

ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ И РЕЖИМ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

УДК 556.168

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ РЕСУРСОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ
И ПОДЗЕМНЫХ ВОД ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ¹

© 2012 г. Р. Г. Джамалов*, Н. Л. Фролова**, Г. Н. Кричевец*, Т. И. Сафронова*,
М. Б. Киреева**, М. И. Игонина*

*Институт водных проблем РАН
119333 Москва, ул. Губкина 3
E-mail: dzhamal@aqua.laser.ru

**Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы
E-mail: frolova_nl@mail.ru

Поступила в редакцию 19.06.2012 г.

Выполнена оценка и проведен анализ изменений характеристик годового, межennaleго и минимального месячного стока рек Европейской части России за последние 35 лет (1970–2005 гг.) в сопоставлении с примерно аналогичным по продолжительности периодом (1935–1969 гг.). Исследованы генезис стока для разных бассейнов рек и основные причины современных изменений стоковых характеристик. Установлены региональные закономерности гидролого-гидрогеологических процессов и проведено районирование территорий с выделением особенностей формирования стока рек европейского севера, бассейнов Волги, Дона, Урала и др. Проведена переоценка естественных ресурсов поверхностных и подземных вод за 1970–2005 гг. с построением соответствующих карт. Выполнен анализ водообеспеченности и нагрузки на водные ресурсы.

Ключевые слова: естественные ресурсы подземных вод, ресурсы поверхностных вод, подземный сток, речной сток, режим стока.

В настоящее время назрела необходимость переоценки возобновляемых водных ресурсов (естественных ресурсов подземных и поверхностных вод) в связи с изменением климатических характеристик, влияющих на формирование элементов водного баланса речных бассейнов. Изучение современных особенностей формирования подземной и поверхностной составляющих речного стока позволяет судить о распределении общих водных ресурсов на Европейской части России (ЕЧР) в их динамике под влиянием нестационарного климата.

Выполненная комплексная оценка водных ресурсов включала:

- определение средних значений годового и сезонного стока со статистическим анализом рядов наблюдений;
- анализ основных факторов изменения водных ресурсов;
- определение пространственно-временных характеристик современных водных ресурсов и составление серии карт их распределения;

– оценку масштабов и направленности изменения водного режима и соотношений источников питания;

– расчет удельной водообеспеченности и современной нагрузки на водные ресурсы.

Результаты данного исследования могут найти применение в перспективе для оценки изменений других видов гидролого-гидрогеологических процессов и явлений, значимые вариации которых влекут за собой изменение стока. В частности, существует ряд методик оценки влияния изменений водности рек на режим стока взвешенных и растворенных веществ, денудацию поверхности земли и ее просадку при выщелачивании пород подземными водами. Следовательно, выполненные исследования могут служить основой для оценки возможных изменений производных стока (геостока) при определенных изменениях климата.

Использованные материалы и методика исследований. Исходными данными для оценки и анализа послужили материалы Государственного водного кадастра, российские и международные базы гидрометрических и климатических данных. Собраны материалы примерно по 300 водосборам ЕЧР, выбранным в качестве репрезентативных

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 10-05-00252, 09-05-92001-ННС, 11-05-00467).

для пространственно-временного анализа изменений условий формирования и динамики водных ресурсов с 1935 по 2005 г.

Для каждого гидрометрического поста расчеты проводились для трех периодов: весь период имеющихся наблюдений, 1940–1969, 1970–2005 гг. Выбор 1970 г. в качестве порогового обусловлен началом изменения климатических условий для большей части ЕЧР [1]. Кроме того, выделенные временные интервалы в 30 и более лет обусловлены тем, что за такие интервалы выявляемые изменения в метео- и гидрологических рядах наблюдений могут рассматриваться как репрезентативные [6].

Для выделенных интервалов наблюдений рассчитаны средние, минимальные и максимальные значения, средние квадратические отклонения, а также непараметрические критерии тренда Спирмена для выяснения наличия монотонного тренда (возрастающего или убывающего) у исследуемых рядов. Критерий учитывает оценку коэффициента корреляции между рангами членов ряда и номерами соответствующих лет [15].

Для проверки статистической однородности исследуемых рядов каждый из них разбивался на два более коротких. Первый ряд n_1 состоял из последовательных значений с 1935 по 1969 г., второй ряд n_2 – из оставшихся наблюдений с 1970 г. Длина всего ряда наблюдений n составляет сумму n_1 и n_2 . Полученные для n_1 стандартные оценки среднего M , среднего квадратического отклонения S сравнивались с аналогичными оценками, полученными для второго ряда. Для проверки статистической однородности исследуемых рядов с точки зрения их дисперсии, характеризующей амплитуду колебаний характеристик относительно их средних значений, использовался критерий Фишера. Сравнение средних значений M_1 и M_2 , полученных для первой и второй половин ряда, выполнено с помощью параметрического критерия Стьюдента. Кроме того, для оценки средней скорости увеличения или уменьшения (для отрицательного тренда) исследуемой переменной на рассматриваемом отрезке времени использовался коэффициент линейного тренда.

