

ПРОБЛЕМЫ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ И УСТОЙЧИВОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

УДК 631.4:911.52

ДИНАМИКА ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ В РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2022 г. О. С. Безуглова^а, *, И. Н. Ильинская^б, В. Е. Закруткин^а, О. Г. Назаренко^с,
Ю. А. Литвинов^а, Э. А. Гаевая^б, А. А. Меженков^а, А. И. Жумбей^а

^аЮжный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

^бФедеральный Ростовский аграрный научный центр, п. Рассвет, Россия

^сГосударственный центр агрохимической службы “Ростовский”, п. Рассвет, Россия

*e-mail: lola314@mail.ru

Поступила в редакцию 04.07.2021 г.

После доработки 09.09.2021 г.

Принята к публикации 12.10.2021 г.

Проведена оценка состояния геосистем (включая агроэкосистемы) Ростовской области. Для наиболее уязвимого региона – юго-востока области – рассчитаны площади земель, подвергающиеся деградационным процессам, в сравнении со средними показателями по области. Дана сравнительная оценка показателей аридности в пространственно-временном аспекте, особое внимание уделено дефициту увлажнения, являющемуся одним из основных индикаторов засушливости территории. Индекс аридности, определенный с использованием различных методов расчета по данным репрезентативных метеостанций, показал, что засушливость возросла во всех районах области, что свидетельствует об общей тенденции к нарастанию аридности климата. На основе архивных и актуальных спутниковых снимков выполнены расчет нормализованного вегетационного индекса (Normalized Difference Vegetation Index) и оценка изменения состояния естественного растительного покрова для территории Ростовской области: преобладающей для южных, юго-восточных и северных районов области является изреженная растительность, отмечена тенденция к снижению площадей с густой растительностью. В западных и центральных районах области отмечается тренд к постепенному увеличению территорий с густой растительностью. По результатам сплошного агрохимического обследования установлено, что с 1960 по 2000 г. в почвах агроландшафтов наблюдалось постепенное уменьшение гумусированности, кратность снижения за 40 лет составила 1.2–1.3. Однако начиная с 2000-х годов, содержание гумуса в пахотном слое находится в определенном равновесии, характерном для биоклиматических и производственных условий Ростовской области, при отсутствии процессов эрозии снижение содержания гумуса не наблюдается. Проведена также оценка состояния лесных полос на основе данных дистанционного зондирования с привлечением архивных материалов почвенного обследования. Снижение площади лесополос является одним из индикаторов изменения климата и его можно использовать для задач оценки процессов опустынивания.

Ключевые слова: деградация почв, опустынивание, индекс NDVI, аридизация климата, оценка устойчивости экосистем

DOI: 10.31857/S2587556622010034

ВВЕДЕНИЕ

Деградация земель на юге России является одной из важнейших экологических проблем, последствия которой сказываются как на состоянии окружающей природной среды, так и на темпах экономического развития региона. Под термином “земли” нами понимаются “территории, ограниченные однотипным хозяйственным использованием или назначением в рамках естественных или искусственных оконтуривающих границ и обладающие тем или иным почвенным покровом”¹. Следовательно, наиболее общим

свойством земель является их почвенный покров, деградация которого неминуемо приводит к деградации земель. Однако однотипное хозяйствование обеспечивается не только однотипностью почвенных свойств, но и схожими климатическими условиями. Именно поэтому, рассматривая вопросы деградации земель, прежде всего, следует обратить внимание на климатические условия и характеристики почвенного покрова, в том числе проявление эрозии почв, состояние растительности по вегетационному индексу, состояние лесных полос.

Ростовская область является примером разнообразия природных условий: на ее территории в меридиональном направлении степная зона чер-

¹ Письмо Роскомзема от 27.03.1995 № 3-15/582.

ноземных почв сменяется сухостепной зоной с каштановыми почвами, а на крайнем юго-востоке находится зона полупустыни со светло-каштановыми почвами, на долю которой приходится всего 1.2% от общей территории области. Одной из основных причин деградационных процессов является усиление аридизации территорий, в пределах Ростовской области это особенно актуально для условий полупустыни (Безуглова и др., 2019; Bezuglova et al., 2020).

Одним из главных этапов перехода к стабильному развитию является оценка устойчивости локальных и региональных экосистем, определение допустимого на них антропогенного воздействия (Булатов, Игенбаева, 2008; Cardinale et al., 2012). В настоящее время эта задача не имеет достаточно-го теоретического обоснования (Bengtsson et al., 2003; Ускова, 2020), хотя в прикладном аспекте сделано достаточно много (Sachs et al., 2021). Особенно актуальна она для территорий, где антропогенные (природно-антропогенные) системы сформировались на основе слабоустойчивых уязвимых ландшафтов: превышение на них антропогенной нагрузки приводит к деградации и резкому ухудшению качества природы и условий хозяйствования (Elizbarashvili et al., 2018; Hector et al., 1999; Tilman and Downing, 1994). Примером подобной ситуации могут служить юго-восточные районы Ростовской области, граничащие с Калмыкией и Волгоградской областью. Административно это Дубовский, Заветинский, Зимовниковский и Ремонтненский районы, занимающие около 17.5% площади области, или примерно 17520 км².

В пределах означенной территории среди деградационных процессов наиболее интенсивно проявляются ветровая и водная эрозия, дегумификация, засоление почв, опустынивание. Здесь опустыниванием в различных его формах охвачено более половины территории (около 800 тыс. га земель), а остальная часть потенциально опасна в этом отношении (Закруткин и др., 2002б). Развитие этого процесса способствуют засухи и частые суховейные явления, малое количество атмосферных осадков, которое варьирует от 428 мм в год в Дубовском районе до 322 мм в Ремонтненском, что существенно ниже среднеобластного значения (Лурье, Панов, 2018). Коэффициент увлажнения изменяется от 0.32 в Заветинском районе до 0.37 в Зимовниковском, а в летний период снижается до 0.17, что близко к условиям пустыни.

Солонцовые комплексы занимают до 75% всей территории юго-восточных районов, дефлированные почвы — 32%, а подверженные водной эрозии — 36%. Совместное развитие водной и ветровой эрозии наиболее интенсивно проявлено на территории Ремонтненского района. Примечательно, что средние значения по районам в 4 раза

превышают среднеобластной показатель (Закруткин и др., 2002б).

Цель исследований — всесторонний анализ динамики деградационных процессов и их предпосылок (с акцентом на самый уязвимый регион Ростовской области — юго-восток), включающий сопоставление климатических изменений и степени аридности климата за периоды 1961–1990 и 2010–2020 гг., изучение состояния растительного покрова посредством расчета нормализованного вегетационного индекса (NDVI) за эти же годы, динамики содержания гумуса, как интегрального показателя уровня плодородия.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ростовская область находится на юго-западе европейской части России и занимает обширную территорию в речном бассейне Нижнего Дона. По состоянию на 1 января 2021 г. земельный фонд Ростовской области составил 10096.7 тыс. га, из которых земли сельскохозяйственного назначения занимают 8863.1 тыс. га². Согласно природно-сельскохозяйственному районированию земельного фонда России область преимущественно расположена в умеренном природно-сельскохозяйственном поясе. Среднегодовое количество осадков составляет 424 мм. Отличительной особенностью климата является уменьшение осадков с запада (650 мм) на восток (400 мм). Сумма активных температур составляет 3200–3400°C, продолжительность безморозного периода 175–185 дней. Количество дней с суховеями в период с апреля по октябрь колеблется от 90 до 100, индекс аридности равен 0.5 (Золотокрылин и др., 2020; Bezuglova et al., 2020).

Для сравнения климатических характеристик за период 1961–1990 гг. с последним пятилетним периодом 2016–2020 гг. использовали показатели пяти репрезентативных метеостанций (рис. 1). Метеостанция Заветное обслуживает юго-восточную часть Ростовской области на границе с Калмыкией, характеризующуюся крайне засушливым климатом и почти сухим вегетационным периодом с суммой осадков 200 мм и менее. Продолжительные периоды бездождья, суховеи и пыльные бури — обычное явление для данной зоны. Распределение ландшафтов по территориям юго-восточных административных районов Ростовской области характеризуется крайне узким спектром природного разнообразия ресурсов сельскохозяйственного производства. При практическом

² Доклад о состоянии и использовании земель в Ростовской области в 2020 году. Управление Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии по Ростовской области, 2021. <https://rosreestr.gov.ru/site/open-service/statistika-i-analitika/rostovskaya-oblast/svedeniya-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel-v-rostovskoy-oblasti/> (дата обращения 02.07.2021).

