

УДК 556.167

МАЛОВОДЬЯ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Е.В. Гуревич, М.Л. Марков

Государственный гидрологический институт, gewita@yandex.ru

Выполнен анализ экстремальных значений минимального стока рек Европейской части России, гидрометеорологических предпосылок и последствий маловодий. Дана оценка длительности и повторяемости серий маловодных рек для отдельных речных бассейнов.

Ключевые слова: минимальный 30-суточный сток рек, повторяемость маловодных лет.

SHORTAGE OF WATER IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

E.V. Gurevich, M.L. Markov

State Hydrological Institute

The analysis of the extreme values of minimum flows of rivers in the European territory of Russia, hydro-meteorological predpologala and consequences of malovody. The estimation of the duration and frequency of episodes of low flow rivers for certain river basins.

Keywords: minimum 30-day flow of rivers, the frequency of occurrence of low flow years.

Периодически наблюдающееся маловодье рек причиняет ущерб не только водопользователям (гидроэнергетике, водному транспорту, сельскому хозяйству и т.д.), но и жизнедеятельности водной флоры и фауны. В результате дефицита воды могут возрасти концентрация сбрасываемых предприятиями загрязняющих веществ и тепловое «загрязнение» воды, понизится содержание растворенного в воде кислорода из-за слабого водообмена. Все это, в целом, оказывает неблагоприятное влияние на качество воды и, соответственно, на состояние экосистем, а также санитарно-эпидемиологическую обстановку водных объектов.

Маловодью и засухам посвящено множество публикаций. В последние годы главное внимание уделялось проблеме определения расчетных значений минимального стока при нестационарности рядов наблюдений ([1, 5, 15] и др.). В ряде статей и монографий констатируется существенный рост минимального стока рек лесостепной, лесной и таежной зон начиная с 1980-х годов. В качестве основной причины этого явления указывается потепление климата, приводящее к увеличению доли жидких осадков и, соответственно, питания подземных вод. Исходя из того что прогнозируется дальнейшее повышение температуры воздуха, разработаны прогнозы увеличения подземного питания рек и минимального стока ([5, 6] и др.). Но гидрологические данные за последние 5—7 лет показывают, что

минимальный сток начал снижаться, несмотря на продолжающееся повышение температуры воздуха. Встает вопрос: на что ориентироваться в задачах, в том числе и экологических, где важна оценка минимального стока, — на тренд роста или цикличность?

Цель настоящей статьи — выполнить ретроспективный анализ динамики многолетних колебаний минимального стока рек и повторяемости его наиболее низких значений, гидрометеорологических предпосылок и экологических последствий маловодных периодов в отдельных районах европейской части России (ЕЧР).

В анализе многолетней изменчивости минимального стока рек ЕЧР использованы данные гидрологических наблюдений за общий период 1935—2010 гг. (бассейн Балтийского моря до 2014 г). В целом по ЕЧР самые низкие межени наблюдались в 1937—1945, 1972—1976 и 2002—2010 гг. (рис. 1 *а, в, д, ж, и*). Эти годы входят в три маловодные фазы водности рек исследуемой территории — конец 30-х, 70-е и начало 2000-х годов, что соответствует повторяемости маловодных периодов в наихудшей фазе примерно каждые 34—38 лет при их продолжительности 3—7 лет. Данная оценка является обобщающей, и на отдельных водосборах может проявиться разнохарактерность водности с включением других групп лет в общий цикл колебаний минимального стока рек. Например, на юге ЕЧР проявила себя фаза дефицита водности в 50-е годы XX века. Большинство случаев экстремально низкой межени приходится на период до 1980 года, затем наблюдается период повышенной водности до начала 2000-х годов. За 20-летний период (1991—2010 гг.) на реках России отмечалось 112 маловодий с учтенным ущербом, из них восемь случаев в период 1991—1995 гг., девять случаев в 1996—2000 гг., 51 случай в 2001—2005 гг., десять случаев в 2006—2010 гг. [14].

В XX веке наиболее маловодными в северо-западной и центральной частях России были 1938 и 1972 гг. (на отдельных реках 1939 и 1973 гг). В новейшей истории проблема маловодья затронула многие регионы страны в 2010 г. На рис. 1 *б, г, е, з, к* представлено сравнение летних гидрографов стока, которое показывает разную реакцию речных бассейнов в маловодные периоды 1938, 1972 и 2010 гг. Во всех случаях наиболее опасная гидрологическая ситуация складывалась во второй половине лета и характеризовалась интенсивным снижением уровня подземных вод.

