

Естественные науки. 2022. № 4 (9). С. 59–70.

Yestestvennye nauki = Natural Sciences. 2022; 4(9):59–70 (In Russ.)

Научная статья

УДК 574.4:504.054 + 631.4

doi 10.54398/1818507X\_2022\_4\_59

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМЕЛЬ  
АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ В ЦЕЛЯХ УСТОЙЧИВОГО  
РАЗВИТИЯ ТЕРРИТОРИИ**

*Евдокимова Мария Витальевна<sup>1✉</sup>, Яковлев Александр Сергеевич<sup>2</sup>,  
Чжао Лян<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия

<sup>1</sup>soil.resources@mail.ru✉

**Аннотация.** Дана пространственно распределенная оценка экологического состояния земель Астраханской области на основе детальной космической съёмки всей её территории в качестве эталона для дальнейшего мониторинга и контроля деградации земель. Получены карты распределения значений продуктивности земель, а также обобщающего индикатора деградации земель, характеризующего экологическое состояние земель Астраханской области за опорный период с 2001 по 2020 г. Установлено, что к категории потенциально деградированных по индикатору ЦУР 15.3.1 на конец 2020 г. относится 26 % территории области. К категории улучшившихся за этот же период относится 13 % земель, а к их сумме с категорией земель стабильных – 73 %. Выявлены тенденции уменьшения количества фотосинтетически активной биомассы как на всей территории области, так и на эталонных участках памятников природы.

**Ключевые слова:** экологическое состояние земель, математическое моделирование, анализ данных дистанционного зондирования Земли, вегетационный индекс, устойчивое развитие, контроль деградации земель

**Для цитирования:** Евдокимова М. В., Яковлев А. С., Чжао Л. Исследование экологического состояния земель Астраханской области в целях устойчивого развития территории // Естественные науки. 2022. № 4 (9). С. 59–70. [https://doi.org/10.54398/1818507X\\_2022\\_4\\_59](https://doi.org/10.54398/1818507X_2022_4_59).

## INVESTIGATION OF THE ECOLOGICAL STATE OF LANDS OF THE ASTRAKHAN REGION FOR THE PURPOSE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT

*Evdokimova Maria V.<sup>1</sup>✉, Yakovlev Alexander S.<sup>2</sup>, Zhao Liang<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup>Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>1</sup>soil.resources@mail.ru✉

**Abstract.** The spatially distributed assessment of the ecological state of the lands of the Astrakhan region is given. The latter is based on a detailed satellite survey of entire territory as a reference for further monitoring and control of land degradation. The maps of the distribution of land productivity values, as well as a generalizing indicator of land degradation characterizing the ecological state of the lands of the Astrakhan region for the reference period from 2001 to 2020 were obtained. It was found that at the end of 2020 26 % of the region's territory belongs to the category of potentially degraded by the SDG indicator 15.3.1. 13 % of lands belongs to the category of improved during the same period, and 73 % belongs to their sum with the category of stable lands. The trends of decreasing the amount of photosynthetically active biomass both on the entire territory of the region and on the reference sites of natural monuments have been revealed.

**Keywords:** ecological state of lands, mathematical modeling, analysis of Earth remote sensing data, vegetation index, sustainable development, land degradation control

**For citation:** Evdokimova M. V., Yakovlev A. S., Zhao L. Research of the ecological state of the lands of the Astrakhan region for the purposes of sustainable development of the territory. *Yestestvennye nauki = Natural Sciences*. 2022; 4(9):59–70. [https://doi.org/10.54398/1818507X\\_2022\\_4\\_59](https://doi.org/10.54398/1818507X_2022_4_59).

Экологическое состояние земель Астраханской области весьма контрастно, что определяется как естественными климатическими, так и антропогенными факторами. С одной стороны, природные условия региона по большей части малоблагоприятны для жизни населения, что обусловлено расположением территории в зоне полупустыни и пустыни. С другой стороны, развитие своеобразного гидрологического режима в нижнем течении Волги приводит к формированию ежегодно затопляемой полосы плодородных земель длиной свыше 250 км [3], экосистемы которой наиболее подвержены деградации. Нижняя Волга, включающая Волго-Ахтубинскую пойму, дельту Волги и Западный ильмено-бугровый район, представляет собой уникальный природный объект [12], отдельные участки которого охраняются государством в границах Астраханского государственного природного биосферного заповедника [2], а также ряда памятников природы.

