

РАЗВИТИЕ МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ЗАСУШЛИВОСТИ И УВЛАЖНЕННОСТИ АТМОСФЕРЫ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ И ЮГО-ЗАПАДЕ СИБИРИ

В.Ф. Козельцева, А.М. Алешина, Н.Н. Кузнецова

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр
Российской Федерации
nkuznetsova@mecom.ru*

При долгосрочном прогнозировании опасных явлений погоды возникают сложности из-за их редкой повторяемости [1–4]. Д.А. Педь [2] предложил объединить каждое явление в отдельности по двум месяцам (май-июнь, июль-август), увеличив число случаев с засухой ($Si \geq 2,0$) и избыточным увлажнением ($Si \leq -2,0$). При этом считалось, что если в одном из месяцев года индекс Si принимал значение 2,0 и более ($-2,0$ и менее), то в этом году наблюдалась засуха (избыточное увлажнение). Однако выполненные работы показали, что даже такое объединение не приводит к достаточному ряду случаев. Поэтому авторы данной статьи решили увеличить базу данных (БД) параметра Si и сохранить преемственность в исследовании. Для этого воспользовались данными из БД за более длительный период времени (1900–2013 гг.) по 20 станциям, расположенным на Европейской территории России (ЕТР) и в юго-западной части Западной Сибири. Эти станции имели полные ряды наблюдений по средней месячной температуре воздуха и сумме осадков за месяц. Индекс Si рассчитывался по известной формуле:

$$Si = \frac{\Delta T}{\sigma_T} - \frac{\Delta R}{\sigma_R},$$

где $\Delta T(\Delta R)$ – отклонения от нормы средней месячной температуры воздуха (месячной суммы осадков); $\sigma_T(\sigma_R)$ – их средние квадратические отклонения.

Настоящая работа проводилась с учетом гипотезы, выдвинутой Д.А. Педем, о возрастании вероятности наступления явлений с увеличением периода их отсутствия. В работе мы расширили ещё и диапазон значений параметра Si , взяв значения $Si \geq 1,5$ (засушливость) и $Si \leq -1,5$ (увлажненность), тем самым получив для анализа достаточный ряд случаев.

Майская засушливость

Рассмотрим майскую засушливость, где критерием засушливости считается значение индекса $Si \geq 1,5$. В засушливость включается также засуха ($Si \geq 2,0$), которая является опасным явлением погоды, наносящим большой ущерб сельскому хозяйству.

За 114 рассмотренных лет засуха ($Si \geq 2,0$) отмечалась от 7 до 20 лет. В это же время число лет с засушливостью ($Si \geq 1,5$) увеличилось от 15 до 25.

В связи с этим предпочтение для дальнейшего изучения было отдано засушливости. Распределение суммы лет с засушливостью ($Si \geq 1,5$) по рассматриваемой территории в мае 1900–2013 гг. представлено на рис. 1.

Из анализа рис. 1 следует, что засушливость ($Si \geq 1,5$) за указанный период времени отмечалась на всех станциях. Число лет с $Si \geq 1,5$ в центральной части территории составляло 20–25 лет. На периферии региона засушливость наблюдалась гораздо реже: в Мурманске – 13; в Вильнюсе и Нарьян-Маре – по 15; в Санкт-Петербурге и Астрахани – по 17; в Екатеринбурге – 18 лет.

Вероятность ($P\%$) появления засушливости ($Si \geq 1,5$) можно определить тремя способами.

Первый – это климатическая вероятность, которую рассмотрим на примере Москвы (табл. 1). Значения n_{1i} указывают число лет отсутствия $Si \geq 1,5$. Параметр n_{2i} – это число случаев,

объединенных определенным числом лет (n_i) при определении вероятности появления засушливости после её отсутствия. Эта вероятность рассчитывается следующим образом:

$$P_i\% = \frac{n_{2i}}{\sum n_{2i}} \cdot 100, \text{ где } i = 1, \dots, 9.$$

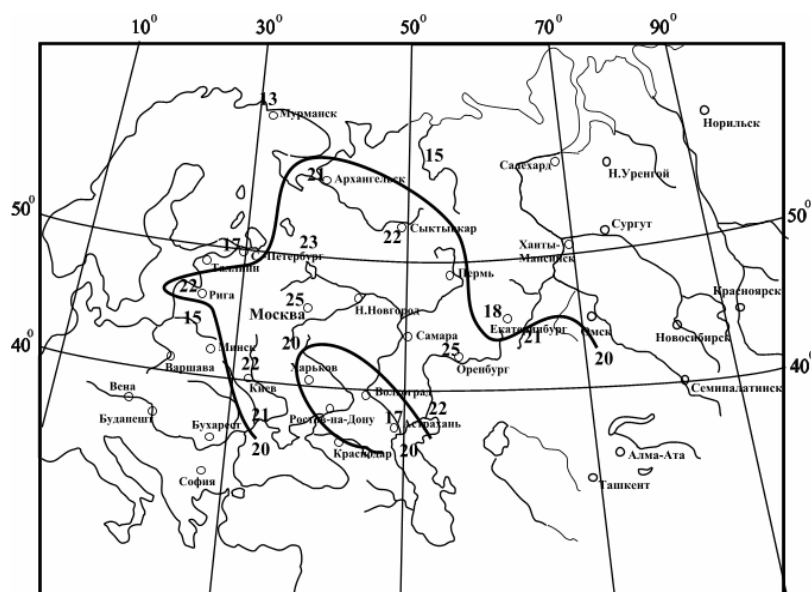


Рис. 1. Распределение суммы лет с засушливостью $S_i \geq 1,5$ в мае 1900–2013 гг.

Второй способ определения вероятности появления засушливости после её отсутствия предложен Педем Д.А., результаты которого по Москве представлены в табл. 2.

В табл. 2 первые две строки совпадают с данными табл. 1. Значения n_{3i} – это сумма случаев, образовавшихся за вычетом уже наблюдаемых: $n_{31} = \sum n_{2i}$; далее начиная с n_{32} значения $n_{3(i+1)} = n_{3i} - n_{2i}$, где $i = 1, \dots, 9$. По значениям n_{3i} последовательно определяются вероятности $P_i\%$.

Таблица 1

Климатическая вероятность $P_i\%$ появления засухливости ($Si \geq 1,5$)
после её отсутствия. Москва. Май 1900–2013 гг.

Число лет n_{1i}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
К-во случаев n_{2i}	8	3	5	2	3	–	1	2	1	25
$P_i\%$	32	12	20	8	12	–	4	8	4	100

Таблица 2

Вероятность $P_i\%$ появления засухливости ($Si \geq 1,5$)
после её отсутствия. Москва. Май 1900–2013 гг.

Число лет n_{1i}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
К-во случаев n_{2i}	8	3	5	2	3	–	1	2	1	25
Σ случаев n_{3i}	25	17	14	9	7	–	4	3	1	–
$P_i\%$	32	18	36	22	43	–	25	67	100	–

Третий способ предложен авторами данной статьи. Расчеты представлены в табл. 3, где строки 1 и 2 совпадают с данными табл. 1. Этот способ отличается от предыдущего тем, что здесь постепенно суммируются случаи $n_{1i} + n_{2i}$, а результат заносится в строку n_{3i} . При этом $n_{31} = 25$, как и в табл. 2, $n_{32} = n_{21} + n_{22}$, а $n_{3(i+2)} = n_{2(i+2)} + n_{3(i+1)}$, где $i = 1, \dots, 9$. Вероятность первого столбца $P_1\% = \frac{n_{21}}{\sum n_{2i}} \cdot 100$, начиная со второго столбца $P_{i+1}\% = \frac{n_{3(i+1)}}{\sum n_{2i}} \cdot 100$, где $i = 1, \dots, 9$.

Для сравнения вычисленных вероятностей появления засухливости после её отсутствия в Москве в мае 1900–2013 гг., полученных тремя описанными выше способами, построен график (рис. 2), где по оси абсцисс – суммы лет отсутствия засухливости n , а по оси ординат – вероятность $P_i\%$.

Таблица 3

Вероятность $P_i\%$ появления засушливости ($S_i \geq 1,5$)
после её отсутствия. Москва. Май 1900–2013 гг.