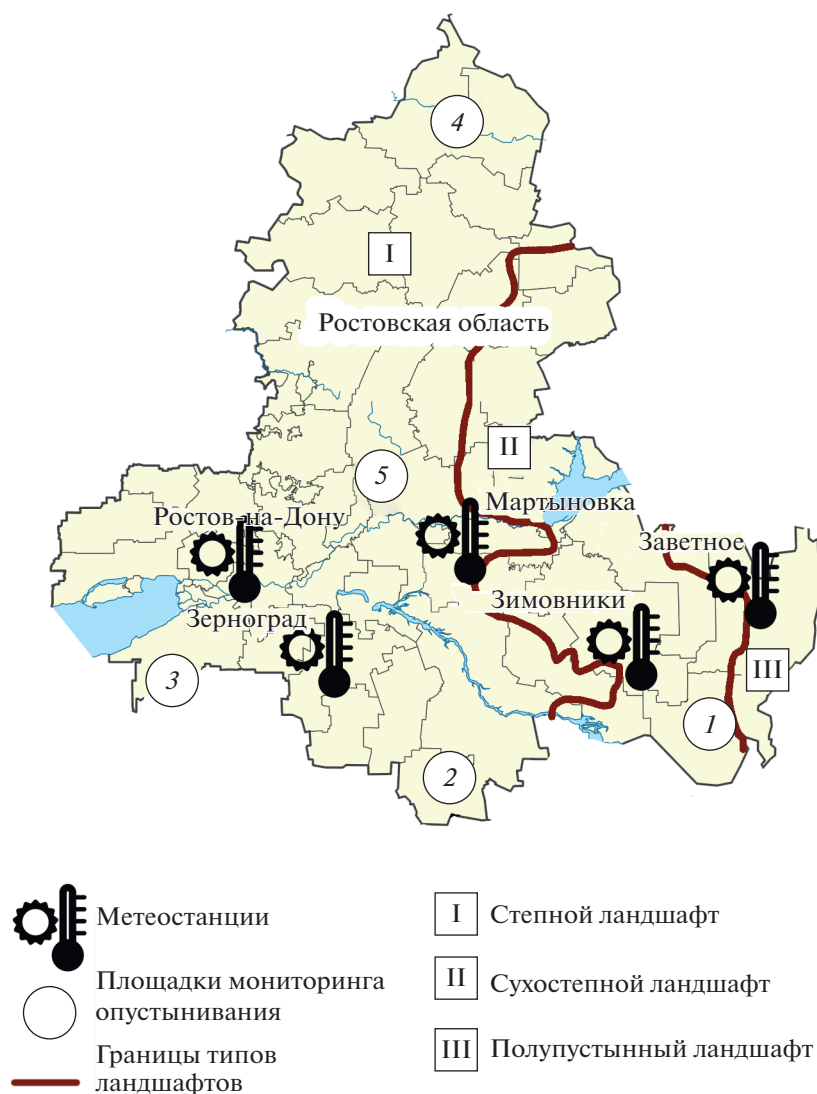


Рис. 1. Расположение площадок мониторинга и репрезентативных метеостанций на территории Ростовской области.

отсутствии полупустынного ландшафта в Дубовском и Зимовниковском районах в Заветинском и Ремонтненском он занимает соответственно 32 и 38% их территории (табл. 1).

Данные других четырех метеостанций (Ростов-на-Дону, зерноград, Мартыновка, Зимовники) позволяют охарактеризовать остальные ад-

министративные районы Ростовской области. В общих чертах климат этой части области можно описать как умеренно жаркий недостаточного увлажнения. Сумма активных температур за вегетационный период достигает 3000–3700°C. Число суховейных дней с относительной влажностью воздуха менее 30% составляет 40–55 дней. Коли-

Таблица 1. Распределение ландшафтов по территориям административных районов юго-востока Ростовской области

Тип ландшафта	Заветинский		Ремонтненский		Дубовский		Зимовниковский	
	км ²	%	км ²	%	км ²	%	км ²	%
Сухостепной	2441.17	52	1737.65	46	3322.68	83	4086.45	81
Полупустынный	1502.25	32	1435.45	38	36.02	0.1	—	—
Луговой	751.12	16	604.4	16	680.54	17	989.55	19

чество атмосферных осадков по сравнению с первым районом возрастает до 250–330 мм (Ильинская, 2005).

С целью изучения процессов опустынивания на территории Ростовской области были выделены 5 мониторинговых площадок (МП), отличающихся по географическому положению, почвенному покрову, характеру растительности, геоморфологии и климатическим особенностям (см. рис. 1). Мониторинговые площадки подбирались с учетом расположения репрезентативных метеостанций.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для решения задач изучения динамики процессов опустынивания на территории Ростовской области были использованы архивные и актуальные материалы почвенного обследования и данные дистанционного зондирования Земли. Архивные материалы о почвенном покрове были предоставлены Государственным центром агрохимической службы “Ростовский”, данные дистанционного зондирования территории области получены из открытых источников³. По методике, разработанной на базе Московского государственного и Южного федерального университетов (Голозубов и др., 2020), проведена выборочная оцифровка материалов средне- и крупномасштабного почвенного обследования⁴ и карт землепользований.

Для классификации климата были использованы следующие показатели: гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК), коэффициент увлажнения по Н.Н. Иванову (K_u), испаряемость (E_0). Рассчитывали также дефицит увлажнения D_u по разности значений испаряемости и атмосферных осадков; индексы аридности по Торнтвейту и по Стенцу (Иванов, 1954; Селянинов, 1928; Хромов, Мамонтова, 1974).

Для межрегиональной оценки биологической продуктивности почв использована величина биоклиматического потенциала (БКП), учитывающего влияние тепла и влаги на продуктивность растений. С ростом температуры до оптимальных значений ускоряются не только биоклиматические, но и биофизические процессы, влияющие на продуктивность растений и почвенное плодородие. Совокупное влияние температурного фактора на продуктивность растений выражено суммой среднесуточных температур более 10°C за период вегетации, т.е. их продуктивность пропорциональна увеличению суммы температур. Такое влияние вы-

ражается формулой для относительных значений биоклиматического потенциала (Шашко, 1985).

$$\text{БКП} = K_{p(KY)} \left(\frac{\sum t_{\text{ак}}}{\sum t_{\text{ак(баз)}}} \right), \quad (1)$$

где БКП – относительное значение биоклиматического потенциала; $K_{p(KY)}$ – коэффициент роста урожайности по показателю атмосферного увлажнения; $\sum t_{\text{ак}}$ – сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации в данном месте, °C; $\sum t_{\text{ак(баз)}}$ – базисная сумма средних суточных температур воздуха за период активной вегетации, относительно которой проводится сравнительная оценка, °C.

За $\sum t_{\text{ак(баз)}}$ принимается сумма на границе полевого земледелия (1000°C).

В приведенной формуле $K_{p(KY)}$ представляет собой отношение урожайности в данных условиях влагообеспеченности к урожайности в условиях оптимальной влагообеспеченности. На ограниченных территориях оценку БКП целесообразно проводить в баллах (B_k) относительно средней по региону и оптимальной продуктивности по формуле (Шашко, 1985): $B_k = 55 \text{БКП}$, где: B_k – биоклиматический индекс, 55 – эмпирический коэффициент. Цена балла определяется отношением продуктивности культуры в зерновых единицах к баллу оценки биологической продуктивности земель B_k и является показателем сопоставимой оценки интенсивности земледелия при сравнимом уровне плодородия почвы.

Одним из главных критериев определения устойчивости экосистем выступает величина биомассы. Чем больше биомасса и ее разнообразие, тем выше устойчивость системы. Альтернативным методом определения устойчивости природных и антропогенных систем является прямое измерение соотношения использованной растениями лучистой энергии к общей массе поглощенной на этой территории энергии (Акимова, Хаскин, 1994).

