



## ГЕОГРАФИЯ

УДК 630\*1:551.58

### Засухи в лесостепной зоне Центрально-Черноземного региона и критерии оценки их интенсивности

Н. Ф. Кузнецова

Кузнецова Нина Федоровна, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией экологической генетики, Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии, Воронеж, [ekogenlab@gmail.com](mailto:ekogenlab@gmail.com)

Обсуждается классификация весенне-летних засух на категории «слабая», «умеренная», «сильная» и уровня «экологической катастрофы», составленная на основе региональных метеорологических характеристик и шкалы чувствительности сосны обыкновенной к засухам. Предложено оценивать засуху как автономный природный феномен в пределах определенной территории и своего (засушливого) вегетационного сезона. Категорию «засуха» отражают такие показатели, как ее тип, продолжительность, отклонение среднесуточной температуры от региональной нормы (не менее 2°С в пересчете на один день засухи), гидротермический коэффициент и степень редукции показателями семенной продуктивности сосны обыкновенной как вида-индикатора. В оптимальные годы для характеристики вегетационного сезона используются общепринятые критерии и параметры.

**Ключевые слова:** засуха, лесостепная зона, гидротермический коэффициент, сосна обыкновенная, признаки семенной продуктивности.

#### Droughts in the Forest-Steppe Zone of Central Chernozemic Region and Criteria for Evaluation of their Intensity

N. F. Kuznetsova

Nina F. Kuznetsova, <http://orcid.org/0000-0001-9947-6698>, All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, 105 Lomonosov St., Voronezh 394087, Russia, [ekogenlab@gmail.com](mailto:ekogenlab@gmail.com)

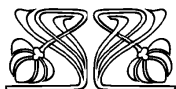
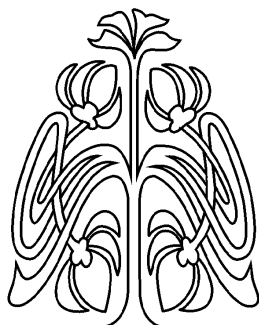
The classification of spring-summer droughts into the categories of «weak», «moderate», «strong», «ecological catastrophe» derived from regional meteorological characteristics and the sensitivity scale of Scots pine to drought is discussed. It is proposed to evaluate the drought as an autonomous natural phenomenon, within a certain territory and its (dry) vegetative season. The drought categories reflect such indicators as the drought type, its duration, deviation of the average daily temperature from the regional norm (no less 2°C per one day of drought), hydrothermal coefficient and reduction degree of the seed productivity data of pine as an indicator species. In the optimal years, the general criteria and parameters are used for the climatic characteristics of vegetative seasons.

**Key words:** drought, forest-steppe zone, hydrothermal coefficient, Scots pine, seed productivity traits.

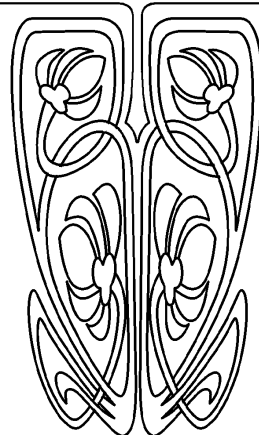
DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-3-142-148>

#### Введение

В России проблема опустынивания и деградации земель затрагивает 34 субъекта, на которые приходится более половины сельскохозяйственных земель, и становится как никогда актуальной в связи с глобальным изменением климата [1–3]. На европейской части России остепнению и иссушению подвергается уникальный ландшафт Центрально-Черноземного региона (ЦЧР) – экономически важного сельскохозяйственного района, характеризующегося мощными черноземами [2–5]. Засуха в



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





ЦЧР – явление периодическое и нередкое. На севере и в центральной части засушливые годы бывают каждые 4–5 лет, на юге – через 3–4 года. Согласно историческим источникам, наиболее сильным засухам нередко сопутствовали голод, высокая смертность населения, бунты. В последнее столетие засухи такого уровня были отмечены в 1891, 1921, 1938, 1946, 1972 и 2010 г. Более слабые засухи проходили чаще и незаметно. В такие годы нарушался водный баланс, усиливалась аридизация земель, реализовывался негативный тренд конкуренции между лесом и степью в пользу последней.