Число лет n_{1i}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Σ
К-во случаев n_{2i}	8	3	5	2	3	–	1	2	1	25
Σ случаев n_{3i}	25	11	16	18	21	–	22	24	25	–
$P_i\%$	32	44	64	72	84	~86	88	96	100	–

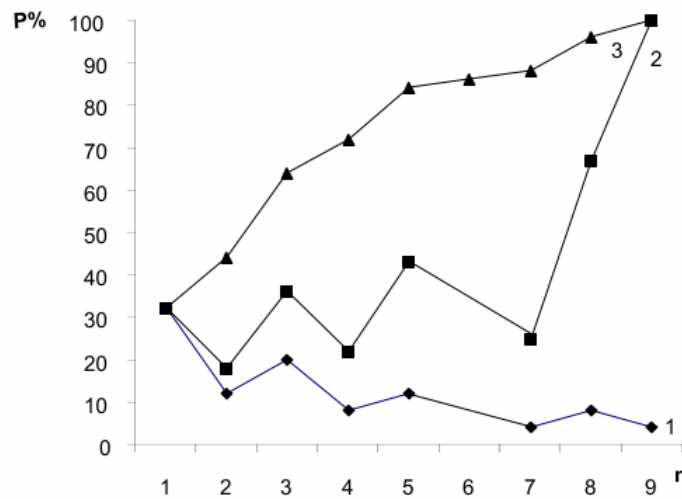


Рис. 2. Вероятность (%) наступления засушливости ($S_i \geq 1,5$) в Москве в мае: 1 – климатическая вероятность; 2 – метод Д.А. Педея; 3 – способ, предложенный авторами статьи.

Данные графика показывают, что принятая нами гипотеза о возрастании вероятности наступления засушливости после её отсутствия выполняется только при использовании третьего способа, поэтому дальнейшие исследования будут проводиться с привлечением этого способа.

Майская увлажненность

Увлажненность (избыточное увлажнение) характеризуется погодными условиями, при которых индекс $Si \leq -1,5$ ($Si \leq -2,0$). Этот показатель связан с прохладной сырой погодой, низкими температурами воздуха и увеличенным количеством осадков. Такое сочетание часто приводит к выпариванию и гибели растений.

Отмечаются две особенности различия увлажненности и засушливости. Первая заключается в том, что майская увлажненность ($Si \leq -1,5$) отличается от засушливости ($Si \geq 1,5$) суммой лет, когда эти явления наблюдались. При сравнении данных рис. 1 и рис. 3 видно, что число лет с засушливостью почти на всей рассматриваемой территории превышает 20 лет. Число лет с увлажненностью в основном составляет от 8 до 14 лет.

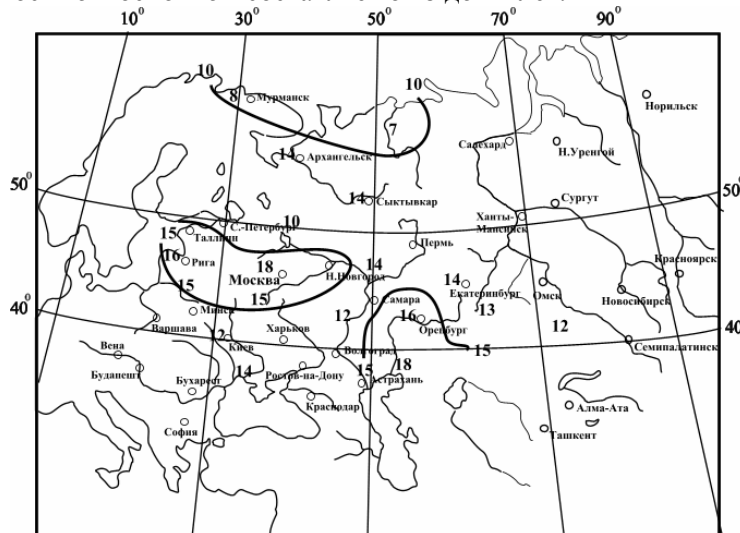


Рис. 3. Распределение суммы лет с увлажненностью ($Si \leq -1,5$) в мае 1900–2013 гг.

Выделяются два очага с наибольшей повторяемостью $Si \leq -1,5$: Прибалтика и центральная часть (Вильнюс и Курск по 15 лет, Рига – 16, Москва – 18), а второй – юго-восток рассматриваемой территории (Астрахань – 15 лет, Оренбург – 16 и Гурьев –

18). Минимальные значения вероятности наблюдались в Нарьян-Маре (7) и Мурманске (8).

Расчеты $P_i\%$ производились аналогично, как для засушливости (табл. 4).