Особенности развития экосистем Нижней Волги связаны с сезонными и многолетними изменениями гидрологического режима р. Волги [12], который с 1937 г. формируется в условиях регулирующей работы Волжско-Камского каскада водохранилищ [2, 12], что проявляется в понижении уровня половодья, уменьшении его продолжительности, а также в изменении

интенсивности подъёма и спада половодья на всей территории её бассейна [2].

Изменение гидрологического режима дельты Волги, а также возрастающее антропогенное воздействие промышленных предприятий нефтегазового комплекса, сопровождающееся ростом объёмов выбросов в атмосферный воздух [7], приводит к изменению почвенно-растительных компонентов экосистем Астраханской области. В связи с этим цель исследования – дать пространственно распределённую оценку экологического состояния земель Астраханской области на объективной основе детальной космической съёмки всей её территории в качестве эталона для дальнейшего мониторинга и контроля деградации земель.

Задачи:

1. Выявление закономерностей пространственной изменчивости индикаторов продукционной способности земель Астраханской области.
2. Выявление закономерностей пространственной изменчивости индикатора деградации земель Астраханской области.
3. Выявление тенденций в изменении продуктивности земель на эталонных участках серии памятников природы Астраханской области со временем на основе анализа внутригодовой и межгодовой динамики NDVI (Modis).

**Материалы и методы исследования.** В качестве целевого показателя оценки состояния земель использовали индикатор степени деградированности земель (ЦУР 15.3.1) [1, 15], который представляет собой отношение площади деградированных земель к их общей площади, исключая земли под водой, для каждого пикселя на снимках территории. Один пиксель на снимке соответствует квадрату на местности со стороной 250 м (в случае аппарата MODIS) и 8 км (в случае аппарата AVHRR) (табл. 1) [6]. Этот показатель вычислили для каждого пикселя территории Астраханской области.

Индикатор степени деградированности земель, выражаемый в долях площади, вычисляется путем обобщения трех независимых показателей, которые выступают в качестве его составляющих (субиндикаторов) [6]:

1. Показателя продуктивности земель (Productivity).
2. Показателя оценки последствий от смены типа покрова земной поверхности (Land cover).
3. Показателя оценки изменения запасов углерода органического вещества почвы (Soil carbon).

*Обобщённый показатель продуктивности земель.* По снимкам с 2001 по 2020 г. для каждого года и каждого пикселя вычисляли среднюю за вегетационный сезон величину NDVI, которую и использовали в качестве замены показателя чистой первичной продукции фотосинтеза (NPP). Полученные таким образом значения NDVI служили основой для вычисления трёх величин:

1. Показателя скорости изменения NPP со временем (Trajectory=Trend of Productivity).

2. Показателя текущего состояния производительной способности земель, представляющего собой меру отклонения текущей производительной способности от средней (Perfomance of Productivity) за опорный период (в данном случае с 2001 по 2020 г.).

3. Показателя эффективности производительной способности земель (State of Productivity).

*Показатель характеристик трансформации покровов земной поверхности (Land cover).* Алгоритм получения оценки деградации по критерию перехода земель из одной категории в другую включает попиксельное определение принадлежности земель в течение целевого и опорного периодов и присвоение оценки последнему для земель пикселя наблюдаемому переходу на основе критериальной таблицы. Для учёта изменений типа земной поверхности при оценке состояния и деградации земель использовали базы данных ESA и CCI (табл. 1). Все возможные типы земель предварительно сведены по методике “TrendsEarth” [15] к семи классам растительного покрова (лес, пастбища, пахотные земли, водно-болотные угодья, искусственные территории, голые земли и земли под водой). В данной работе использовали критерии по умолчанию.

*Показатель содержания углерода органического вещества почвы (Soil carbon).* Показатель содержания органического вещества почвы (Soil carbon) рассчитывали по методике “TrendsEarth” [15]. Исходные значения содержания углерода органического вещества в поверхностном 30-сантиметровом слое почвы (SOC) брали из базы данных по запасам углерода SoilGrids (разрешение 250 м) (табл. 1).

