524.54	54836.67	203879.93	503386.38

Отмечено увеличение количества очагов опустынивания к 2010 г. для всех классов площадей. Наибольшее абсолютное увеличение их количества приходится на класс до 100 га 1526 шт. (2010 г.) и всего 575 шт. (2002 г.). По относительному увеличению можно отметить класс до 10 га, где количества участков увеличилось в 5.27 раза. То есть произошло значительное увеличение количества очагов опустынивания во всех классах площадей.

Анализ изменения суммарной площади участков по классам площадей показывает экспоненциальное нарастание площади опустынивания практически по всем классам площадей, что подтверждает катастрофический характер деградационных процессов.

Для моделирования динамики деградационных процессов наиболее адекватна логистическая функция, которая аппроксимируется с высокой точностью (не менее 5%). В ландшафтной экологии (Федоров, 1980; Виноградов, 1995) используется логистическая кривая для определения мощности

показателей допустимых, предельно допустимых, критических и катастрофических нарушений (норма, риск, кризис, бедствие) антропогенной нагрузки на экосистемы.

Для аналитического описания деградационных процессов была выбрана логистическая функция, так как она соответствует априорным представлениям о процессах, происходящих на разных пространственных уровнях (топо-, мезо-, макро-) и во временном аспекте. Кроме того, она и адекватно аппроксимирует процессы и явления, что дает возможность использовать ее для осуществления прогноза.

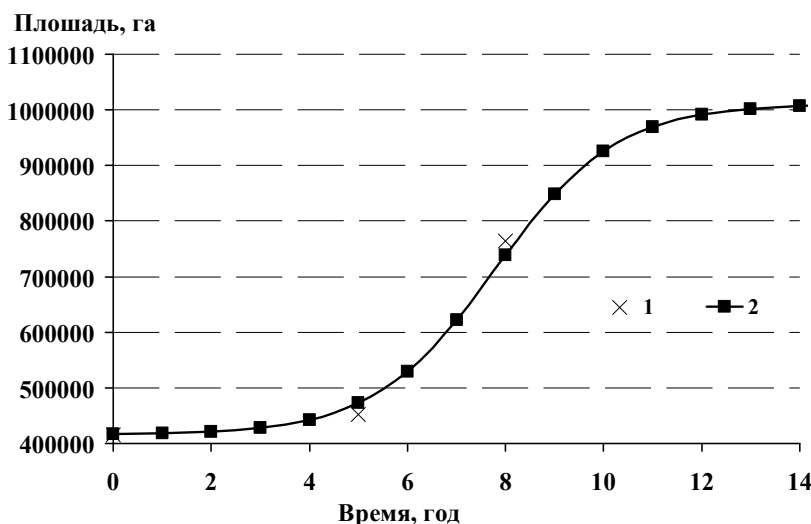
В результате для прогнозирования развития деградационных процессов в ландшафтах Астраханской области было эмпирически получено логистическое уравнение:

$$Sб = (316000 / (0.531 + 285 * EXP((-0.807) * x))) + 415882,$$

где  $Sб$  – площадь деградированных участков (Бедствие),  $x$  – время от начала исследований, год. Стандартная ошибка (RMSE)=1441,  $R^2=0.992$ .

Это уравнение позволяет осуществлять прогноз изменения площади опустынивания ландшафтов, без учета возможных мероприятий по их мелиорации.

На рисунке 3 показано увеличение общей площади очагов опустынивания за 8 лет и линия тренда соответствующая разработанному логистическому уравнению с экстраполяционным прогнозом до 2017 г. при сохранении существующих условий использования земель.



**Рис. 3.** Динамика площади очагов деградации с уровнем «Бедствие» по годам исследований и прогноз до 2017 г.: 1 – данные исследований; 2 – кривая аппроксимации. **Fig. 3.** The dynamics of the area of degradation hotspots to the level of "disaster" by years of research and forecast up to 2017: 1 – research data, 2 – the curve of approximation.