Таблица 4

Вероятность $P_i\%$ появления увлажненности ($Si \leq -1,5$) после её отсутствия. Москва. Май 1900–2013 гг.

Число лет n_{1i}	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Σ
К-во случаев n_{2i}	2	3	3	3	3	1	–	1	1	–	–	–	1	18
Σ случаев n_{3i}	2	5	8	11	14	15	–	16	17	–	–	–	18	
$P_i\%$	11	28	44	61	78	83	~86	89	94	–	–	–	100	

Вторая особенность увлажненности заключается в увеличении числа периодов её отсутствия. Так, если в Москве засушливость $Si \geq 1,5$ не наблюдалась только при $n_1 = 6$, то увлажненность $Si \leq -1,5$ – при $n_1 = 7, 10, 11, 12$. Например, в Санкт-Петербурге увлажненность отсутствовала в течение 35 лет (1959–1993 гг.), в Оренбурге – 27 лет (1965–1991 гг.) и в Гурьеве – 19 лет (1965–1987 гг.).

Июньская засушливость

Расчеты в данном разделе проводились аналогично предыдущим. На рис. 4 представлено распределение суммы лет с засушливостью ($Si \geq 1,5$) в июне за период 1900–2013 гг. Сравнение рис. 2 (май) и рис. 4 (июнь) указывает на небольшое уменьшение суммы лет. Обширный очаг, наблюдавшийся в мае и занимавший почти всю территорию (сумма лет составляла 20–25), в июне сдвинулся в южные районы и разделился на две части. Один занял центр и юг ЕТР, а другой расположился между Кустанаем и Астаной. Максимальная сумма лет в первом очаге составила 24 года, а во втором –

23. На большей же части рассматриваемой территории эти суммы равнялись 18–19 годам. Минимальное число лет было в Мурманске (11) и Нарьян-Маре (13).

В табл. 5 представлены вероятности $P_i\%$ появления засухливости ($S_i \geq 1,5$) после её отсутствия. Вычисленные вероятности подтверждают данные табл. 3.

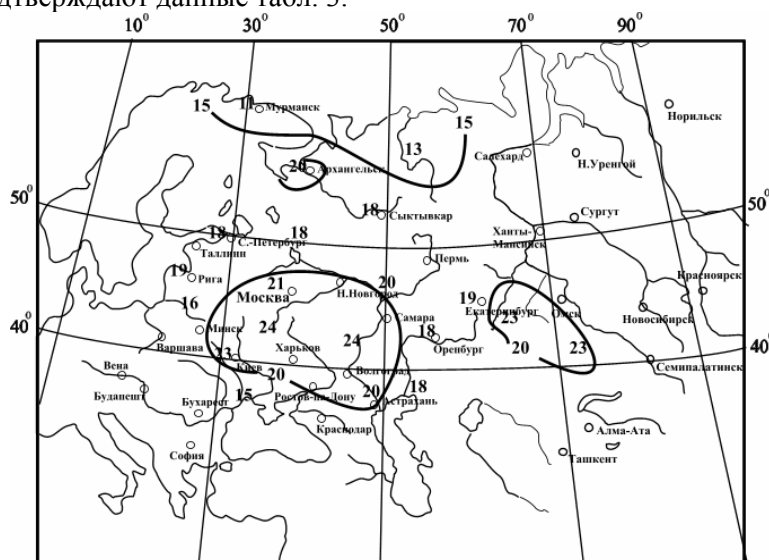


Рис. 4. Распределение суммы лет засухливости ($S_i \geq 1,5$) в июне 1900–2013 гг.

Таблица 5

Вероятность $P_i\%$ появления засухливости ($S_i \geq 1,5$) после её отсутствия. Москва. Июнь 1900–2013 гг.

Число лет n_{1i}	1	2	3	4	5	6	7	8	19	Σ
К-во случаев n_{2i}	7	4	–	3	1	1	2	2	1	21
Σ случаев n_{3i}	7	11	–	14	15	16	18	20	21	
$P_i\%$	33	52	~59	67	71	76	86	95	100	

Июньская увлажненность

При изучении увлажненности ($Si \leq -1,5$) в июне (рис. 5) оказалось, что наблюдения по станциям составляли только 11–14 лет. Максимальное количество случаев, равное 16, отмечалось на Кольском полуострове и в северных районах рассматриваемой региона.