Изучение состояния растительного покрова выполнено посредством расчета нормализованного вегетационного индекса (NDVI) по данным Landsat⁵ за 1979, 1990, 2000, 2010 и 2020 гг. Расчет NDVI производился в программном обеспечении Quantum GIS с применением инструмента “калькулятор растров”. Алгоритм расчета представляет собой формулу расчета NDVI, записанную в виде отношения разности и суммы значений ближнего инфракрасного и красного каналов⁶.

³ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

⁴ Материалы средне- и крупномасштабного почвенного обследования Ростовской области. НИИ ЮЖГИПРОЗЕМ, 1955–1995 гг.

⁵ Официальный сайт Геологической службы США. <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 14.06.2021).

⁶ NDVI – теория и практика. <https://gis-lab.info/qa/ndvi.html> (дата обращения 15.06.2021).

Таблица 2. Агрометеорологические показатели территории Ростовской области за вегетационный период по репрезентативным метеостанциям, 2016–2020 гг., среднее

Показатель	Метеорологические станции					Среднее
	1	2	3	4	5	
Среднемесячная температура, T , °С	20.05	19.87	20.05	19.93	20.02	20.0
Сумма активных температур, °С	3650.7	3643.0	3548.8	3652.9	3674.1	3634.0
Сумма осадков, P , мм (числитель 2016–2020 гг., знаменатель 1961–1990 гг.)	<u>257.4</u>	<u>243.1</u>	<u>208.8</u>	<u>172.6</u>	<u>168.7</u>	<u>210</u>
Относительная влажность, r , %	54.3	57.8	51.1	52.0	51.0	53.2
ГТК	0.70	0.67	0.59	0.47	0.46	0.58

Примечание. Наименования метеорологических станций: 1 – Ростов-на-Дону, 2 – Мартыновка, 3 – Зерноград, 4 – Зимовники, 5 – Заветное.

Оценку состояния растительности проводили на территориях, не используемых в качестве пашни, на которых полностью или частично сохранилась естественная растительность: сенокосы, пастбища, залежь, неудобья. Выделение подобных участков стало возможным после выполнения оцифровки карт землепользований территории МП. В пределах площадок были отобраны спутниковые снимки Landsat с временным диапазоном 10–11 лет (1979, 1990, 2000, 2010, 2020 гг.), что позволило отследить динамику изменения состояния растительности за последние 40 лет. Для получения оперативной оценки состояния растительности и оценки фитомассы были использованы снимки, выполненные в июне–июле, в момент максимальной вегетации растений.

Оценку изменения содержания гумуса в почвах земель сельскохозяйственного назначения осуществляли по данным Агрохимической службы Ростовской области. Сбор информации получен при сплошном агрохимическом обследовании, которое осуществляется раз в пять лет, и при проведении ежегодных наблюдений на реперных участках агроэкологического мониторинга. Реперные участки (поле или часть поля) заложены как на пахотных землях, так и на сенокосах и пастбищах практически в каждом административном районе.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Динамика климата. За последние тридцать лет выявлено, что сумма атмосферных осадков в среднем по пяти репрезентативным метеостанциям снизилась на 52 мм, или на 19.8%, что подтверждает величина ГТК Селянинова, который изменяется от 0.7 до 0.46 при движении с запада на восток, составив в среднем 0.58 (табл. 2).

Для оценки степени аридности территории были использованы ряды длительных наблюдений за основными метеорологическими показателями указанных метеостанций за периоды

1961–1990 и 2016–2020 гг. с целью их сравнения. При движении с запада на восток испаряемость за вегетационный период увеличивается, за последние пять лет она составила 952–1118 мм, что в три и более раз превышает сумму атмосферных осадков. Дефицит увлажнения вырос с 709 до 969 мм. При этом коэффициент увлажнения снизился с 0.25 до 0.17 (табл. 3).

При сравнении значений осредненных показателей за период 1961–1990 гг. с осредненными показателями за последние пять лет установлено увеличение испаряемости на 32.1%, дефицита увлажнения на 57.2%, коэффициента увлажнения на 33.3%. При этом рост индекса аридности по Стенцу составил 64.9%, а по Торнтвейту – 18.8%.

В географическом аспекте наиболее существенные изменения в сторону усиления аридности наблюдаются в Зимовниковском районе, что хорошо иллюстрирует коэффициент кратности увеличения показателя за последние 30 лет. Далее по напряженности идут районы, попадающие под наблюдение метеостанции в Зернограде. Направленность изменений в климатических характеристиках здесь такая же, как и на крайнем юго-востоке области (Заветинский район). Однако показатели, характеризующие степень аридности, возросли по всей области, что свидетельствует об общей тенденции к нарастанию аридности климата.

Динамика состояния растительного покрова. Такие изменения в климатических характеристиках не могли не сказаться на растительном покрове. На территории МП были выделены участки с естественной или малоизмененной естественной растительностью (см. рис. 1). Выбор участков определен тем, что на сельскохозяйственных территориях проективное покрытие определяется не только свойствами почв и климатическими условиями, но и технологиями возделывания, уровнем хозяйствования. Динамика состояния растительного покрова оценивалась по изменению площади изреженной (0–0.33) и густой (0.33–

Таблица 3. Оценка степени аридности территории Ростовской области за вегетационный период по репрезентативным метеостанциям, среднее (в числителе – данные за 2016–2020 гг., в знаменателе – данные за 1961–1990 гг.)

Показатель	Метеорологические станции										Среднее	Изменение, %
	Ростов н/Д		Мартыновка		Зерноград		Зимовники		Заветное			
	Ео	*	Ду	*	Ку	*	АІ	*	АІ	*		
Испаряемость, E_0 , мм	$\frac{1027}{786}$	1.3	$\frac{952}{785}$	1.2	$\frac{1104}{781}$	1.4	$\frac{1118}{766}$	1.4	$\frac{1138}{920}$	1.4	$\frac{1068}{808}$	32.1
Дефицит увлажнения, D_y , мм	$\frac{770}{489}$	1.6	$\frac{709}{542}$	1.3	$\frac{895}{525}$	1.7	$\frac{945}{455}$	2.1	$\frac{969}{715}$	1.4	$\frac{857}{545}$	57.2
Коэффициент увлажнения, K_y по Иванову	$\frac{0.25}{0.38}$	1.5	$\frac{0.26}{0.31}$	1.2	$\frac{0.23}{0.33}$	1.4	$\frac{0.18}{0.41}$	2.3	$\frac{0.17}{0.23}$	1.5	$\frac{0.22}{0.33}$	33.3
Индекс аридности, АІ, по Стенцу	$\frac{3.99}{2.65}$	1.5	$\frac{3.92}{3.23}$	1.2	$\frac{5.29}{3.05}$	1.7	$\frac{6.48}{2.46}$	2.6	$\frac{6.75}{4.48}$	1.5	$\frac{5.08}{3.08}$	64.9
Индекс аридности, АІ, по Торнтвейту	$\frac{74.9}{62.2}$	1.2	$\frac{74.5}{69.0}$	1.1	$\frac{81.1}{67.2}$	1.2	$\frac{84.5}{59.4}$	1.4	$\frac{85.1}{77.7}$	1.2	$\frac{80.2}{67.5}$	18.8

* Кратность увеличения/снижения показателя за 25 лет.

0.66) растительности для выбранных площадок (рис. 2).

Результаты расчета индекса NDVI показали, что преобладающей для территории МП 1, 2 и 4 (см. рис. 1) является изреженная растительность. Отмечается тенденция к снижению площади густой растительности (см. рис. 2а, б, г). Для территории МП 3 и 5 ситуация более разнообразная. Преобладающей является густая растительность, но в 1979 г. на МП 3 доминировала изреженная растительность. Тем не менее в целом отмечается тенденция к постепенному увеличению площади густой растительности (см. рис. 2в). На юго-западе Ростовской области, на территории Усть-Донецкого района (МП 5), преобладающей является густая растительность в период с 1990 по 2010 г., и изреженная растительность в 1979 и 2020 гг. Отмечается тенденция к незначительному снижению площади густой растительности и, соответственно, увеличению площади изреженной (см. рис. 2д).