Таблица 1

**Источники данных**

Переменная	Сенсор / база данных	Интервал	Пространственное разрешение	Единицы измерения
NDVI	AVHRR/GIMMS	1982–2015	8 км	10000*NDVI
NDVI	MOD13Q1-coll6	2001–2016	250 м	10000*NDVI
Тип растительного покрова	ESA CCI	1992–2015	300 м	Классы / Land cover classes
Почвенные таксономические единицы	Soil Grids – USDA	Статическая величина	250 м	Почвенные выделы / Soil units

Расчеты были выполнены с использованием плагина “TrendsEarth” [15] в QGIS (версия 3.24), который обеспечивает интерфейс доступа к облачным вычислениям на серверах “Google Earth Engine” по методикам “TrendsEarth” [15].

Общая площадь территории, охваченной съёмкой, составила 44 228 км<sup>2</sup>.

Задачу по выявлению тенденций в изменении продуктивности земель на эталонных участках с типичными для Астраханской области растительными сообществами и обеспеченными многолетними подспутниковыми наблюдениями решали на территории памятников природы, созданных в 1985 г. (табл. 2) [8].

Таблица 2

**Информация об особо охраняемых природных территориях**

Название	Район	Долгота	Широта	Площадь, га	Объект охраны
Ситнягово-пырейный луг (Яблонский)	Володарский	48.43	46.22	20	Ситнягово-пырейная растительная ассоциация
Тростниковый луг (Восход)	Володарский	48.45	46.22	20	Тростниковые фитоценозы
Пырейно-прибрежницевоый луг (Марфинский)	Володарский	48.68	46.38	20	Дельтовый луговой ландшафт – пырейно-прибрежницевоый тип луга
Свиной луг (Мешковский)	Володарский	48.67	46.38	20	Дельтовый луговой ландшафт – свиной тип луга
Скрытницево-солеросовый луг (Разбугоринский)	Володарский	48.67	46.38	20	Дельтовый луговой ландшафт – скрытницево-солеросовый тип луга
Прибрежницево-мортуковый луг (Ямнинский)	Володарский	48.77	46.33	20	Дельтовый луговой ландшафт – прибрежницево-мортуковый тип луга
Тростниково-скрытницевоый луг (Конномогойский)	Володарский	48.68	46.45	20	Дельтовый луговой ландшафт – тростниково-скрытницевоый тип луга
Двукосточниково-ситняговоый луг (Большемогойский)	Володарский	48.72	46.32	20	Двукосточниково-ситняговое растительное сообщество
Пырейно-солодковый луг (Рычанский)	Наримановский	48.03	46.52	20	Пырейно-солодковая растительная ассоциация
Остроосоковый, ситнягово-костровый и кострово-подмаренниковый луг (Капустиноярский)	Ахтубинский	45.67	48.48	40	Типичная естественная растительность, представленная остроосоковыми, ситнягово-костровыми и кострово-подмаренниковыми сообществами

Вычисление показателя тенденции (тренда) в изменении продуктивности земель со временем осуществлялось на основе анализа внутригодовой и межгодовой динамики NDVI (тест тренда Манна-Кендалла). Тенденцию в изменении показателя скорости (межгодовой разницы нормированной)

изменения чистой первичной продукции фотосинтеза (NPP) со временем вычисляли методом линейной регрессии усреднённых за вегетационный период величин NDVI по времени для всего опорного периода с 2001 по 2020 г. Полученные результаты оценивали следующим образом: если угловой коэффициент теоретической прямой значительно превышал ноль, делался вывод об улучшении состояния земель по этому показателю, если он равнялся нулю, то делался вывод об отсутствии изменений в состоянии земель по этому показателю, а если он оказывался значительно меньше нуля, делался вывод об ухудшении состояния земель по этому показателю, то есть, о деградации земель. В качестве причин смены тренда чаще всего выявляются антропогенные воздействия, либо климатические изменения [13, 14].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Основным результатом исследования являются карты продуктивности земель (рис. 1) и целевого индикатора деградации в целом по Астраханской области (рис. 2), графики многолетней динамики вегетационного индекса (линия тренда) для всей ее территории (рис. 3) и для каждого из 10 эталонных участков, а также таблица индикатора ЦУР 15.3.1.

На карте оценки состояния земель по комплексному показателю продуктивности (рис. 1) чёрным показаны земли, для которых нет данных, – это в основном земли под водой, зелёным – земли улучшающиеся, жёлтым – стабильные, тремя оттенками фиолетового маркированы категории земель разной степени деградированности в связи с уменьшением продуктивности. Доля деградированных по этому показателю достигает 25,5 %. Наибольшая доля земель, 62,8 %, относится к категории стабильных по этому показателю. На долю улучшившихся и стабильных в совокупности приходится 73,6 %.