До середины прошлого столетия лесостепь характеризовалась постоянством (гомеостазом) природной среды. В последние десятилетия он был нарушен в результате глобального изменения климата, уничтожения лесов на значительной территории, распахивания луговых степей, техногенного загрязнения. В ЦЧР усилилась континентальность климата, резко понизился уровень грунтовых вод (с 2 до 4–5 м), повысился индекс сухости, вдвое увеличилось число засух в десятилетие [3, 6, 7]. Данный процесс продолжает нарастать: если скорость потепления за период 1948–2005 гг. составляла  $0,11^{\circ}\text{C}/10$  лет, то за 1976–2005 гг. она стала вдвое выше –  $0,24^{\circ}\text{C}/10$  лет [6]. Уменьшился весенний и годовой сток рек [8]. Последние десятилетия стали самыми теплыми за всю историю метеонаблюдений. По нашим данным, пыление сосны сместилось на 7 дней: с 20–21 мая (1981–1990 гг.) на 13–14 мая (2009–2018 гг.). Во время тепловой волны 2007–2014 гг. в регионе произошла череда засух (2007, 2010, 2012 и 2014 г.), из которых официально зафиксирована только одна – 2010 г.

В России изучение засух началось с середины XIX в. в связи с необходимостью определения последствий их влияния на урожай сельскохозяйственных культур. В настоящее время существует множество критериев и параметров оценки их интенсивности [1, 2, 9–12]. Предвестником сильной засухи является ряд факторов, препятствующих накоплению влаги в почве: осенью – недостаток дождей; зимой – малое количество снега; весной – неблагоприятные условия для впитывания талых вод [13]. Основной причиной засухи является установление блокирующего антициклона. Антициклоны длительностью 5–7 суток регулярно возникают в атмосфере. Большинство из них распадается, и лишь 1% антициклонов продолжается более 15 суток.

Целью настоящего исследования является классификация засух в лесостепной зоне ЦЧР на категории «слабая», «умеренная», «сильная» и уровня «экологической катастрофы» исходя из сдвига климатических характеристик и шкалы чувствительности сосны обыкновенной к засухам.

## Материалы и методы

Мониторинг систем семенного размножения проводился на 30 модельных деревьях сосны

обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) Ступинского тест-объекта (Воронежская обл., Рамонский р-н, граничит с Воронежским биосферным заповедником, местная популяция II класса бонитета, случайная выборка). Это постоянный объект, на базе которого с 1987 г. проводятся мониторинговые исследования систем семенного размножения сосны. Деревья по фенотипу соответствуют региональной норме, имеют стабильное по годам мужское и женское цветение.

Чувствительность генеративной сферы сосны к засухе оценивалась по двум генетически обусловленным и экологически зависимым признакам семенной продуктивности – полнозернистости семян и общему числу семян в шишке (полные + пустые). Данные признаки отличаются порогом чувствительности к засухе, отражают разные этапы формирования семян у сосны. Полнозернистость семян вычисляли как соотношение числа полных семян к общему их числу при свободном опылении.

Классификацию засух на категории «слабая», «умеренная» и «сильная» проводили по степени отклонения климатических характеристик от региональной нормы и интенсивности стресс-реакции сосны. В раннюю засуху между откликом генеративной сферы и силой погодного стресса существует прямая связь. За годы мониторинга в регионе было 7 засух: засуха уровня экологической катастрофы – 2010 г., сильная – 1991, 2007 и 2012 гг., умеренная – 1995 г., слабая – 2001 г. Засушливый период 2014 г. включал слабую раннюю и сильную продолжительную осеннюю засуху. Контрольными были два вегетационных сезона 1992 и 1993 гг. как наиболее отвечающие региональной норме по уровню грунтовых вод (2 м) и погодным условиям.

## Результаты и их обсуждение

Засуху принято классифицировать по продолжительности, количеству выпавших осадков, степени снижения урожайности по сравнению с пятью предыдущими годами [12–14]. Засушливый период с позиции климатической составляющей, в свою очередь, подразделяется на метеорологические, сельскохозяйственные, гидрологические засухи и имеющие социально-экономические последствия [1]. Для определения интенсивности используются показатели гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), стандартизированный индекс осадков (SPI) и испаряемости (SPEI) [12, 13, 15, 16]. По данным Е. К. Зоидзе [11], атмосферные засухи в зависимости от величины ГТК за май–июль классифицируются на пять категорий: очень сильная (ГТК – 0.19); сильная (ГТК – 0.20–0.39); слабая (ГТК – 0.61–0.75); отсутствие засухи (ГТК – 0.75). Градация засух по этим индексам часто не совпадает с реальным их числом. Об этом свидетельствует анализ засух в Саратовской области за период 1981–2001 гг.,