2010 г. был в Северном полушарии самым теплым за всю историю метеорологических наблюдений (120 лет). Аномальная жара, продержавшаяся летом 2010 года в России более 50 суток, стала одной из самых крупных в мире климатических аномалий. Сочетание жаркой погоды с большим дефицитом осадков (менее 40 % нормы) привело к атмосферной, почвенной, а затем и гидрологической засухе. Лето 2010 г. в целом для России попадает в число восьми самых сухих, а для региона ЕЧР оно оказалось третьим по рангу сухих лет. По многим территориям наблюдалось значительное понижение уровня воды рек различного порядка [4].

Наличие существенного дефицита осадков на полигоне «Каменная степь» продолжалось два года подряд. Еще в апреле 2009 г. о нарастающей негативной ситуации свидетельствовало не только заметное снижение общих запасов влаги в пахотном и метровом горизонтах, но и показатели «Докучаевского колодца».

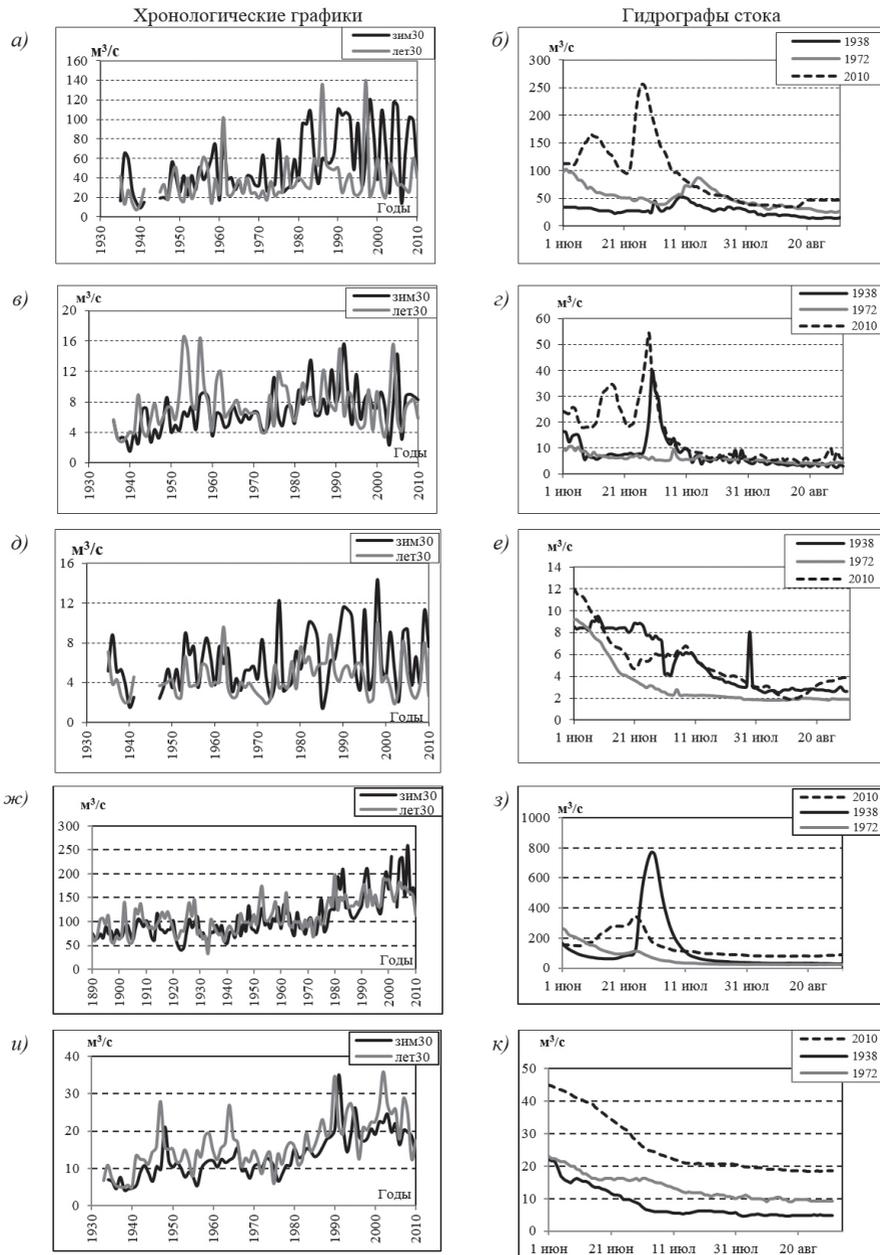


Рис. 1. Многолетние колебания минимального 30-суточного зимнего (зим30) и летне-осеннего (лет30) стока (а, в, д, ж, и) и гидрографы стока рек (б, г, е, з, к). а и б — р. Великая, д. Пятоново, $F = 20\,000\text{ км}^2$; в и г — р. Тихвинка, д. Горелуха, $F = 2070\text{ км}^2$; д и е — р. Луга, г. Луга, $F = 2330\text{ км}^2$; ж и з — р. Унжа, г. Макарьев, $F = 18,500\text{ км}^2$; и и к — р. Самара, с. Елшанка, $F = 22\,800\text{ км}^2$.

Он вот уже почти 120 лет является наиболее информативным индикатором в отношении увлажненности — там ведутся мониторинговые исследования за уровнем грунтовых вод. До 2007 г. уровень снижения зеркала грунтовых вод и глубина залегания колебались в пределах трех метров. Но уже на 1 сентября 2008 г. уровень грунтовых вод опустился до 5,45 м. Вода стала «уходить», а весной 2009 г. остановилась на отметке 6,59 м. Таким образом, за два года уровень воды упал почти на четыре метра. При этом снизилось количество осадков, выпавших в зимне-весенний период 2009 г. Это привело к снижению общих запасов влаги в поверхностных горизонтах и к заметному невосполнению в нижележащих слоях (на глубине более 60—80 см). Уже к августу 2010 г. уровень грунтовых вод в «Докучаевском колодце» достиг рекордной цифры — 8,7 м. При этом впервые было отмечено отсутствие соединения влаги выпадающих осадков и уровня грунтовых вод [7]. Таким образом, 2009 г. стал предтечей 2010 г. с его тяжелыми последствиями для сельского хозяйства Воронежской области и всего Центрального Черноземья. Засуха этого года, по данным старейшей гидрометеобсерватории «Каменная степь», аналогична засухам 1899, 1921, 1946 гг., которые катастрофически снизили урожай зерновых и других культур в европейской части страны.