Исследование пространственной изменчивости целевого индикатора деградации земель (табл. 3, рис. 2) показало, что к концу опорного периода с 2001 по 2020 г. примерно 26 % территории Астраханской области занято потенциально деградированными землями. В то же время примерно 60 % территории заняты землями из категории стабильных, не изменившихся в течение последних 19 лет. Всего 13 % территории относится к землям улучшившимся. Таким образом, деградированные земли в целом по Астраханской области преобладают над землями, улучшающимися с течением времени, что согласуется с результатами современных исследований [1]. Обращает на себя внимание крупный ареал деградированных земель, приуроченный к дельте Волги, что вероятно является следствием регулирующей работы Волжско-Камского каскада водохранилищ [2, 12].

Таблица 3

**Площади земель разной степени потенциальной деградированности по индикатору деградации ЦУР 15.3.1**

Категория земель	Площадь, км <sup>2</sup>	Доля, %
Всего	44 227,9	100
Улучшившихся	5 634,0	13
Стабильных	26 542,8	60
Деградированных	11 616,4	26
Нет данных	434,6	1

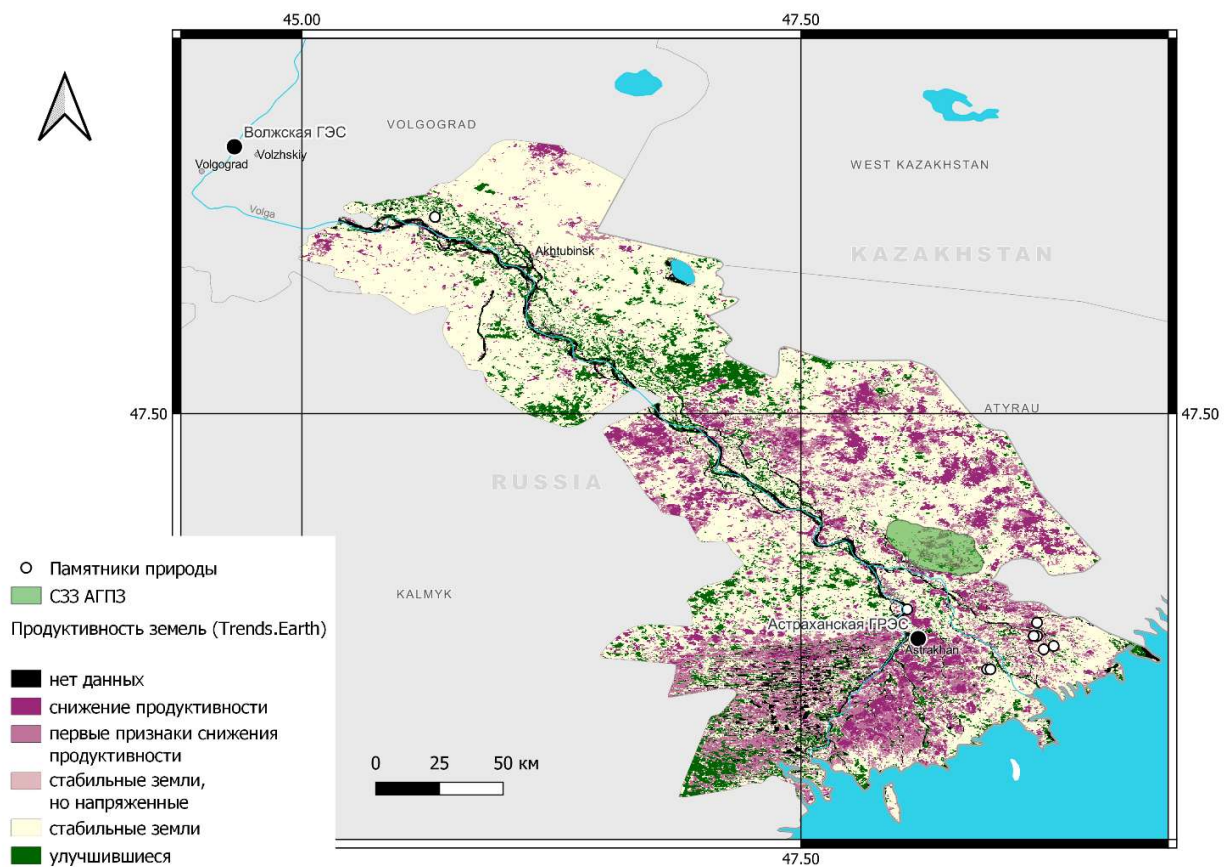


Рисунок 1. Карта продуктивности земель

На засушливых территориях Юга Российской Федерации ведущим фактором деградации земель является недостаток увлажнения, приводящий к их опустыниванию. Так, в период с 2001 по 2018 г. Астраханская область находилась в сухой фазе колебаний увлажнения, а с 1901 г. на исследуемой территории было отмечено в общей численности 20 засух разной степени интенсивности [5].

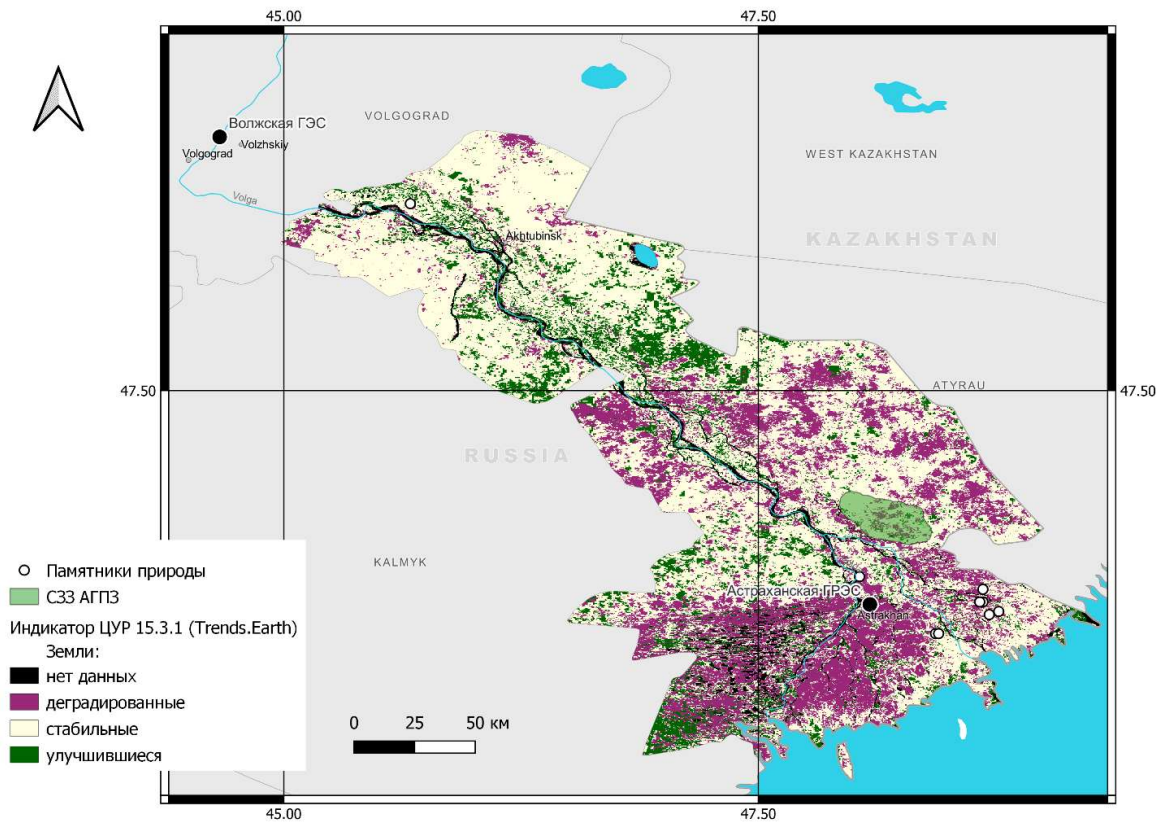


Рисунок 2. Карта земель разной степени потенциальной деградированности по индикатору деградации ЦУР 15.3.1