Динамика состояния лесополос. Для изучения состояния лесных полос на территории Ростовской области были выбраны два полигона, отличающиеся по особенностям рельефа, растительности и почвенного покрова: территория бывшего колхоза им. Кирова Песчанокопского района и совхоза “Заветинский” Заветинского района. Колхоз им. Кирова находится в степной зоне Ростовской области с преобладанием чернозёмов обыкновенных карбонатных (предкавказских) с различной степенью проявления плоскостной водной эрозии. Совхоз “Заветинский” расположен на границе сухостепной и полупустынной зон. Почвенный покров хозяйства представлен светло-каштановыми почвами, лугово-каштановыми

и солонцами каштановыми. Расчет площади лесных полос выполнялся с привлечением актуальных спутниковых снимков ESRI Imagery с пространственным разрешением 0.6–15 м/пиксель. Сравнение с архивными материалами за 1971–1979 гг. показало, что в совхозе “Заветинский” площадь лесополос за 41 год уменьшилась на 59 га (с 241 до 182 га), уменьшение площади составляет 24.5%. Скорость уменьшения площади лесополос в хозяйстве составляла 1.4 га в год. На территории колхоза им. Кирова Песчанокопского района в сравнении с 1972 г. площадь лесополос снизилась на 17.3 га, или на 2%.

Сокращение площадей, занятых лесополосами в рассмотренных хозяйствах, можно отнести к естественным причинам, таким как возраст деревьев, засушливый климат, особенности почвенного покрова. В совхозе “Заветинский” решающими факторами выпадения лесных полос являются также высокий процент почв с низким уровнем плодородия, обусловленным наличием солонцов в почвенном покрове, проявление процессов дефляции в светло-каштановых почвах. В то же время незначительное уменьшение площади лесополос в Песчанокопском районе можно связать с высоким уровнем почвенного плодородия чернозёмов обыкновенных. И следовательно, не только возраст лесных полос определяет их состояние и долговечность, но и окружающие условия: низкий уровень почвенного плодородия и засушливость климата способствуют гибели лесных полос.

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ архивных и актуальных данных по самой неблагоприятной территории Ростовской

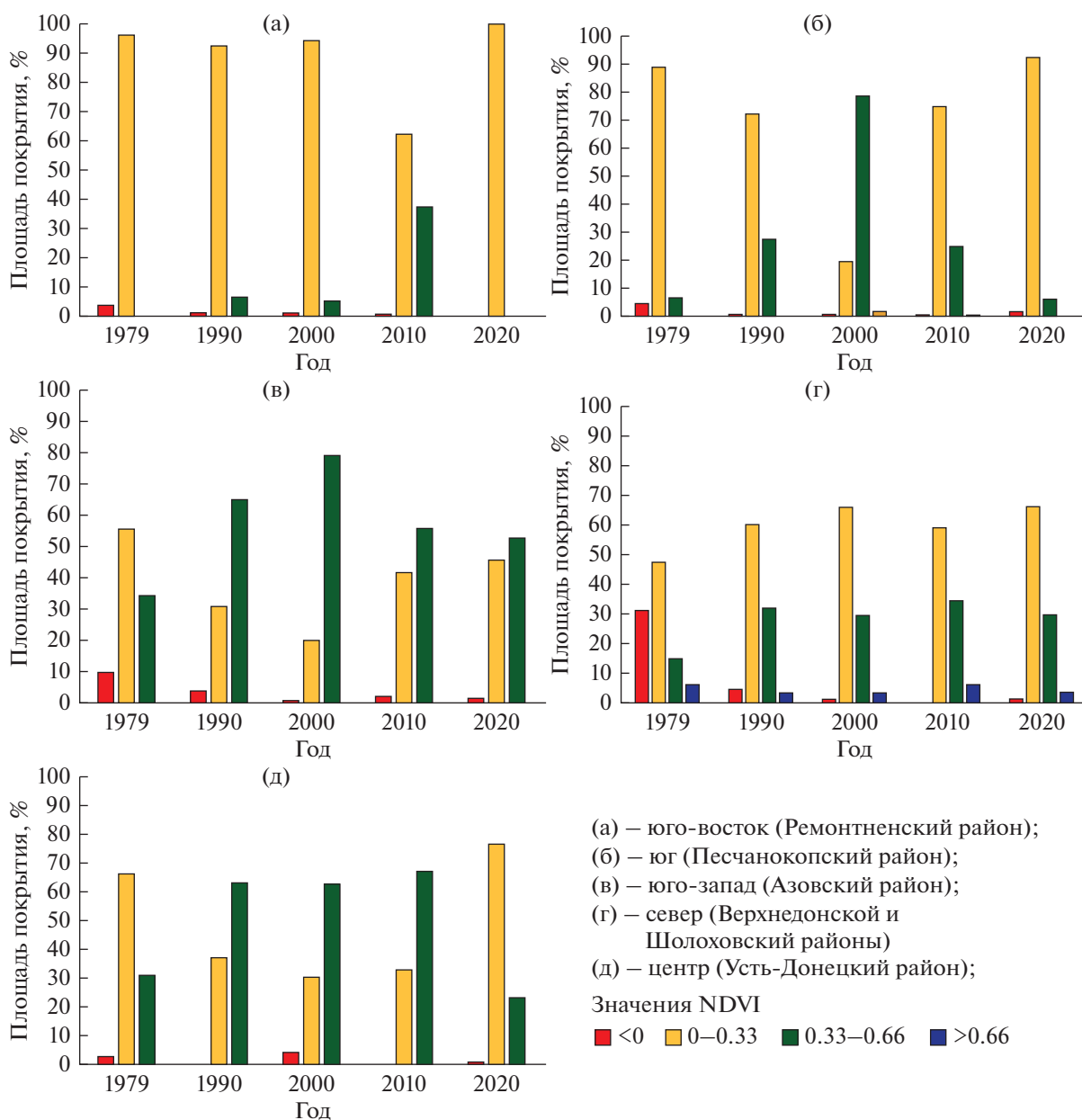


Рис. 2. Динамика состояния растительного покрова Ростовской области на мониторинговых площадках.

области — юго-востоку — показал, что по средне-многолетним данным биомасса и продуктивность сухостепного и полупустынного ландшафтов значительно уступают соответствующим показателям степного ландшафта, зона которого охватывает практически всю остальную часть области (табл. 4).

Биомасса сухостепного ландшафта в 1.4 раза меньше биомассы степного, а полупустынного — в 2.4 раза. Таким образом, по этому показателю, как и по данным, полученным с помощью ГИСТехнологий (см. рис. 2а), природные геосистемы юго-восточных районов области характеризуются

наиболее низкой устойчивостью. Данные по расчету индекса устойчивости природных ландшафтов, приведенные в табл. 5, свидетельствуют, что этот показатель для экосистем сухостепных и полупустынных ландшафтов значительно меньше, чем для ландшафтов степного типа.

В отличие от природных систем, обладающих различной степенью устойчивости, агроэкосистемы, как известно, относятся к категории неустойчивых, что подтверждается данными табл. 5 (Акимова, Хаскин, 1994). Величина индекса устойчивости пахотных агроэкосистем показывает, что юго-восточные районы по этому показате-

Таблица 4. Биомасса, продуктивность и индекс устойчивости природных ландшафтов

Тип ландшафта	Энергия поглощенной радиации, МДж/км ² /год	Биомасса, т/км ²	Продуктивность, т/км ² /год	Индекс устойчивости
Полупустынный	2829	4	364	0.012
Сухостепной	2816	686	617	0.035
Степной	2641	960	864	0.073

Составлено по: (Закруткин и др., 2002а).