Вычисленные вероятности $P_i\%$ имеют пропуск от 1 до 2 и от 9 до 19 лет, поэтому в табл. 6 данные столбцы отсутствуют.

Пропущенные графы (число лет) в табл. 5 и 6 будут пополняться по мере поступления фактических данных, а вычисленные вероятности уточняться.

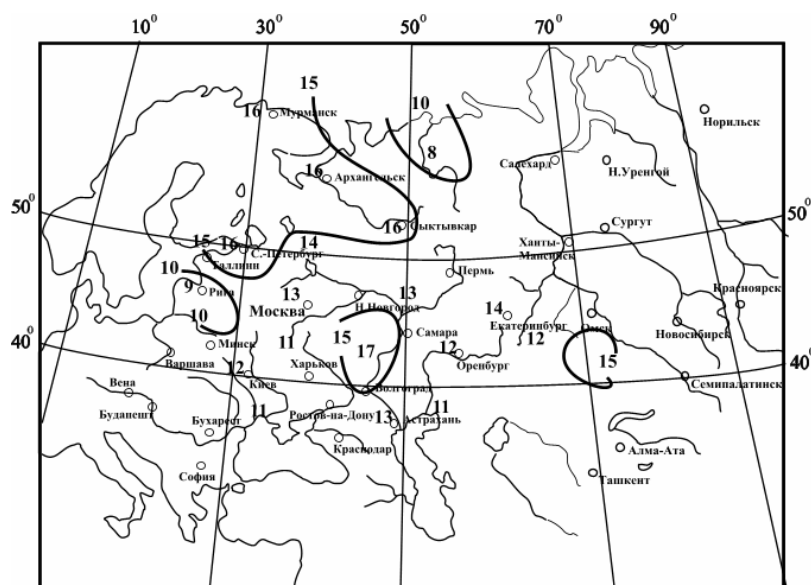


Рис. 5. Распределение суммы лет с увлажненностью ($Si \leq -1,5$) в июне 1900–2013 гг.

Вероятности $P_i(\%)$ ожидаемой засушливости определяются по данным каждой отдельной станции с учетом лет её отсутствия n_1, n_2, n_3 и т. д.

Таблица 6

Вероятность $P_i\%$ появления увлажненности ($Si \leq -1,5$)
после её отсутствия. Москва. Июнь 1900–2013 гг.

Число лет n_{1i}	1	2	3	4	5	6	7	8	20	Σ
К-во случаев n_{2i}	–	–	3	4	1	1	2	1	1	19
Σ случаев n_{3i}	–	–	3	7	8	9	11	12	13	
$P_i\%$	–	–	23	54	62	69	85	92	100	

Для Москвы 2013 г. – это n_3 и имеет $P = 44\%$. Аналогично рассчитываются вероятности для остальных из 20 станций. Карта распределения вероятностей наступления засушливости анализируется путем выделения районов с наибольшей вероятностью ($P \geq 40\%$) и наименьшей $P < 40\%$. Подобное распределение использовалось в [2].

В мае 2013 г. наибольшая вероятность появления засушливости отмечалась на западе и юге изучаемой территории (рис. 6). Фактическое распределение параметра Si представлено на рис. 7, где выделяются области со значениями параметра $Si \geq 1,5$ на северо-западе (Мурманск $Si = +3,6$, Архангельск $Si = +2,1$) и в южной половине (со значениями индекса Si от 2,1 в Оренбурге до 4,5 в Одессе).

Карты распределения вероятностей для увлажненности составляются подобным образом, но в настоящее время из-за длительных пропусков этого явления погоды (27, 30 лет) их использование не целесообразно.

Выводы

1. Пополнен архив параметра Si до 2013 г. и составил 114 лет. Были выделены случаи с засушливостью ($Si \geq 1,5$) и увлажненностью ($Si \leq -1,5$) по 20 станциям Европейской территории России и юго-запада Западной Сибири.