проведенный по трем параметрам: ГТК Селянинова [14], коэффициент увлажнения Шарко [9, 11] и коэффициент Кабанова (число влажных и сухих дней за апрель–сентябрь) [17]. Данные критерии не отражают очень сильную засуху, несмотря на то что по урожайности сельскохозяйственных культур подобная интенсивность имеет место (1998 г.) [18]. При этом самые большие погрешности были отмечены при определении засух слабой и средней интенсивности.

Аналогичные результаты получены и в наших исследованиях. Гидротермические условия сезона оценивались по ГТК Селянинова, который в оптимальные годы – с севера на юг ЦЧР – уменьшается от 1.2 до 0.9. Установлено, что по сравнению с оптимальным 2011 г. помесечный и суммарный ГТК за май–июль в 2010 г. не отразил погодные условия самой сильной и продолжительной за всю историю метеонаблюдений засухи (уровня экологической катастрофы) (табл. 1).

Таблица 1

Гидротермический коэффициент Селянинова за май–июль 2010 г. и 2011 г. в Воронежской области

Год	ГТК			
	Май–июль	Май	Июнь	Июль
2010	0.62	0.82	0.55	0.45
2011	0.75	0.49	1.10	0.65

По классификации Е. К. Зоидзе [11] она отвечала уровню только слабой засухи, что не соответствует действительности. Это обусловлено тем, что срок зарождения и затухания антициклона не привязан к границам месяца или группы месяцев. Возникновение засухи, развитие ее очага и площадь его распространения обусловлены рядом независимых причин (аномалии динамики атмосферы, отклонения в влагозапасе почвы и др.), совпадение которых ведет к экстремально высоким температурам и установлению над определенной территорией блокирующего антициклона [19].

Засуха 2010 г. продолжалась с 3-й декады июня по 27 августа. В последний месяц гидротермический стресс был наиболее жестким. В Воронежской области в течение первых 27 дней августа дождей практически не было (4.6 мм). Установлен новый температурный рекорд (40.5° С). Превышение температуры над среднесуточной нормой составило 212.4° С. Уровень грунтовых вод в «докучаевском колодце» снизился с 3 до 8.7 м. Между грунтовыми и поверхностными водами впервые произошел разрыв [7]. В последнюю неделю августа температурный режим начал приходить в норму. 28 и 29 августа прошли обильные дожди на всей территории ЦЧР. В зависимости от количества выпавших осадков ГТК отличался в разных областях в 2 раза и более. Только в Курской области он соответствовал уровню сильной засухи (0.29), по Е. К. Зоидзе [11].

Мы пришли к заключению, что засуха должна оцениваться как самостоятельный природный феномен в пределах вегетационного сезона и определенной территории с учетом ее природной зональности. В этом случае ГТК вычисляется за период с начала установления и до разрушения антициклона. Это позволяет более точно оценить саму засуху и ее напряженность. Основными характеристиками засухи являются сезон года, продолжительность засушливого периода (не менее месяца), категория (почвенная, атмосферная) и напряженность. Напряженность определяется

по степени отклонения среднесуточной температуры от региональной нормы (не менее 2° С в пересчете на один день засухи) и величине сдвига ГТК от региональной нормы. В оптимальные годы для характеристики вегетационного сезона используются общепринятые метеорологические показатели [20]. Недостатком данного подхода является неточность дат, связанных с началом и окончанием засухи. Однако вероятность ошибки при оценке интенсивности существенно ниже, чем при привязке к границам месяцев. Во время тепловой волны 2007–2014 гг. в ЦЧР произошли четыре засухи. По величине ГТК все они соответствуют категории «сильная» (табл. 2).

При изучении засух наряду с метеорологическими часто используются вегетационные показатели, отражающие реакцию растений на изменение внешней среды. Обобщенным критерием оценки интенсивности принято считать уровень снижения урожайности сельскохозяйственных культур [11, 18]. В слабую засуху урожайность культур снижется на 10–15%, в умеренную – на 25%, в сильную – на 50%, в очень сильную – 50% и более. В наших исследованиях для определения интенсивности засух на территории ЦЧР использовался показатель степени отклонения от региональной нормы двух признаков (процент и число семян на шишку) семенной продуктивности сосны обыкновенной как вида-биоиндикатора.