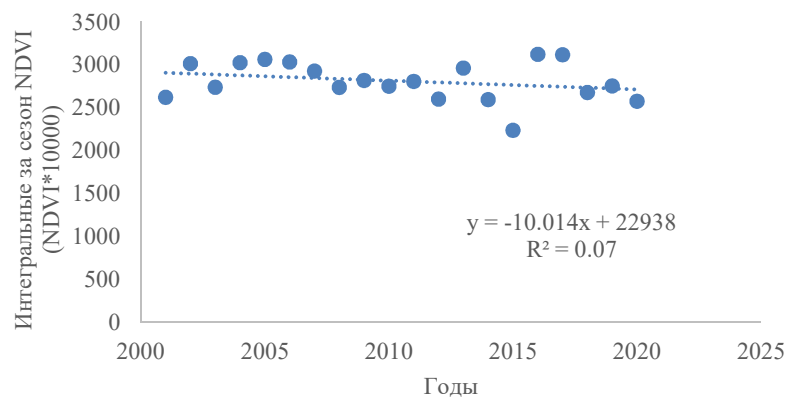


Рисунок 3. Динамика NDVI в целом по Астраханской области, восстановленная из межгодовых приращений среднегодовых величин



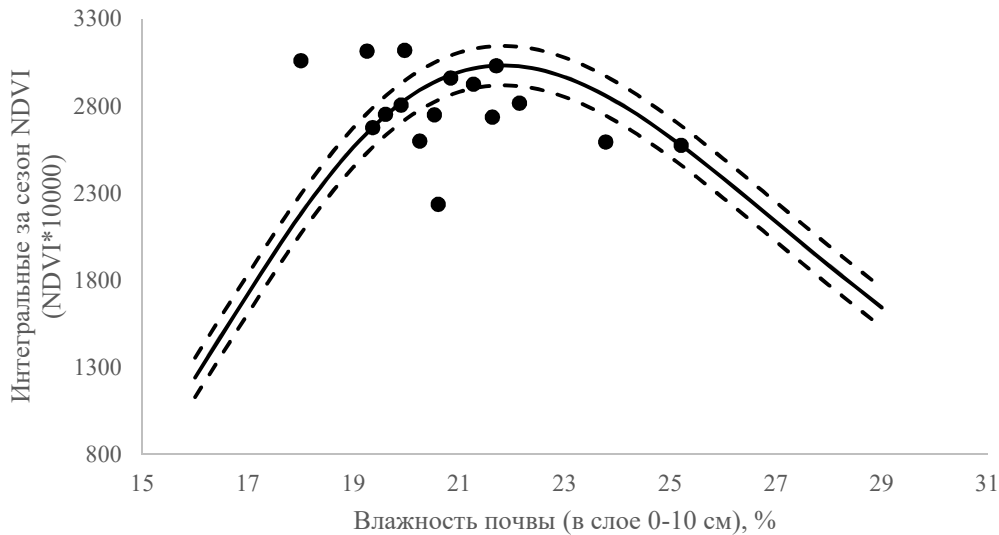


Рисунок 4. Зависимость NDVI в целом по Астраханской области от влажности почв в слое 0–10 см, %. Точки – эксперимент; сплошная линия – по модели [4]; пунктир – доверительные интервалы

Возможность оценки деградации земель как следствия проявления водной и ветровой эрозии почв, а также уменьшения плодородия, засоления, загрязнения и переуплотнения почв на основе анализа трендов межгодовых изменений NDVI в качестве первого приближения с обязательным контролем вклада фактора количества атмосферных осадков и эффективности их использования, подтверждена в ходе глобального исследования [11]. Динамика NDVI в целом по Астраханской области приведена на рисунке 3. Выявлены тенденции уменьшения количества фотосинтетически активной биомассы в форме интегральных за сезон NDVI. Установлена статистически достоверная нелинейная связь между интегральными значениями NDVI и влажностью в поверхностном слое почв (рис. 4):

$$y = (10E + 32) * x^{-16,6} * \exp(-363,3/x).$$

Данные о влажности почв в слое 0–10 см взяты из базы данных Центра коллективного пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (<http://sci-vega.ru>). Анализом особых точек макрокинетической модели [4, 6] найдено оптимальное среднее (интегральное за сезон) значение влажности почвы в десятисантиметровом слое для всей территории области, оно составило 21,8 %.