Таблица 5. Биомасса, продуктивность и индекс устойчивости сельскохозяйственных геосистем

Геосистемы												Средневзвешенный индекс устойчивости	
пахотные			многолетних насаждений			луговые			степные				
биомасса, т/км ²	продуктивность, т/км ² в год	индекс устойчивости	биомасса, т/км ²	продуктивность, т/км ² в год	индекс устойчивости	биомасса, т/км ²	продуктивность, т/км ² в год	индекс устойчивости	биомасса, т/км ²	продуктивность, т/км ² в год	индекс устойчивости		
Заветинский район													
549	359	0.016	4100	123	0.042	2447	350	0.071	522	470	0.020	0.019	
Ремонтненский район													
625	435	0.022	3800	114	0.036	–	–	–	576	518	0.024	0.023	
Дубовский район													
627	490	0.025	5809	174	0.084	3494	499	0.144	783	704	0.046	0.035	
Зимовниковский район													
575	409	0.020	6400	192	0.103	3864	552	0.177	751	676	0.042	0.032	
Зерноградский район													
951	643	0.054	11000	605	0.59	3220	460	0.130	960	864	0.073	0.091	
Ростовская область													
661	451	0.024	10550	522	0.48	2856	408	0.1	768	691	0.046	0.051	

лю уступают Зерноградскому району, где основой современных агроэкосистем выступает степной тип ландшафта, а также среднеобластному показателю. Наблюдается закономерное повышение индекса устойчивости пахотных агроэкосистем от Заветинского района (32% территории составляет полупустынный тип ландшафта) к Дубовскому (сухостепной тип). В соответствии с классификацией обобщенного индекса устойчивости (Закруткин и др., 2002а) агроэкосистемы восточных районов относятся к классу крайне неустойчивых. В целом агроэкосистемы области относятся к классу неустойчивых.

Интенсивность проявления перечисленных выше деградационных процессов связана не только с устойчивостью природных и агроэкосистем, но и с особенностями землепользования и землеустройства. В этих районах землепользование было направлено на создание крупных меха-

низированных хозяйств, что привело к упрощению технологии земледелия и подчинению его одной задаче – получению наиболее дешевым способом конечной продукции – зерна. Упор на зерновое полеводство отразился и на животноводческой отрасли, превращенной в придаток, а не в необходимый компонент аграрного производства, в том числе и для пополнения органических удобрений, без которых невозможно развитие интенсивного земледелия. Данное обстоятельство однозначно определило общее направление агрогенной эволюции этих систем в сторону биологической и физической деградации, антропогенного опустынивания, что сказывается на уровне продуктивности почв.

С запада на восток по мере уменьшения влагообеспеченности и значений почвенного бонитета изменяется урожайность сельскохозяйственных культур, в частности, озимой пшеницы – с 4.83 до

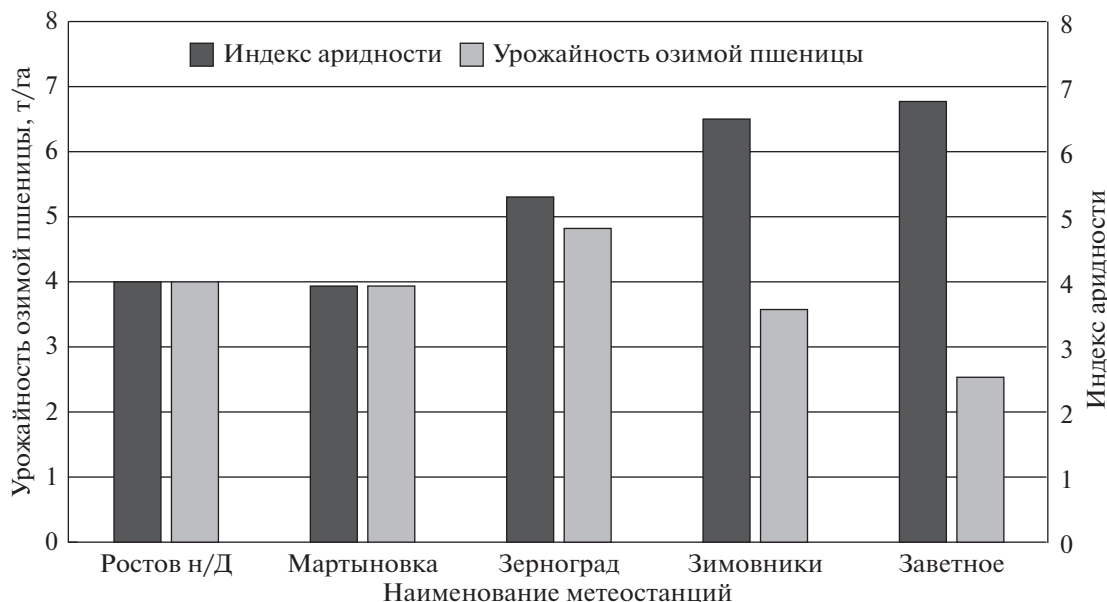


Рис. 3. Индекс аридности территории и урожайность озимой пшеницы.

2.53 т/га (рис. 3). Сравнительный анализ результатов оценки земель показывает, что наиболее плодородные земли имеет южная зона, балл бонитета которой равен 70 (Полужков, Цвылев, 2008). Наименее благоприятны условия для земледелия в восточной зоне, где дефицит увлажнения территории на 26% выше, балл бонитета снижается до 21 (Заветинский район), а средняя урожайность озимой пшеницы уменьшается почти вдвое. В этой связи показательна связь урожайности озимой пшеницы с индексом аридности по Стенцу, подтвержденная наивысшим значением достоверности аппроксимации $R^2 = 0.9711$.

Для межрегиональной оценки биологической продуктивности почв использовали величину биоклиматического потенциала (Шашко, 1985). Показатели оценки земли по природным агропроизводственным свойствам, определяющим ее биологическую активность, характеризуют землю со стороны ее природного БКП и степени его использования. Его величина дифференцируется в зависимости от типа почв, степени природной увлажненности территории и суммы положительных температур воздуха свыше 10°C , а также продуктивности сельскохозяйственных культур за ряд лет.

По данным табл. 6 ожидаемо выделился максимальный коэффициент роста продуктивности озимой пшеницы в Зерноградском районе ($K_p = 0.97$), где сложились наилучшие условия для ее произрастания и формирования урожая при высоком балле бонитета почвы. Здесь же отмечен и наивысший биоклиматический потенциал террито-

рии (БКП = 3.44), превышающий таковой в остальных районах на 6–12%.

Такой же закономерности подчиняется и величина биоклиматического индекса, который возрастает от 168 баллов на востоке области до 172 и 178 в приазовской и центральной орошаемой зоне, достигая максимума 189 баллов в Южной зоне (см. табл. 6).

Цена балла биоклиматического индекса зависит от урожайности культуры, сложившейся под воздействием условий тепловлагообеспеченности и свойств почвенного покрова. Она варьирует от 15.1 кг в восточной зоне области до 25.5 кг в южной зоне. Показатели оценки земли по природным агропроизводственным свойствам, определяющим ее биологическую активность, характеризуют земли со стороны их природного биоклиматического потенциала, а показатели оценки использования земли – со стороны достигнутого уровня производства, экономического плодородия почвы, степени использования БКП. Сравнительная оценка степени использования БКП проведена с помощью шкалы биологической продуктивности по условиям климата (Шашко, 1985); в результате было выявлено, что на землях всех исследуемых объектов уровень плодородия охарактеризован как средний, за исключением Заветинского района, где уровень плодородия оценивается как пониженный.

Значительные резервы повышения урожайности культур демонстрируют результаты долговременных полевых опытов в приазовской и восточной сельскохозяйственных зонах. Так, на опытной станции “Красноармейская” в Орловском

Таблица 6. Сравнительная оценка использования биоклиматического потенциала территорий объектов исследований, в среднем за 2016–2020 гг.

Район, прилегающий к метеостанции	Тип почвы	Показатель					
		K_p	БКП	Бк	Цб, кг	балл бонитета	уровень плодородия
Аксайский	Чернозёмы обыкновенные	0.86	3.13	172	23.3	61	Средний
Мартыновский	Чернозёмы южные	0.89	3.23	178	22.2	51	Средний
Зерноградский	Чернозёмы обыкновенные	0.97	3.44	189	25.5	70	Средний
Зимовниковский	Каштановые	0.84	3.06	168	21.2	35	Средний
Заветинский	Светло-каштановые	0.84	3.08	168	15.1	21	Пониженный

Примечание. K_p – коэффициент роста урожайности озимой пшеницы, БКП – биоклиматический потенциал территории, Бк – биоклиматический индекс, Цб – цена балла биоклиматического индекса.