ЦЧР – это зона высокопродуктивных сосновых лесов и V, самая высокая зона по заготовке семян. Поэтому 3/4 вегетационных сезонов характеризуются стабильно высокой урожайностью – 80% и более. 4/5 деревьев относятся к IV, самому высокому классу продуктивности. Учет и оценка засух нами проводились на одной и той же выборке деревьев Ступинского тест-объекта. Преимуществом данного метода является то, что в биотестировании задействованы одни и те же генотипы. Это позволяет сравнивать их отклик на погодный стресс разной силы в длительной динамике. Географическое положение тест-объекта – центр лесостепной



зоны, южная часть видового оптимума сосны, где репродуктивный потенциал сосны в оптимальные годы реализуется максимально, но на пределе адаптивных возможностей вида.

Засуха является основным типом погодного стресса, на который сосна чутко реагирует в системе «вид – среда» – «генотип – среда». Это позволило построить шкалу чувствительности (норм реагирования) вида к засухе в стрессовом градиенте засушливых лет [21]. При этом важно подчеркнуть, что именно весенне-летние засухи ведут к наибольшим потерям урожая зерновых культур и сахарной свеклы [22]. Установлено, что наибольшую индикационную ценность имеют такие признаки, как полнозернистость, число семян на шишку и набор норм их реагирования на раннюю засуху разной интенсивности.

Отличительная особенность сосны состоит в том, что все ее наиболее чувствительные (критические) к стрессу стадии репродуктивного цикла приходится на весенне-летний период. Это мейоз (вторая половина апреля – начало мая), периоды формирования семян и мужского гаметофита в шишках 1- и 2-го года развития, оплодотворения (конец мая – начало июня), раннего эмбриогенеза

(июнь – начало июля). Поэтому генеративная сфера реагирует на весенне-летнюю засуху пропорционально силе погодного стресса [21, 23]. В летне-осеннюю засуху ее стресс-реакция менее выражена, так как заложение генеративных органов (август) и поздний эмбриогенез (июль–август) являются стадиями, достаточно устойчивыми к погодному стрессу.

Теперь вновь обратимся к данным табл. 2 и проанализируем воздействие тепловой волны каждой засухи на состояние вегетативной и генеративной сфер сосны ступинской популяции. Как известно, сосна обыкновенная – достаточно засухоустойчивый вид. Запасы воды в стволе, корнях и ветвях способствуют выживанию деревьев во время засушливого периода. В 2010 г. от почвенной засухи погибла лишь незначительная часть молодых и ослабленных деревьев, а от сопутствующих пожаров, наоборот, пострадали в основном сосновые леса (площадь пожаров увеличилась в 35 раз). Наиболее тяжелым последствием засухи явилось то, что после 2010 г. уровень грунтовых вод в «докучаевском колодце» так и не вернулся на исходные позиции (3 м) и теперь колеблется в пределах 4–5 м.

Таблица 2

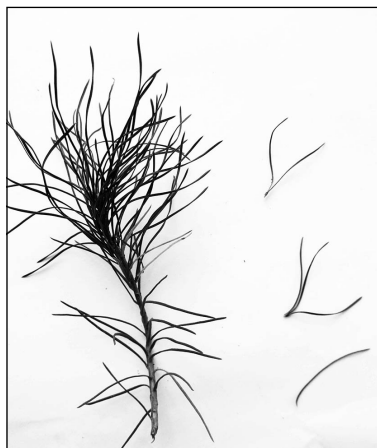
Климатические характеристики засух 2007, 2010, 2012 и 2014 гг. в Воронежской области

Год	Категория засухи	Начало – окончание	Продолжительность, количество недель	ГТК	Отклонение температуры от нормы, °С
2007	Весенне-летняя сильная атмосферная	15.05 – 17.06	4–5	0.22	4.8
2010	Летняя уровня экологической катастрофы почвенная атмосферная	20.05 – 27.08	10	0.24	7.9
2012	Весенняя сильная атмосферная	14.04 – 24.05	6	0.30	5.4
2014	Поздняя сильная почвенная	01.09 – 30.11	3 мес.	0.31	–