Анализ трендов изменения продуктивности на эталонных участках, расположенных в дельте Волги, показал, что на преобладающем большинстве участков была выявлена тенденция уменьшения продуктивности по интегральному за сезон индексу NDVI. На участках с порядковыми номерами 1, 7, 9 и 10 угол тренда столь мал, что можно считать, что в среднем за много лет интегральные за сезон величины NDVI, а с ними и чистая первичная продукция фотосинтеза варьируют вокруг постоянной величины.

**Заключение.** В качестве конечного продукта, полученного анализом данных дистанционного зондирования за длительный промежуток времени (с 2001 по 2020 г.), получены таблицы попиксельных геопривязанных значений целевых и вспомогательных индикаторов состояния земель Астраханской области, их картографическое обобщение и результирующие таблицы площадей земель:

- 1) улучшающихся с течением времени;
- 2) не изменяющихся с течением времени;
- 3) ухудшающихся с течением времени;
- 4) не установленного качества.

По результатам обобщения этого материала установлено, что из общей площади земель 44 228 км<sup>2</sup> к категории потенциально деградированных по индикатору ЦУР 15.3.1 на конец 2020 г. относятся 11 616 км<sup>2</sup>, что составляет 26 % территории области. В то же время к категории улучшившихся за этот же период относится 13 % земель, а к их сумме с категорией земель стабильных – 73 %.

Вскрыты элементы динамики показателей состояния земель за базовый период с 2001 по 2020 г., и элементы структуры результирующего показателя деградации земель.

Установлен линейный тренд интегрального за сезон индекса NDVI, имеющий вид:

$$y = -10,014x + 22938.$$

Выявлены тенденции уменьшения количества фотосинтетически активной биомассы.

Установлена статистически достоверная нелинейная связь между интегральными значениями NDVI и влажностью в поверхностном слое почв:

$$y = (10E + 32) * x^{-16.6} * \exp(-363.3/x).$$

Математическим анализом этого уравнения установлена оптимальная величина влажности почвы в десятисантиметровом слое для всей территории области, которая составила 21,8 %. Она делит фазовую плоскость зависимости индекса NDVI от влажности почвы на две области: в первом диапазоне (недостатка влаги) рост содержания влаги в почве сопровождается ростом значений индекса, во втором (избытка влаги) – закономерным уменьшением.

**Финансирование работы.** Исследование выполнено частично при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды», а также в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов» (Номер ЦИТИС: 121040800147-0).

Список литературы

1. Андреева О. В., Куст Г. С. Оценка состояния земель в России на основе концепции нейтрального баланса их деградации // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2020. – Т. 84, № 5. – С. 737–749.
2. Астраханский биосферный заповедник. – URL: <https://astrakhanzapoved.ru/about-us/> (дата обращения: 18.11.2022).
3. Большая Российская энциклопедия. – URL: <https://bigenc.ru/geography/text/1835721> (дата обращения: 20.11.2022).
4. Гендугов В. М., Глазунов Г. П. Макрокинетическая модель микробного роста на многокомпонентном субстрате // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2014. – № 3. – С. 10–16.
5. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад / Р. С. Х. Эдельгериев, А. Л. Иванов, И. М. Донник [и др.]. – Москва : МБА, 2021. – 700 с. doi: 10.52479/978-5-6045103-9-1.
6. Евдокимова М. В. Экологическая оценка состояния земель европейской части России по материалам дистанционного зондирования Земли // Использование и охрана природных ресурсов в России. – 2022. – № 2. – С. 44–54.
7. Объем выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от стационарных источников, расположенных на территории субъекта Российской Федерации. – URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/42982> (дата обращения 11.11.2022).
8. Памятники природы Астраханской области. – URL: <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения: 11.11.2022).
9. Сальников А. Л. Почвенно-растительный покров дельты Волги: продуктивность, динамика, кризисные процессы. – Астрахань, 2009. – 47 с.
10. Сорокин А. П., Федотова А. В., Мельникова Е. С. Влияние рельефа на пространственное варьирование физических свойств в почвах луговых ландшафтов поймы и дельты реки Волги // Естественные науки. – 2020. – № 1. – С. 51–62.
11. Bai Z. G., Dent D. L., Olsson L., Schaepman M. E. Proxy global assessment of land degradation // Soil Use and Management. – 2008. – Vol. 24, iss. 3. – P. 223–234.
12. Kozlova M., Zemlianov I., Gorelits O. et al. PROON. – 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.2815.1848.
13. Li Q. et al. Quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification processes on the Qinghai-Tibet Plateau based on net primary productivity // CATENA. – 2016. – Vol. 147. – P. 789–796. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.005>.
14. Pan N. et al. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends // Remote Sensing of Environment. – 2018. – Vol. 214. – P. 59–72.
15. Trends.Earth. Conservation International. – URL: <http://trends.earth>. 2022.