Таблица 7. Динамика содержания гумуса в пахотном горизонте почв по природно-сельскохозяйственным зонам (ПСХЗ) Ростовской области

ПСХЗ	Содержание гумуса, %									
	1960	1976– 1980	1981– 1985	1986– 1990	1991– 1995	1996– 2000	2001– 2005	2006– 2010	2011– 2015	2016– 2020
Северо-Западная	4.22	3.80	3.79	3.71	3.46	3.20	3.14	3.17	3.20	3.20
Северо-Восточная	3.46	3.10	3.10	3.00	2.90	2.80	2.73	2.74	2.70	2.63
Центральная	3.76	3.30	3.25	3.25	2.97	2.95	2.96	3.03	3.30	3.10
Приазовская	4.70	3.80	3.80	3.60	3.60	3.60	3.85	3.77	3.80	4.00
Южная	4.20	3.80	3.64	3.64	3.60	3.65	3.57	3.66	3.80	3.88
Восточная	2.84	2.80	2.73	2.40	2.22	2.40	2.33	2.35	2.20	1.60
Всего по области	3.86	3.43	3.39	3.27	3.17	3.11	3.10	3.12	3.20	3.10

районе (восточная зона) в среднем по плодосменному севообороту с многолетними травами и по зернопаропропашному севообороту максимальные весенние влагозапасы отмечены при безотвальной и нулевой обработке почвы (46.5 и 54.1 мм соответственно). Имеются опытные данные, согласно которым средние значения локальной дефляции на паровом поле опытного стационара составили в порядке убывания: при отвальной, безотвальной и нулевой обработках почвы соответственно 20.9; 9.2; 1.6 т/га (Кузнецов, Маркарова, 2014). Использование адаптивно-ландшафтного подхода указывает на возможность роста продуктивности зерновых, зерновых колосовых и кормовых культур, в том числе в восточной сельскохозяйственной зоне Ростовской области, имеющей наиболее низкий уровень почвенно-климатических ресурсов.

Одним из важнейших показателей почвенного плодородия является уровень гумусированности (табл. 7). По результатам восьми туров сплошного агрохимического обследования, проведенного в Ростовской области, установлено, что начиная с 2000-х годов, содержание гумуса в пахотном слое находится в определенном равновесии, характерном для биоклиматических и производственных

условий Ростовской области. С 1960 по 1990 г. наблюдалось медленное, но постоянное снижение содержания гумуса в пахотных почвах Ростовской области. В среднем по области это уменьшение было кратным 1.2 раза, в отдельных сельскохозяйственных зонах (северо-западная, центральная, приазовская) кратность снижения достигала 1.3. Начиная с 1990-х годов, установились равновесные условия для накопления и минерализации органического вещества в структуре севооборота с преобладанием колосовых культур, и снижение содержания гумуса прекратилось при условии отсутствия процессов эрозии.

Однако сложный рельеф predetermined широкое развитие эрозионных процессов на территории Ростовской области (рис. 4). В последнее десятилетие площади земель, подверженных эрозии, стабилизировались, причем водной эрозии подвержено 3793261.3 га, совместное действие водной и ветровой эрозии проявляется на 241036.7 га, ветровой эрозией охвачены 1017767.3 га⁷. Иными словами, проблема стоит очень остро и требует

⁷ Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2015 году / ред. В.В. Абрамченко и др. М.: Росреестр, 2016. 202 с.

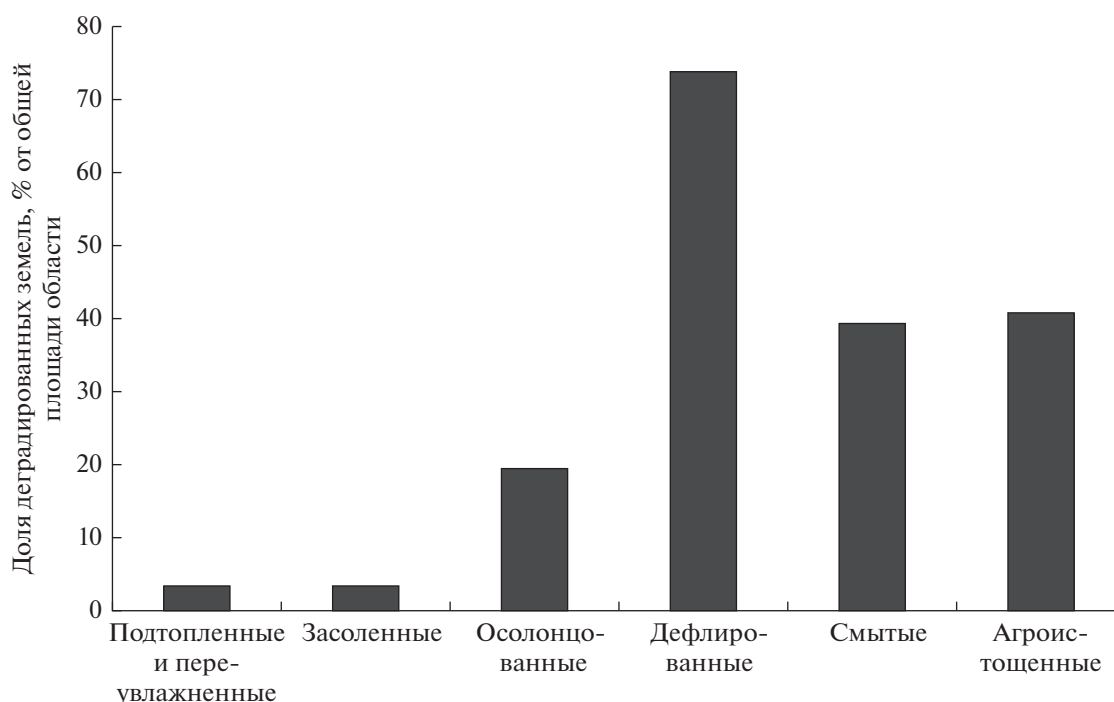


Рис. 4. Доля деградированных земель по их видам в площади Ростовской области, %.

постоянных наблюдений и мероприятий по стабилизации ситуации.

С целью изучения приемов защиты почв от водной эрозии учеными Донского зонального научно-исследовательского института сельского хозяйства в 1986 г. был заложен опытный стационар в приазовской сельскохозяйственной зоне на склоне чернозёмов обыкновенных, зарегистрированный в Географической сети опытов с удобрениями под № 169. На основе результатов этих полевых опытов предложен способ организации территории эрозионно-опасных склонов чернозёмов обыкновенных, обеспечивающий влагосбережение, защиту почв от водной эрозии и повышение продуктивности сельскохозяйственных культур. Способ заключается в контурно-полосном размещении полей конструкции севооборота (рис. 5).

Поле с уклоном $3.5-4^\circ$ разбивается на полосы поперек длины склона и предполагает размещение на одном поле в полосах пяти культур с соблюдением принципа размещения на смежных полосах культур, обладающих различной степенью устойчивости к эрозионным процессам. Применение почвозащитных обработок почвы при контурно-полосной организации территории способствует снижению смыва почвы до $4.4-2.0$ т/га в сравнении с незарегулированным склоном (19.2 т/га). Наименьший смыв почвы (2.0 т/га) отмечен при чизельной обработке почвы в севообороте с 40% многолетних трав в структуре севообо-

рота, что на 16% меньше, чем при отвальной. Снижение доли чистого пара в структуре севооборота до 10% способствовало сокращению смыва почвы в среднем по обработкам на 24.2%, а при отсутствии чистого пара и доле многолетних трав до 40% смыв почвы сокращался на 45.4%. Внедрение этого способа позволяет сократить смыв почвы до безопасных пределов ($2.8-3.4$ т/га), повысить урожайность озимой пшеницы в 1.7 раза и повысить продуктивность севооборота на 3–5%. Использование чизельной обработки сокращает потери органического вещества почвы в севооборотах до 16.5 и 14.1% в сравнении с отвальной и в 5.3–9.1 раза в сравнении с контролем, что позволяет снизить затраты на восстановление почвенного плодородия на 86.9%.