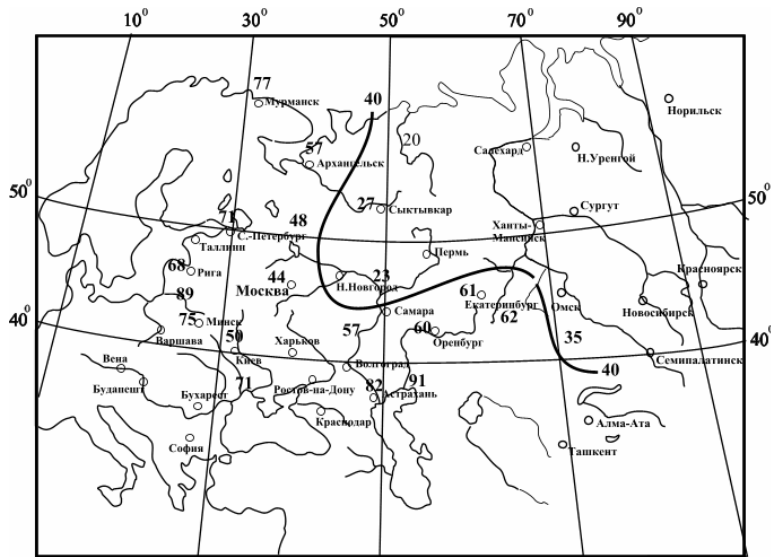


Рис. 6. Вероятность $P_i\%$ ожидаемой засухливости ($S_i \geq 1,5$)

в мае 2013 г.

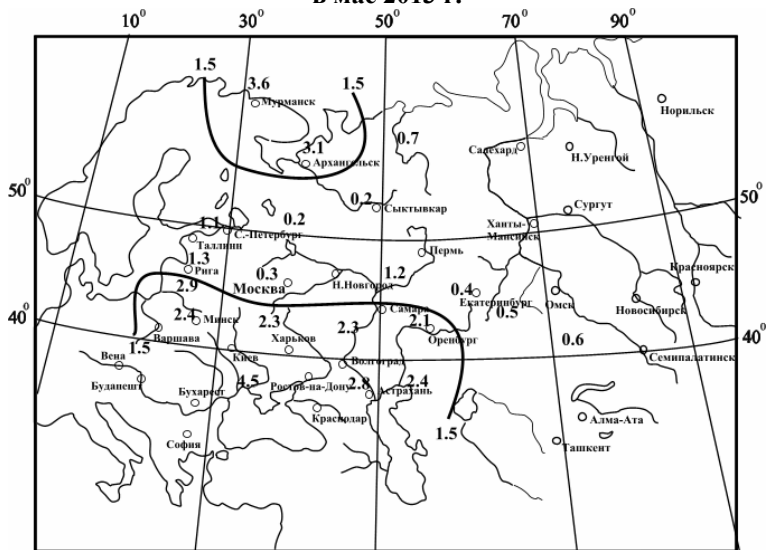


Рис. 7. Фактическое распределение параметра S_i в мае 2013 г.

2. Рассмотрены три варианта расчета вероятностей наступления рассматриваемых явлений погоды. При анализе полученных результатов оказалось, что наиболее эффективным можно считать только третий вариант, предложенный авторами данной статьи. Он объективен и имеет заблаговременность около года.

3. Приведен пример определения вероятности появления засушливости и увлажненности по Москве для мая и июня с заблаговременностью около года. Результаты представлены в таблицах.

4. Даны карты распределения сумм лет с засушливостью $Si \geq 1,5$ и с увлажненностью $Si \leq -1,5$ по 20 станциям Европейской территории России и юго-запада Западной Сибири за период 1900–2013 гг.

5. Изложен способ определения вероятностей наступления засушливости по территории в целом. В качестве примера выбран май 2013 г. Для него приведены карты распределения вероятностей засушливости и фактического распределения параметра Si .

6. В дальнейшем по мере пополнения базы фактических данных температуры воздуха и осадков вычисленные вероятности будут уточняться.

Список использованных источников

1. Дроздов О.А. Засухи и динамика увлажнения. – Л.: Гидрометеоздат, 1960. – 95 с.

2. Козельцева В.Ф., Педь Д.А. Вероятность атмосферных засух на Европейской территории СССР, в Западной Сибири и Северном Казахстане // Труды Гидрометцентра СССР. – 1982. – Вып. 250. – С. 3–15.

3. Педь Д.А. О показателе засухи и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып. 156. – С. 19–38.

4. Педь Д.А. Климатические особенности атмосферных засух и избыточного увлажнения // Труды Гидрометцентра СССР. – 1975. – Вып. 156. – С. 39–69.

Поступила в редакцию 13.04.2015 г.