В засуху 2007 г. гидротермический коэффициент был самым низким (см. табл. 2). Перед ее началом в почве содержалось достаточное количество влаги (зима была снежной, в первой половине мая выпало 75% нормы месячных осадков). Засуха пришлась на период роста пыльцевых трубок, оплодотворения и раннего эмбриогенеза. Это негативно отразилось на урожайности сосны: полнозернистость снизилась втрое, а количество семян – в 1.5 раза. Засуха 2010 г. пришлась на поздний эмбриогенез – наиболее устойчивую к погодному стрессу репродуктивную стадию. Поэтому урожайность сосновых лесов в ЦЧР снизилась несущественно по обоим показателям. На юге лесостепной зоны (Воронежская и Белгородская области) потеря урожая была достоверно ниже, чем на севере (Тамбовская и Курская области)

[7]. Семенное потомство урожая 2010 г. оказалось нежизнеспособным. Выжившие растения составляли менее 2% от числа высеванных семян. 2/3 из них характеризовались низкорослостью и морфологическими изменениями (форма стволика и направление его роста, окраска и длина хвои, число хвоинок в пучке, число верхушечных и пазушных почек, их расположение на растении (рисунок). После пересадки на лесокультурную площадь многие из растений погибли.

По интенсивности засуха 2012 г. уступала предыдущей [24]. Она пришлась на выход семян и пыльцевых трубок из состояния покоя. На всей территории ЦЧР это был неурожайный год для сосны, так как полностью опали шишки 2-го года развития. Во время вегетационного сезона 2014 г. было два засушливых периода – весенняя



*a*



*b*



*c*



*d*

Два основных типа морфоза (*a, б*) и морфологически измененные растения (*в, г*) сосны обыкновенной, выращенные из семян урожая 2010 г.

слабая и поздняя сильная продолжительная почвенная засуха. За три осенних месяца выпало менее 20% нормы месячных осадков. В конце сентября начали открываться шишки, произошло массовое пожелтение хвои. Морозы во второй половине ноября выдавили из почвы остатки влаги. Деревья ушли в зиму ослабленными. В 2015 г. произошла дестабилизация сосны.

Основной задачей биотестирования является поиск надежных методов оценки клима-

тических изменений в регионе. В их основу должны быть положены критерии и параметры норм реагирования видов-индикаторов на изменение состояния природной среды [25, 26]. Рассмотрим шкалу чувствительности сосны к засухе, полученную в ходе 35-летнего мониторинга систем семенного размножения, в оптимальные годы и в стрессовом градиенте засушливых лет (слабая, умеренная, сильная ранняя засуха) (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика засух на основе метеорологических данных и шкалы чувствительности сосны обыкновенной к засухе

Категория засухи (года)	ГТК	Отклонение температуры, °С	Полнозернистость шишек, %
Оптимальный (урожайный год)	0.9–1.2 (за вегетационный сезон)	1–2	76 и выше (диапазон изменчивости 50–90%)
Слабая засуха (среднеурожайный год)	0.5–0.9 (за период засухи)	2–3	60–75 (диапазон изменчивости 20–90%)
Умеренная засуха (слабоурожайный год)	0.3–0.6 (за период засухи)	3–4	60–40 (диапазон изменчивости 0–90%)
Сильная засуха (неурожайный год)	0.2–0.4	3.5–6	40–20 (диапазон изменчивости 0–70%; количество семян в шишках 50–75% от нормы)
Засуха уровня экологической катастрофы	0.3 и ниже	6 и выше	20 и ниже (диапазон изменчивости 0–50%; количество семян в шишках 0–50% от нормы)



*Оптимальные (урожайные) годы.* Сосна способна поддерживать гомеостаз внутренней среды и сохранять репродуктивный потенциал на уровне региональной нормы в определенном диапазоне изменчивости гидротермического режима. В ЦЧР 7–8 лет из 10 соответствуют категории «оптимальные», несмотря на флуктуацию погодных условий в течение вегетационного сезона. Показатели урожайности вида в такие годы не выходят за пределы региональной нормы ( $\approx 80\%$ ). Среднее число семян в шишке составляет 19.6–26.1. Доля инбредного потомства не превышает 6–8%. Вклад засухоустойчивых форм в семенной продукции года находится на уровне 10–12%.