Аномальная жара летом 2010 г. охватила 14 регионов, среди которых Татарстан, Башкортостан, Мордовия, Оренбургская, Саратовская, Самарская, Пензенская, Нижегородская, Волгоградская, Челябинская области и др.

В связи с продолжительным периодом сухой (без осадков) погоды, на реках Республики Коми наблюдался низкий уровень воды. Уровень воды на реке Лузе и на отдельных участках рек Вычегодского и Мезенского бассейнов приблизился к историческому минимуму летне-осенней межени [8]. Беспрецедентная по длительности и масштабам засуха привела к резкому обмелению всех водоемов Башкирии.

Небывалая засуха охватила Поволжье. Уровень воды в Волге достиг критического, в Куйбышевском водохранилище он упал на 6 м. В Татарстане жара полностью уничтожила десятки рек, также серьезно пострадали 79 рек длиной более 100 км и 260 рек длиной до 60 км. Из-за падения уровня воды повысилось содержание загрязняющих веществ в Волге — предельно допустимые концентрации были превышены более чем в два раза. Это создало угрозу здоровью населения, ведь Волга и Куйбышевское водохранилище питают водоканалы множества населенных пунктов республики. Аномальная жара стала причиной как естественной, так и рукотворной убыли воды. Инфраструктура Куйбышевского водохранилища работает на постоянный сброс воды, которую направляют на орошение сельскохозяйственных полей. Двойная нагрузка приводит к исчезновению мест нереста рыбы на Волге [11, 12]. В бассейне Оки пять лет подряд отмечаются маловодные годы, что привело к обмелению рек в Тульской, Калужской и Тверской областях. Так, на территории г. Калуги снижение уровня воды в Оке привело к осушению водоприемной части водозабора поверхностных вод. На западе Тверской области уровень в р. Межи упал ниже среднего многолетнего значения на 0,9 м. По данным наблюдений на полигоне «Малая Истра», расход воды в р. Малой Истре снизился до минимальных значений, а в верховьях малых рек отсутствовал вообще. Обмеление рек также представляет собой серьезную угрозу для рыб, так как кислорода в воде становится меньше, из-за чего происходят заморы рыбы [9].