ВЫВОДЫ

1. Сравнительный анализ осредненных показателей аридности территории за периоды наблюдений 1961–1990 и 2016–2020 гг. по репрезентативным метеостанциям Ростовской области показал увеличение степени засушливости климата в ряде сельскохозяйственных зон в аспекте широтной зональности. Количество осадков уменьшилось за этот период времени на 19.8%, одновременно возросла испаряемость на 32.1%, дефицит увлажнения увеличился на 57.2%. Основные параметры, характеризующие процесс ариди-

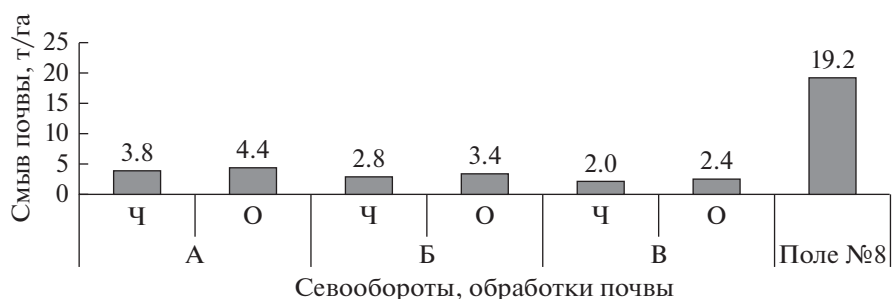


Рис. 5. Средние показатели смыва почвы в период весеннего снеготаяния в зависимости от конструкции севооборотов и способов основной обработки почвы: Ч – чизельная вспашка, О – отвальная обработка. Структура севооборотов: А – зернопаропропашной, 20% чистый пар, без многолетних трав; Б – зернопаропропашной, 10% пара и без многолетних трав; В – зернопропашной, 40% многолетних трав, без пара. Поле № 8 – контроль, производственный участок с незарегулированным стоком, зернопропашной севооборот.

зации климата, также изменились в сторону увеличения: индекс аридности по Торнтвейту повысился на 18.8%, тот же показатель по Стенцу – на 64.9%. Коэффициент увлажнения, рассчитанный по Н.Н. Иванову, снизился на 33.3%.

2. Наблюдается закономерное повышение индекса устойчивости пахотных агроэкосистем от Заветинского района (32% территории составляет полупустынный тип ландшафта) к Дубовскому (сухостепной тип). В целом агроэкосистемы восточных районов Ростовской области относятся к классу крайне неустойчивых.

3. Анализ состояния растительного покрова территорий с естественной или мало измененной растительностью (сенокосов, пастбищ, особо охраняемых природных территорий) с использованием ГИС-технологий и расчетом индекса ND-VI показал тенденцию к преобладанию изреженной растительности на временном отрезке с 1979 по 2020 г. для мониторинговых площадок на юго-востоке, юге и севере Ростовской области. Для западной и центральной частей области тенденция обратная (увеличение площадей с густой растительностью), что, вероятно, обусловлено вторжением влажных масс со стороны Азовского моря.

4. Для юго-востока установлено снижение площади лесополос на 24.5% по сравнению с 1991 г. В степной зоне также наблюдается уменьшение площади, занятой лесополосами, но только на 2%. Это позволяет считать снижение площади лесополос одним из индикаторов изменения климата и рекомендовать его для оценки процессов опустынивания в полупустынной и сухостепной зонах.

5. Применение различных методов оценки степени засушливости климата констатирует общую тенденцию нарастания аридизации на территории Ростовской области, и особенно ее юго-востока, обусловленную не только природными,

но и антропогенными факторами, что диктует необходимость разработки специальных организационно-хозяйственных мероприятий по повышению увлажненности территории. Использование адаптивно-ландшафтного подхода в земледелии доказывает возможность сохранения влаги в почве, повышения ее плодородия и роста продуктивности сельскохозяйственных культур даже в условиях аридизации климата. А применение почвозащитных обработок почвы при контурно-полосной организации территории способствует снижению смыва почвы и существенному замедлению процессов водной эрозии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акимова Т.А., Хаскин В.В. Основы экоразвития. Учеб. пособие. М., 1994. 312 с.
- Безуглова О.С., Назаренко О.Г., Ильинская И.Н. Проблемы опустынивания, деградации земель и засух в Ростовской области // Национальный докл. “Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство)” / под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева. М.: ООО “Изд-во МБА”, 2019. Т. 2. Раздел 4.1.2. С. 208–217.
- Булатов В.И., Игенбаева Н.О. Разработка экологических индикаторов устойчивого развития на региональном уровне // Вестн. Югорского гос. ун-та. 2008. Вып. 1 (8). С. 9–16.
- Голозубов О.М., Литвинов Ю.А., Колесникова В.М. Методическое пособие “Векторизация крупномасштабных почвенных карт”. М., 2020. 72 с. <https://soil-db.ru/nauchnaya-deyatelnost/publikacii> (дата обращения 15.06.2021).
- Закруткин В.Е., Рышков М.М., Цвылев Е.М., Шишкина Д.Ю. Агроэкосистемы в экстремальных природных условиях. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002а. 125 с.
- Закруткин В.Е., Рышков М.М., Шишкина Д.Ю., Цвылев Е.М. Агроэкосистемы влагодефицитных районов, их хозяйственная емкость и перспективы

- устойчивого функционирования // Изв. РАН. Сер. геогр. 2002б. № 3. С. 69–78.
- Золотокрылин А.Н., Черенкова Е.А., Туткова Т.Б.* Аридизация засушливых земель Европейской части России и связь с засухами // Изв. РАН. Сер. геогр. 2020. Т. 84. № 2. С. 207–217.
<https://doi.org/10.31857/S258755662002017X>
- Иванов Н.Н.* Об определении величин испаряемости // Изв. ВГО. 1954. Т. 86. № 2. С. 189–196.
- Ильинская И.Н.* Нормирование орошения и продуктивности агроэкосистем на Северном Кавказе // РосНИИПМ. Ростов-на-Дону: СКНЦВШ, 2005. 112 с.
- Кузнецов Ю.Г., Маркарова Ж.Р.* Продуктивность севооборотов различных конструкций на каштановых почвах // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. Оренбург: Изд. Центр ОГАУ, 2014. № 5 (49). С. 28–31.
- Лурье П.М., Панов В.Д.* Река Дон: Гидрография и режим стока. Ростов-на-Дону: Донской издательский дом, 2018. 592 с.
- Полуэктов Е.В., Цвылев Е.М.* Почвенно-земельные ресурсы Ростовской области: монография. Новочеркасск: УПЦ “НАБЛА” ЮРГТУ (НПИ), 2008. 355 с.
- Селянинов Г.Т.* О сельскохозяйственной оценке климата // Тр. по сельскохоз. метеорологии. Вып. 20. Л., 1928. С. 165–177.
- Ускова Т.В.* Устойчивость развития территорий и современные методы управления // Проблемы развития территории. 2020. № 2 (106). С. 7–18.
<https://doi.org/10.15838/ptd.2020.2.106.1>
- Хромов С.П., Мамонтова Л.И.* Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 567 с.
- Шауко Д.И.* Учитывать биоклиматический потенциал // Земледелие. 1985. № 4. С. 19–26.
- Bengtsson J., Angelstam P., Elmqvist T., et al.* Reserves, Resilience and Dynamic Landscapes // A J. Human Environ. 2003. Vol. 32 (6). P. 389–396.
<https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.389>
- Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Ilyinskaya I.N.* Land Degradation Dynamics in Rostov Oblast // Arid Ecosys. 2020. Vol. 10. № 2. P. 93–97.
<https://doi.org/10.24411/1993-3916-2020-10090>
- Cardinale B., Duffy J., Gonzalez A., et al.* Biodiversity loss and its impact on humanity // Nature. 2012. Vol. 486. № 7401. P. 59–67.
<https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Elizbarashvili N., Sulkhanishvili N., Elizbarashvili R.* Main concepts of Sustainable Development Mountainous Regions (On the example of the Caucasus) // Часопис соціально-економічної географії. 2018. Vol. 25. P. 66–74.
<https://doi.org/10.26565/2076-1333-2018-25-06>
- Hector A., Schmid B., Beierkuhnlein C., Caldeira M.C., Diemer M., Dimitrakopoulos P.G., Finn J.A., Freitas H.* Plant diversity and productivity experiments in European grasslands // Sci. 1999. Vol. 286 (5442). P. 1123–1127.
<https://doi.org/10.1126/science.286.5442.1123>
- Tilman D., Downing J.A.* Biodiversity and stability in grasslands // Nature. 1994. Vol. 367. P. 363–365.
- Sachs J.D., Kroll C., Lafortune G., Fuller G., Woelm F.* Sustainable Development Report 2021. Includes the SDG Index and Dashboards. The Decade of Action for the Sustainable Development Goals. Cambridge CB2 8BS, United Kingdom: Univ. Printing House, 2021. 505 p.
<https://doi.org/10.1017/9781009106559>