References

1. Andreeva O. V., Kust G. S. Otsenka sostoyaniya zemel v Rossii na osnove kontseptsii neytralnogo balansa ix degradatsii. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya = News of the Russian Academy of Sciences. Geographic series*. 2020; 84(5):737–749.
2. Astraxanskiy biosfernyy zapovednik. Available at: <https://astrakhanzapoved.ru/about-us/> (accessed: 18.11.2022).
3. Bolshaya Rossiyskaya entsiklopediya. Available at: <https://bigenc.ru/geography/text/1835721> (accessed: 20.11.2022).
4. Gendugov V. M., Glazunov G. P. Makrokineticheskaya model mikrobnogo rosta na mnogokomponentnom substrate. *Vestnik Moskovskogo universiteta = Bulletin of Moscow University. Seriya 17: Pochvovedenie*. 2014; 3:10–16.

5. Edelgeriev R. S. Kh., Ivanov A. L., Donnik I. M. [et al.]. *Globalnyy klimat i pochvennyy pokrov Rossii: proyavleniya zasukhi, mery preduprezhdeniya, borby, likvidatsiya posledstviy i adaptatsionnye meropriyatiya (selskoe i lesnoe khozyaystvo): Natsionalnyy doklad*. Moscow: MBA; 2021:700 p. doi: 10.52479/978-5-6045103-9-1.
6. Evdokimova M. V. *Ekologicheskaya otsenka sostoyaniya zemel evropeyskoy chasti Rossii po materialam distantsionnogo zondirovaniya Zemli. Ispolzovanie i okhrana prirodnkh resursov v Rossii = Use and protection of natural resources in Russia*. 2022; 2:44–54.
7. *Obm vybrosov vrednykh (zagryaznyayushchikh) veshchestv v atmosfernyy vozdukh ot statsionarnykh istochnikov, raspolozhennykh na territorii subkta Rossiyskoy Federatsii*. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/42982> (accessed: 11.11.2022).
8. *Pamyatniki prirody Astraxanskoj oblasti*. Available at: <http://oopt.aari.ru/> (accessed: 11.11.2022).
9. Salnikov A. L. *Pochvenno-rastitelnyy pokrov delty Volgi: produktivnost, dinamika, krizisnye protsessy*. Astrakhan; 2009:47 p.
10. Sorokin A. P., Fedotova A. V., Mel'nikova E. S. *Vliyanie relefa na prostranstvennoe varirovaniye fizicheskikh svoystv v pochvakh lugovykh landshaftov poymy i delty reki Volgi. Yestestvennyye nauki = Natural Sciences*. 2020; 1:51–62.
11. Bai Z. G., Dent D. L., Olsson L., Schaepman M. E. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*. 2008; 24(3):223–234.
12. Kozlova M., Zemlianov I., Gorelits O. et al. *PROON*. 2015. doi: 10.13140/RG.2.1.2815.1848.
13. Li Q. et al. Quantitative assessment of the relative roles of climate change and human activities in desertification processes on the Qinghai-Tibet Plateau based on net primary productivity. *CATENA*. 2016; 147:789–796. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.09.005>.
14. Pan N. et al. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. *Remote Sensing of Environment*. 2018; 214:59–72.
15. Trends.Earth. *Conservation International*. 2022. Available at: <http://trends.earth>.

#### **Информация об авторах**

Евдокимова М. В. – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник;  
Яковлев А. С. – профессор, доктор биологических наук, заведующий кафедрой;  
Чжао Л. – магистрант.

#### **Information about the authors**

Evdokimova M. V. – Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher;  
Yakovlev A. S. – Professor, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department;  
Zhao L. – graduate student.

#### **Вклад авторов**

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Contribution of the authors**

The authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 21.11.2022; одобрена после рецензирования 23.11.2022; принята к публикации 27.11.2022.

The article was submitted 21.11.2022; approved after reviewing 23.11.2022; accepted for publication 27.11.2022.