По результатам многолетних наблюдений, периоды максимального понижения уровня подземных вод (маловодные годы) характеризовались изменением их химического состава, а именно увеличением концентрации микро- и макрокомпонентов. Так, в Смоленской области понижение уровня до 2,0 м в 2001 г. привело к увеличению в 2002 г. выше фоновых значений содержания в подземных водах таких компонентов, как сульфаты, бериллий, стронций, селен и литий. В 2010 г. было зафиксировано загрязнение водозаборов: хромом шестивалентным в Воронежской, Липецкой и Орловской областях, нефтепродуктами в Калужской, ртутью в Курской, селеном в Смоленской области. В Тамбовской области на крупных водозаборах было отмечено загрязнение фенолом, а также выявлены превышения ПДК по ХПК и БПК, что свидетельствует о наличии органического загрязнения. На большом числе водозаборов, особенно в Липецкой области, выявлено и подтверждено загрязнение азотсодержащими компонентами. Наибольшее число водозаборов с несоответствием нормативным требованиям по показателям радиационной безопасности в 2010 г. выявлено в Тверской области, где на городских водозаборах Твери значения общей альфа-активности достигают 9 ПДК. На водозаборе г. Костромы и в районе г. Судогда (Владимирская область) зафиксировано превышение ПДК по урану [7].

Установившаяся на территории России жара привела к выбросу радиации не только из-за лесных пожаров, которые бушевали в зараженных радиацией лесах, но и в связи с засухой из радиоактивных озер в Челябинской области. В области расположены три ядерные площадки России, где и сейчас происходят выбросы радиоактивных отходов в окружающую среду, в том числе в близлежащие водоемы. Наиболее катастрофическая ситуация сложилась в зоне ПО «Маяк», который по-прежнему сбрасывает и хранит радиоактивные отходы в открытых водоемах: озерах Кызылташ, Карачай, Старое Болото, Татыш, в Асановских болотах, а также в четырех водоемах Теченского каскада, окруженного заболоченной территорией. Загрязнены и берега реки Течи ниже каскада. Из-за обмеления зараженных озер и болот радиоактивная пыль, которая скопилась на дне водоемов, разносилась на соседние территории. Фактически повторилась ситуация 1967 г., когда с обмелевших берегов загрязненного еще с 1957 г. водоема Карачай смерчами были вынесены радионуклиды и рассеяны по значительной территории Челябинской и прилегающих к ней областей [10].

В Липецкой области обмеление водоемов объясняют не только влиянием жары. Из-за уменьшения количества зимних и весенних осадков, которое наблюдается в последнее время, понизился уровень грунтовых вод. Совместно с геологами из Липецка и специалистами из НИИ сельского хозяйства им. В.В. Докучаева из Воронежа проводятся наблюдения, которые показали, что такие процессы имеют свой цикл на протяжении каждых 12—13 лет. По данным ученых, до 2007 г. наблюдалось повышение уровня грунтовых вод, а сейчас происходит обратный процесс. В настоящее время в разных районах области этот уровень опустился на полтора — два метра. В Лебедянском районе уровень воды в колодцах упал на несколько метров, пересохли реки Павелка и Кривка. В Добровском районе высохли болота [2].

Общий вывод, сделанный из анализа гидрологической обстановки в летнюю межень 2010 г. в центральной части ЕЧР, состоит в следующем. Неблагоприятный

комплекс погодных условий лета 2010 г усугубил негативные ситуации на водных объектах, сложившиеся в результате естественных причин предшествующих маловодных лет и разного рода негативного антропогенного воздействия на гидрологический режим водных объектов. Все это привело к обострению напряженности гидроэкологической обстановки в регионах.