Dynamics of Land Degradation in Rostov Oblast

O. S. Bezuglova¹*, I. N. Ilyinskaya², V. E. Zakrutkin¹, O. G. Nazarenko³, Yu. A. Litvinov¹,
E. A. Gayevaya², A. A. Mezhenkov¹, and A. I. Zhumbey¹

¹Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

²Federal Agrarian Scientific Center of Rostov-on-Don, village Rassvet, Russia

³State Center of Agrochemical Service “Rostovsky,” village Rassvet, Russia

*e-mail: lola314@mail.ru

Our research concentrates on the stability assessment of geosystems (including agroecosystems) in Rostov oblast. The southeast area of the region is considered the most vulnerable and was selected to conduct calculations on the degradation processes in comparison with the average indicators for the region. We provide a comparative assessment of aridity in the spatio-temporal aspect, including values for the moisture deficit, one of the main indicators of aridity in general. The aridity index, determined using various calculation methods based on data from representative meteorological stations, has shown that the degree of aridity increased in all areas of the region, which indicates a general trend towards an increase in climate aridity. Based on archived and current satellite images we calculated the vegetation index NDVI, and subsequently evaluated changes in the state of natural vegetation cover of Rostov oblast: sparse vegetation is predominant for the southern, southeastern, and northern parts of the region, and a tendency towards a decrease in areas with dense vegetation is noted. In the western and central parts of the region, there is a tendency towards a gradual increase in the area of dense vegetation. In the soils of agricultural landscapes, according to the results of a continuous agrochemical survey, it was found that from 1960 to 2000 there was a gradual decrease in the humus content, the rate of decrease over 40 years was 1.2–1.3. Since the 2000s, the humus content in the arable layer has been in a certain equilibrium, characteristic of the bioclimatic and production conditions of Rostov oblast, in the absence of erosion processes, a decrease in the humus content is not observed. Furthermore, we were able to assess the state of forest shelter belts using the same satellite images, and with the additional

help of archival soil surveys from the Southern Research Institute of State Land Design. We consider a decrease of forest shelter belts to be one of the contributing indicators to the climate change process. Therefore, we suggest using this indicator for assessing various desertification processes.

Keywords: soil degradation, desertification, NDVI index, climate aridization, assessment of ecosystem sustainability

REFERENCES

- Akimova T.A., Khaskin V.V. *Osnovy ekorazvitiya* [Eco-Development Fundamentals]. Moscow: 1994. 312 p.
- Bengtsson J., Angelstam P., Elmqvist T. et al. Reserves, resilience and dynamic landscapes. *AMBIO*, 2003, vol. 32, no. 6, pp. 389–396.
<https://doi.org/10.1579/0044-7447-32.6.389>
- Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Il'inskaya I.N. Land degradation dynamics in Rostov Oblast. *Arid Ecosyst.*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 93–97.
<https://doi.org/10.1134/S207909612002002X>
- Bezuglova O.S., Nazarenko O.G., Il'inskaya I.N. Problems of desertification, land degradation and droughts in the Rostov region. In *Natsional'nyi doklad "Global'nyi klimat i pochvennyi pokrov Rossii: opustynivanie i degradatsiya zemel', institucional'nye, infrastrukturalnye, tekhnologicheskie mery adaptatsii (sel'skoe i lesnoe khozyaistvo)"* [National Report "Global Climate and Soil Cover of Russia: Desertification and Land Degradation, Institutional, Infrastructural, Technological Adaptation Measures (Agriculture and Forestry)"]. Ed. Edel'geriev R.S.-Kh., Ed. Moscow: MBA Publ., 2019, vol. 2, pp. 208–217. (In Russ.).
- Bulatov V.I., Igenbaeva N.O. Designing environmental indicators of sustainable development at the regional level. *Vestn. Yugorskogo Gos. Univ.*, 2008, no. 1 (8), pp. 9–16. (In Russ.).
- Cardinale B., Duffy J., Gonzalez A. et al. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 2012, vol. 486, no. 7401, pp. 59–67.
<https://doi.org/10.1038/nature11148>
- Elizbarashvili N., Sulkhaniashvili N., Elizbarashvili R. Main concepts of sustainable development of mountainous regions (on the example of the Caucasus). *Chasopis Sotsial'no-Ekonomichnoi Geografii.*, 2018, vol. 25, pp. 66–74. (In Ukr.).
- Golozubov O.M., Litvinov YU.A., Kolesnikova V.M. *Vektorizatsiya krupnomasshtabnykh pochvennykh kart. Metodicheskoe posobie* [Vectorization of Large-scale Soil Maps. Toolkit]. Moscow, 2020. 72 p. Available at: <https://soil-db.ru/nauchnaya-deyatelnost/publikacii> (accessed: 15.06.2021). (In Russ.).
- Hector A., Schmid B., Beierkuhnlein C., Caldeira M.C., Diemer M., Dimitrakopoulos P.G., Finn J.A., Freitas H. Plant diversity and productivity experiments in European grasslands. *Science*, 1999, vol. 286, no. 5442, pp. 1123–1127.
<https://doi.org/10.1126/science.286.5442.1123>
- Il'inskaya I.N. *Normirovanie orosheniya i produktivnosti agroekosistem na Severnom Kavkaze* [Rationing of Irrigation and Productivity of Agroecosystems in the North Caucasus]. Rostov-on-Don: RosNIIPM, 2005. 112 p.
- Ivanov N.N. Determination of the values of volatility. *Izv. VGO*, 1954, vol. 86, no. 2, pp. 189–196. (In Russ.).
- Khromov S.P., Mamontova L.I. *Meteorologicheskii slovar'* [Meteorological Dictionary]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1974. 567 p.
- Kuznetsov Yu.G., Markarova Zh.R. The productivity of crop rotations of various designs on Kashtanozems. *Izv. Orenburg. Gos. Agrar. Univ.* 2014, no. 5 (49), pp. 28–31. (In Russ.).
- Lur'e P.M., Panov V.D. *Reka Don: Gidrografiya i rezhim stoka* [Don River: Hydrography and Flow Regime]. Rostov-on-Don: Donskoi Izd. Dom, 2018. 592 p.
- Poluektov E.V., Tsvylev E.M. *Pochvenno-zemel'nye resursy Rostovskoi oblasti* [Soil and Land Resources of the Rostov Region]. Novochechensk: UPTs "NABLA" YURGTU (NPI), 2008. 355 p.
- Sachs J.D., Kroll C., Lafortune G., Fuller G., Woelm F. *The Decade of Action for the Sustainable Development Goals: Sustainable Development Report 2021*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2021. 505 p.
<https://doi.org/10.1017/9781009106559>
- Selyaninov G.T. On agricultural climate assessment. *Tr. po S-kh. Meteorol.*, 1928, no. 20, pp. 165–177. (In Russ.).
- Shashko D.I. Considering bioclimatic potential. *Zemledelie*, 1985, no. 4, pp. 19–26. (In Russ.).
- Tilman D., Downing J.A. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 1994, vol. 367, pp. 363–365.
- Uskova T.V. Sustainable development of the territory and modern management methods. *Probl. Razvitiya Territorii*, 2020, no. 2 (106), pp. 7–18. (In Russ.).
<https://doi.org/10.15838/ptd.2020.2.106.1>
- Zakrutkin V.E., Ryshkov M.M., Shishkina D.Yu., Tsvylev E.M. Agroecosystems of moisture-deficient areas, their economic capacity and prospects for sustainable functioning. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2002b, no. 3, pp. 69–78. (In Russ.).
- Zakrutkin V.E., Ryshkov M.M., Tsvylev E.M., Shishkina D.Yu. *Agroekosistemy v ekstremal'nykh prirodnykh usloviyakh* [Agroecosystems in Extreme Natural Conditions]. Rostov-on-Don: SKNTs VSh Publ., 2002a. 125 p.
- Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A., Titkova T.B. Aridization of drylands in the European part of Russia: Secular trends and links to droughts. *Izv. Akad. Nauk, Ser. Geogr.*, 2020, vol. 84, no. 2, pp. 207–217. (In Russ.)
<https://doi.org/10.31857/S258755662002017X>