*Слабая засуха (средний по урожайности год).* В слабую засуху (2001 и 2014 гг.) включается генетически детерминированный защитный механизм – неспецифическая и специфическая реакция, повышающая адаптацию выживших семян к гидротермической нагрузке [21]. Наиболее характерные признаки слабой засухи: полнозернистость шишек в пределах 60–75% (редукция на 20–40%) за счет увеличения в выборке доли деревьев низкопродуктивных классов; дифференциация на чувствительные, средние и устойчивые к засухе формы. Число семян на шишку остается на уровне оптимальных лет. Доля инбредного потомства повышается вдвое, так как самофертильность является очень чувствительным к погодному стрессу признаком [26]. Представительство потомств от засухоустойчивых форм повышается на 20–30%.

*Умеренная засуха (слабоурожайный год).* В умеренную засуху (1995 г.) урожайность сосны уменьшается вдвое, размах изменчивости деревьев по полнозернистости достигает максимума (0–85%). Выборка представлена тремя классами генотипов: устойчивые, средние и чувствительные формы. Урожайность первых остается на уровне оптимальных лет, вторая группа с модальным значением признака – в области 40–60%, последняя – слабоурожайные и пустошесемьянные деревья. Число семян на шишку не меняется. Повышение доли инбредных семян трехкратное. Вклад засухоустойчивых форм в семенную продукцию года увеличивается на 70–100%.

*Сильная засуха (неурожайный год).* В сильную засуху изменчивость деревьев по полнозернистости сужается, мода признака переходит в область низкопродуктивных классов. Редукция урожая составляет трех- (2007 г.), пятикратное (1991 г.) и 100%-ное уменьшение (неурожайный 2012 г.) [21]. Биопродуктивность шишек падает по обоим признакам: полнозернистость – от 40 до 0%; число семян – от 50% и более. Генотипический состав выживших семян сильно изменен. В засуху 1991 г. доля инбредных генотипов, аутбредных потомств и потомств от засухоустойчивых форм была приблизительно одинаковая (по 1/3 от числа выживших семян) [27, 28]. В сильную засуху начинает страдать вегетативная сфера. Ее

признаками являются массовое пожелтение хвои, отмирание нижних ветвей, суховершинность.

## Заключение

В ходе 30-летнего мониторинга выявлено, что отклик генеративной сферы сосны обыкновенной на раннюю засуху пропорционален силе погодного стресса. Получена шкала чувствительности сосны к засухе в стрессовом градиенте засушливых лет – от слабой к сильной.

Одной из актуальных задач агрометеорологии, экологии и лесной генетики является учет всех засух разной напряженности. Показано, что критериями оценки их интенсивности в ЦЧР являются комплекс региональных метеорологических параметров и шкала чувствительности сосны обыкновенной к засухе. Засушливый период является более точно тогда, когда он регистрируется и характеризуется как автономная природная аномалия, связанная с определенной территорией и годом. Интенсивность засухи отражают такие метеорологические показатели, как тип засухи (почвенная, атмосферная), ее продолжительность, степень отклонения среднесуточной температуры от региональной нормы, величина ГТК, а также показатели степени редукции урожайности сосны по полнозернистости шишек. В оптимальные годы для характеристики вегетационного сезона используются общепринятые критерии и параметры.

## Библиографический список

1. Хлебникова Е. И., Павлова Т. В., Сперанская Н. А. Засухи // Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / под ред. С. М. Семенова. М.: Росгидромет, 2012. С. 126–164.
2. Засухи Восточно-европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным / Соломина О. Н., Бушуева И. С., Долгова Е. А. [и др.]. М.; СПб.: Нестор-История, 2017. 360 с.
3. Сазонов Б. И. Суровые зимы и засухи. Л.: Гидрометеорологиздат, 1991. 240 с.
4. Докучаев В. В. Наши степи прежде и теперь. М.: Сельхозгиз, 1953. 152 с.
5. Керженцев А. С. Функциональная экология. М.: Наука, 2006. 259 с.
6. Переведенцев Ю. П., Гоголь Э. П., Наумов К. М., Шаталинский К. М. Глобальные и региональные изменения климата на рубеже XX и XXI столетий // Вестник ВГУ. География. Геоэкология. 2007. № 2. С. 5–11.
7. Пардаева Е. Ю., Машкина О. С., Кузнецова Н. Ф. Состояние генеративной сферы сосны обыкновенной как биоиндикатора устойчивости лесов на территории Центрально-Черноземного района в связи с глобальным изменением климата // Труды / СПбНИИЛХ. 2013. № 2. С. 16–21.
8. Дмитриева В. А. Гидрологическая роль озер и болот Воронежской области // Вестник ВГУ. География. Геоэкология. 2010. № 1. С. 98–102.