Северо-западная часть ЕЧР расположена в зоне достаточного увлажнения и обладает значительным водноресурсным потенциалом [13], поэтому значительная часть данной территории менее «уязвима» в периоды дефицита или ограниченного количества осадков. Хотя в ряде областей европейской части России в результате жаркого лета 2010 г. сложились чрезвычайно засушливые условия, в бассейнах рек Балтийского моря, Ладожского и Онежского озер это лето не было аномальным не только по гидрологическим, но и по агрометеорологическим показателям.

Расчеты обеспеченных значений речного стока выполняются путем ранжирования ряда данных наблюдений, и ранг года является косвенным показателем вероятности повторения соответствующей величины стока. В табл. 1 приведена оценка значений минимального 30-суточного стока отдельных рек по рангу лет в возрастающем ряду для двух регионов — бассейнов Волги и Балтийского моря. Неравномерная обеспеченность территории осадками и подземными водами обусловила пеструю картину экстремумов, но в большинстве случаев 2010 г. оказался достаточно далеко от очень маловодных лет.

Анализ условий формирования минимального 30-суточного стока рек бассейна Волги в 2010 г. показал, что данный маловодный период в ряде районов даже не вошел в десятку лет с самым низким стоком, уступая по степени водности 1938—1939 гг. Так, на р. Унже, г. Макарьев, самый низкий минимальный 30-суточный летне-осенний сток за период наблюдений наблюдался в 1897 г., а 2010 г. занял 99-е место в ранжированном ряду. Тем не менее сочетание жаркой погоды с большим дефицитом осадков (менее 40 % нормы) привело к атмосферной и почвенной, а затем и к гидрологической засухе на малых реках и водоемах.

Значения минимального 30-суточного расхода воды используются в при расчетах нормативов допустимых сбросов в реки, подземного питания рек, для оценки естественных ресурсов подземных вод и в других водохозяйственных расчетах. Поэтому представляет интерес повторяемость значений минимального расхода воды с редкой вероятностью превышения. В качестве показателей экстремальности речного стока принят минимальный 30-суточный зимний и летне-осенний расход воды вероятностью превышения более 80 %. Анализ многолетних данных о минимальном стоке рек показал, что с середины 90-х годов хотя бы на одной из рек бассейна Балтийского моря каждые 1—2 года обязательно наблюдался летний или зимний расход воды 95 %-ной вероятности превышения. В половине случаев в один и тот же год низкие значения стока наблюдались как в летне-осеннюю, так и в зимнюю межень.

С начала 2000-х годов зимнее маловодье повторяется после низкой летне-осенней межени в шести случаях из восьми, что характеризует продолжительную маловодную фазу при недостаточном пополнении ресурсов подземных вод. В последние 20 лет зимний минимум фиксируется реже на фоне увеличения амплитуды колебаний минимального стока рек и многолетнего роста минимального стока

рек в связи с потеплением зимних сезонов. Для каждой реки с периодом гидрологических наблюдений более 30 лет характерны три года с наиболее низкими значениями $P > 95\%$. Из-за пространственно-временной несинхронности прохождения экстремумов на каждой реке фиксируется своя группа лет с минимальной водностью, что объясняется гидрогеологическими и физико-географическими особенностями речных бассейнов, различием условий заполнения и сработки подземных резервуаров, питающих реки в меженный период.