### Заключение

Применение геоинформационных технологий для осуществления прогнозно-динамического картографирования и моделирования деградации пастбищных ландшафтов Астраханской области показали его высокую эффективность и результативность. Общая исследованная площадь превысила 3.9 млн. га. В результате разработана локальная ГИС с разновременными слоями деградации растительного травянистого покрова, на которой выделены участки ландшафтов с различным уровнем деградации, позволяющая проанализировать происходящие изменения. Общая площадь недеградированных земель к 2010 г. снизилась до 18.3 тыс. га. К сильно деградированным – опустыненным участкам отнесены угодья, занимаемые в настоящее время подвижными (открытыми) песками, что к 2010 г. составило 764.63 тыс. га. Кризисные участки ландшафта занимают площадь 2866.7 тыс. га и являются "резервом" дальнейшего опустынивания. Умеренно деградированные ландшафты имеют площадь 336.9 тыс. га.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградов Б.В. 1984. Аэрокосмический мониторинг экосистем. М.: Наука. 320 с.
- Виноградов Б.В. 1993. Биотические критерии выделения зон экологического бедствия РФ // Известия РАН. Серия 5. География. С. 77-89.
- Виноградов Б.В. 1998. Основы ландшафтной экологии. М.: ГЕОС. 418 с.
- Виноградов Б.В., Кошель С.М., Кулик К.Н. 2000. Прогнозирование пространственно-временной динамики экосистем методом универсального кригинга // Экология. № 5. С. 323-332.
- Виноградов Б.В., Шакин В.В. 1995. Логистический подход к нормированию показателей экологического состояния // Оценка качества окружающей среды и экологическое картографирование. М.: ИГ РАН. С. 73-74.
- Воронина В.П., Власенко М.В., Вдовенко А.В. 2012. Восстановление растительности аридных пастбищ астраханской области, подвергшихся пирогенному воздействию // Научное обозрение. № 3. С. 10-17.
- Золотокрылин А.Н., Титкова Т.Б. 2012. Спутниковый индекс климатических экстремумов засушливых земель // Аридные экосистемы. Т. 18. № 4 (53). С. 5-12.
- Кулик К.Н. 2004. Агролесомелиоративное картографирование и фитоэкологическая оценка аридных ландшафтов. Волгоград: ВНИАЛМИ. 248 с.
- Кулик К.Н., Рулев А.С., Юферев В.Г., Бакурова К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю. 2009. Методические указания по дистанционному эколого-экономическому мониторингу аридных пастбищ на основе ГИС-технологий. М.: РАСХН. 38 с.
- Панкова Е.И., Герасимова М.И. 2012. Пустынные почвы: свойства, почвообразовательные процессы, классификация // Аридные экосистемы. Т. 18. № 2 (51). С. 5-16.
- Рулев А.С., Юферев В.Г., Юферев М.В. 2011. Методология геоинформационного моделирования // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. № 5. С. 5-6.
- Федоров В.Д., Гильманов Т.Г. 1980. Экология. М.: Изд-во. Московского. университета. 464 с.
- Юферев В.Г., Кулик К.Н., Рулев А.С., Мушаева К.Б., Кошелев А.В., Дорохина З.П., Березовикова О.Ю. 2010. Геоинформационные технологии в агроресомелиорации. Волгоград: ВНИАЛМИ. 102 с.

# GEOINFORMATION ANALYSIS OF DESERTIFICATION HOTSPOTS IN THE ASTRAKHAN REGION

© 2013. K.N. Kulik, A.S. Rulev, V.G. Yuferev

All-Russian Scientific-Research Institute of Agroforestry  
of the Russian Academy of Agricultural Sciences

Russia, 400062 Volgograd, Universitetskiy Avenue, 97. E-mail: vyuferev1@rambler.ru

The structure of the desertification hotspots of the Astrakhan region landscapes has been studied. The estimation of degradation scale on the basis of the remote sensing information and estimation of the distribution of the hotspots by the area categories is given. The analysis of changes in the area of the desertification hotspots by three time slices is made for three time slices. The prediction model of desertification development under the existing trend has been developed.

**Keywords:** desertification, degradation, modeling, satellite imagery, geographic information systems, hotspots, area, correlation, regression, analysis.