9. Шульгин А. М. Агрометеорология и агроклиматология. Л. : Гидрометеоиздат, 1978. 200 с.
10. Генкель П. А. Физиология жаро- и засухоустойчивости. М. : Наука, 1982. 280 с.
11. Зондзе Е. К. Об одном подходе к исследованию неблагоприятных агроклиматических явлений в условиях изменения климата в Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2004. № 1. С. 96–104.
12. Begueria S., Vicente-Serrano S. M., Reig F., Latorre B. Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) revisited : parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring // Intern. J. Climatology. 2014. Vol. 34. P. 3001–3023.
13. Селянинов Г. Т. Происхождение и динамика засух // Засухи в СССР, их происхождение, повторяемость и влияние на урожай. М. ; Л. : Издательство АН СССР, 1958. С. 5–30.
14. Головоченко А. П. Засухи и селекция засухоустойчивых сортов яровой пшеницы в Среднем Поволжье // Проблемы повышения продуктивности полевых культур : сб. науч. тр. Самара : СГСХА, 1998. С. 132–140.
15. Guttman N. V. Comparing the palmer drought index and the standardized precipitation index // J. American Water Resources Association. 1998. Vol. 34, № 1. P. 113–121.
16. Черенкова Е. А., Золотокрылин А. Н. О сравнимости некоторых количественных показателей засухи // Фундаментальная и прикладная климатология. 2016. Т. 2. С. 74–94.
17. Кабанов П. Г., Костров В. Г. Погода и засухи в Поволжье // Научные труды // НИИСХ Юго-Востока. 1972. Вып. 31. 75 с.
18. Пряхина С. И., Гужова Е. И., Злобин Р. И., Кузнецова С. А., Смирнова М. М. Засухи и критерии их оценки // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 21–27.
19. Мохов И. И. Особенности формирования летней жары 2010 г. на Европейской территории России в контексте общих изменений климата и его аномалий // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. Т. 47, № 6. С. 709–716.
20. Погода и Климат [Электронный ресурс]. URL : <http://www.pogodaklimat.ru> (дата обращения: 15.03.2019).
21. Кузнецова Н. Ф. Развитие неспецифической и специфической реакций у *Pinus sylvestris* L. на популяционном уровне в стрессовом градиенте засушливых лет // Экология. 2015. № 5. С. 1–7.
22. Дмитриенко В. П. Методические указания по комплексной оценке влияния засушливых явлений на урожайность зерновых культур и сахарной свеклы. М. : Гидрометеоиздат, 1992. 84 с.
23. Свинцова В. С., Кузнецова Н. Ф., Пардаева Е. Ю. Влияние засухи на генеративную сферу и жизнеспособность пыльцы сосны обыкновенной // Лесоведение. 2014. № 3. С. 49–57.
24. Золотокрылин А. Н., Титкова Т. Б., Черенкова Е. А., Виноградова В. В. Сравнительные исследования засух 2010 и 2012 гг. на Европейской территории России по метеорологическим и MODIS данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10, № 1. С. 246–253.
25. Алексеев В. А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 197 с.
26. Биологический контроль окружающей среды : биоиндексация и биотестирование / под ред. О. П. Мелиховой, Е. И. Егоровой. М. : Академия, 2007. 288 с.
27. Кузнецова Н. Ф. Генетическая система несовместимости и ее проявление у сосны обыкновенной // Лесоведение. 1996. № 5. С. 27–33.
28. Kuznetsova N. F. Self-fertility in Scots pine as a system for regulation close relationships and species survival in an adverse environment // Advances in Genetic Research. 2012. Vol. 9. P. 83–106.

**Образец для цитирования:**

Кузнецова Н. Ф. Засухи в лесостепной зоне Центрально-Черноземного региона и критерии оценки их интенсивности // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2019. Т. 19, вып. 3. С. 142–148. DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-3-142-148>

**Cite this article as:**

Kuznetsova N. F. Droughts in the Forest-Steppe Zone of Central Chernozemic Region and Criteria for Evaluation of their Intensity. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Earth Sciences*, 2019, vol. 19, iss. 3, pp. 142–148 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2019-19-3-142-148>