Таблица 1

Оценка значений минимального 30-суточного стока рек по рангу лет

Река — пост	Период наблюдений	$F_{\text{вдсб}}, \text{ км}^2$	Летне-осенний сток		Зимний сток	
			Год 1-го ранга	Ранг 2010 года	Год 1-го ранга	Ранг 2010 года
<i>Бассейн Балтийского моря и Ладожского озера</i>						
р. Авлога — д. Матокса	1955—2010	89,1	2006	40	1960	5
р. Уксун-йоки — д. Уксу	1962—2010	1080	2002	7	1972	34
р. Уница — д. Уница	1949—2010	340	1973	15	1960	47
р. Оять — д. Мининская	1946—2010	693	2005	3	1966	40
р. Луга — г. Луга	1935—2010	2330	2002	14	1940	52
р. Ловать — г. Великие Луки	1929—2010	3270	1939	52	1940	75
р. Великая — д. Пятоново	1935—2010	20000	1939	52	1940	38
р. Шелонь — г. Порхов	1934—2010	2950	1938	24	1973	27
р. Тигода — г. Любань	1944—2010	589	2006	15	1945	33
р. Тихвинка — д. Горелуха	1936—2010	1600	1938	25	1940	56
р. Полисть — д. Утушкино	1945—2010	2150	1969	38	1943	60
р. Систа — д. Райково	1946—2010	573	1954	33	2006	21
<i>Бассейн р. Волги</i>						
р. Песь — д. Мякишево	1936—2010	710	1938	30	1945	43
р. Кострома — г. Буй	1896—2010	8870	1973	51	1945	76
р. Унжа — г. Макарьев	1896—2010	18500	1897	99	1950	111
р. Ока — г. Калуга	1881—2010	54900	1904	81	1923	108
р. Угра — п. Товарково	1931—2010	15300	1938	66	1940	59
р. Мокша — г. Темников	1935—2010	15800	1938	53	1939	60
р. Вад — с. Авдалово	1936—2010	1930	1972	22	1939	33
р. Клязьма — г. Владимир	1917—2010	14300	1921	49	1922	64
р. Керженец — с. Хахалы	1936—2010	3630	2010	1	1945	35
р. Ижма — д. Большие Поляны	1956—2010	602	2010	1	1969	22
р. Колва — д. Петрецова	1927—2010	2830	1938	7	1939	36
р. Велва — д. Ошиб	1933—2010	836	1938	16	1939	45
р. Вятка — г. Киров	1881—2010	48300	1971	7	1939	32
р. Быстрица — д. Шипицино	1925—2010	3540	1938	14	1925	54
р. Молома — д. Спасское	1925—2010	10500	1938	6	1934	83
р. Свияга — с. Вырыпаевка	1926—2010	3600	1938	32	1948	40
р. Сок — ст. Сургут	1934—2010	4730	1939	4	1956	13

Учет продолжительности серий маловодных лет влияет на возможность ориентировочных оценок восполнения запасов подземных вод в конкретные интервалы времени. Был выполнен расчет минимального 30-суточного летнего стока ($P > 80\%$) для типичных для ЕЧР рек. Результаты расчета представлены на рис. 2. Он показывает изменение в разных речных бассейнах доли (%) маловодных лет с расходом воды $P \geq 80\%$, которые наблюдались на реках в отдельный год, через год, 2 года подряд, 3 года подряд, 4 года подряд, 5 и более лет подряд. Полученная величина представляет собой отношение суммарного в выборке рек числа случаев минимального стока рек $P \geq 80\%$ в данной категории (1 год, 2 года и т.д.) к общему числу случаев низкого стока в реках в летний период.

Наиболее часто повторяющаяся категория маловодных лет «одинокый год» (~70 % случаев) очень редко наблюдается в годы с низкой речной водностью в категориях 4—5 лет подряд и более (2—3 % случаев). Неблагоприятная гидрологическая ситуация складывается, когда маловодные летние периоды повторяются через 1—2 года или два-три года подряд (бассейн рек Волги, Дона и отдельных рек Северо-Запада). В эти годы, как правило, наблюдаются низкие зимняя межень и весеннее половодье. Продолжительные маловодные периоды являются основ-

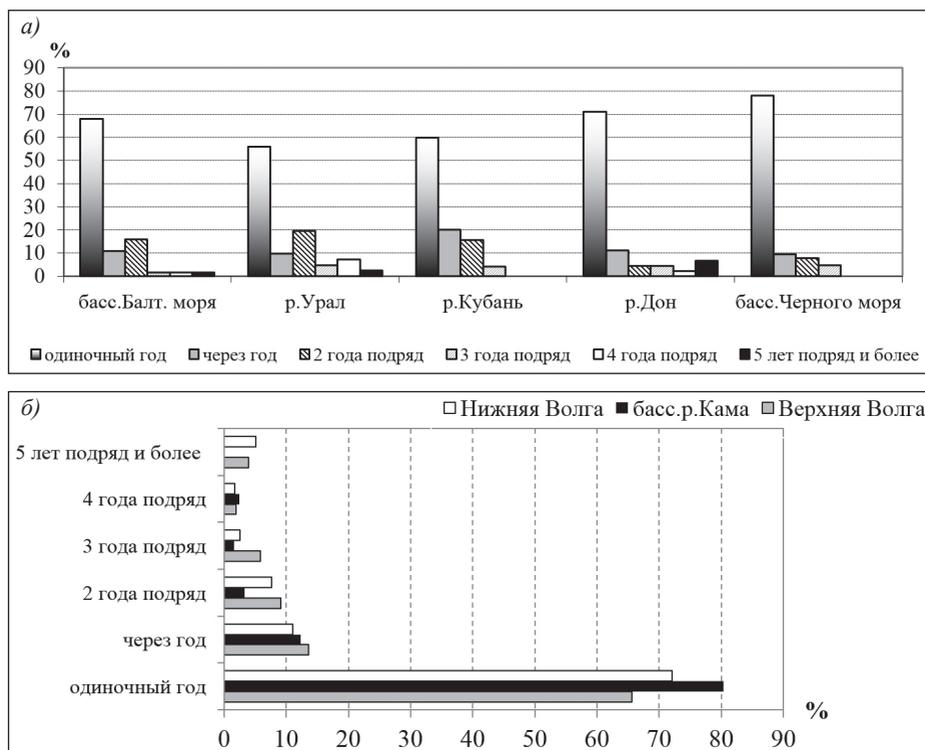


Рис. 2. Повторяемость серий маловодных лет ($P > 80\%$) по категориям. а — на реках ЕЧР, б — в бассейне Волги.

ной природной причиной деградации малых рек — одной из острых экологических проблем современности.

На основе вышеизложенного материала можно сделать следующие выводы.

1. Экстремальные маловодные фазы водности рек на территории ЕЧР наблюдались за почти столетний период три раза — в конце 30-х, в 70-е и в начале 2000-х годов.

2. Вероятность наступления непрерывной серии маловодных лет продолжительностью два года составляет от 10 до 20 %, три года подряд — 3—5 %, четыре года — менее 3 %.

Список литературы

1. Болгов М.В. и др. Байесовский прогноз минимального стока в нестационарных условиях с учетом возможных изменений климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 7. С. 72—81.
2. В Липецкой области пересыхают реки. Электронный ресурс: <http://www.e48.ru/lipetsk/1630/>.
3. ГОСТ 22.0.03-95. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения. Электронный ресурс: <http://www.docload.ru/Basesdoc/4/4797/index.htm>
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации в 2010 году. — М.: изд-во Росгидромета, 2011. Электронный ресурс: <http://www.meteor.ru>.
5. Джамалов Р.Д. и др. Изменения поверхностного и подземного стока рек России и их режимов в условиях нестационарного климата // Вестник РФФИ. 2013. Т. 6, № 78. С. 34—42.
6. Джамалов Р.Д. и др. Основные тенденции изменения зимнего стока рек Европейской территории России. Научное обеспечение реализации «Водной стратегии РФ на период до 2020 года» // Труды Карельского научного центра РАН. 2015. Т. 1. С. 53—60.
7. Информационные сводки о состоянии подземных вод 2010. Геоцентр-Москва. Электронный ресурс: <http://geocentr-msk.ru/content/view/430/>.
8. Новости речного флота. Электронный ресурс: <http://www.infoflot.ru/news/2803.html>
9. Ока обмелела из-за лесных пожаров 2010 года. Электронный ресурс: <http://relay-protection.ru/content/view/244/3/>
10. Радиационное заражение Южного Урала и соседних территорий. Электронный ресурс: <http://ehorussia.com/new/node/847>.
11. Река Волга стремительно пересыхает. Электронный ресурс: <http://ehorussia.ru/new/book/export/html/1680>.
12. Река Волга катастрофические обмелела. Электронный ресурс: <http://tainy.net/12225-reka-volga-katastroficheski-obmelela.html#ixzz1mdlQHtPz>
13. Савин И.Ю., Марков М.Л., Овечкин С.В., Исаев В.А. Тренд общей обводненности Европейской части России, выявленный по спутниковым данным GRACE // Бюл. Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 82. С. 28—40.
14. Семенов С.М. и др. Оценочные доклады межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК): исходная информация и технология оценки // Труды ВНИИГМИ — МЦД. 2015. Вып. 179. С. 108—120.
15. Сенцова Н.И. Оценка минимального речного стока в бассейне Верхней Волги в условиях изменения климата // Природообустройство. 2011. № 5. С. 76—80.