Режим стока и его изменения рассматривались как в пределах всего бассейна реки, так и в его отдельных частях, т.е. пространственные масштабы анализа ограничены целыми и частными водосборами в пределах ЕЧР, при этом минимальная длина реки ~120, максимальная – 3500 км. Исследования охватывают не только многолетние ряды, но и внутригодовые колебания гидрологических характеристик, формирование которых на-

ходится под влиянием глобальной циркуляции атмосферы над Атлантическим и Северным Ледовитым океанами и материком Евразии. Наименьший масштаб осреднения по времени – месяц. Дополнительно анализировалась информация по рядам годовых и сезонных осадков и температуры приземного воздуха по более чем 200 метеостанциям, расположенным на ЕЧР.

В качестве характеристики подземной составляющей речного стока принят меженный сток, рассчитываемый как среднемесячные расходы воды за маловодные месяцы. Принцип выделения меженного стока основан на принятой гипотезе:

– в период межени практически отсутствует снегодождевое питание и река питается преимущественно подземными водами;

– меженный сток принимается равным подземному, величина которого определяется расчленением гидрографа речного стока по методике Б.И. Куделина; выбор периода осреднения для различных регионов проводился на основе генетического расчленения гидрографов рек и сравнения полученной величины подземной составляющей с различными характеристиками меженного стока; статистическая обработка проводилась с помощью стандартных пакетов Statistica и Excel, а пространственный анализ гидрологических характеристик – с помощью пакета ArcViewGis 9.3.1.

Климатические особенности формирования поверхностных и подземных вод. Существенное повышение среднегодовой температуры наблюдается со второй половины 1970-х гг., и на территории всей России за 1976–2011 гг. оно составило ~1.55°C. Наиболее интенсивное и статистически значимое повышение среднегодовой температуры приземного воздуха произошло на ЕЧР (0.53°C/10 лет). При этом увеличение средних температур воздуха за холодный период несколько выше и также прослеживается для всей ЕЧР (0.45–0.6°C/10 лет). Средние температуры воздуха за теплый период также имеют тенденцию к увеличению (0.38–0.58°C/10 лет), однако это увеличение во многих случаях статистически незначимо. Среднегодовое повышение температуры в России (+1.55°C) почти в два раза превышает глобальное, что свидетельствует о высокой скорости потепления на территории страны. Даже 2011 г. с довольно низкой температурой в зимний период на севере ЕЧР – один из пяти самых теплых лет за период инструментальных наблюдений [9].

Для северной полярной области 2011 г. стал первым в ранге теплых лет за период с 1936 г. Теплое лето 2011 г. способствовало увеличению в среднем на 10–15% толщины сезонно-талого

слоя (СТС) мерзлых пород (за исключением Чукотки и Камчатки). Европейский север России характеризуется наибольшим приростом СТС за период наблюдений. Короткие ряды данных не позволяют достоверно оценить тренды СТС, которые составили $\sim 0-2$ см/год.

За 1976–2011 гг. установлено также некоторое увеличение годовых сумм осадков на ЕЧР (0.3 мм/мес/10 лет). При этом сопоставление осадков теплого и холодного полугодий на ЕЧР свидетельствует о противоположных тенденциях. Отрицательные тренды отмечаются в теплое полугодие (в целом для ЕЧР -2.0 мм/мес/10 лет) или вообще отсутствуют, а положительные – в холодное полугодие (0.9 мм/мес/10 лет). Увеличение количества осадков в холодное полугодие статистически более достоверно [9].

Хотя среднегодовое количество осадков возросло не столь существенно, обращает на себя внимание группировка ливневых выпадений в последние годы. Так, в 2009 г. на ЕЧР зарегистрировано около 50 случаев выпадения сильных ливневых осадков, количество которых по сравнению с 2008 г. возросло на $\sim 19\%$ [4]. При соответствующем температурном режиме ливневые выпадения могут оказывать непосредственное влияние на формирование стока и его генетических составляющих.

Таким образом, на фоне прогрессирующего потепления климата на большей части ЕЧР отмечается фаза повышенной водности и общей увлажненности. За последние 50 лет высокий уровень увлажнения фиксируется для регионов ЕЧР севернее 50° с.ш., где в отдельных областях увеличилась также доля жидких осадков в холодное время года. В значительной степени это обусловлено интенсификацией циркуляционных процессов в Северной Атлантике, влияющих на перемещение циклонов в центральные регионы России. Активность циклонов и связанный с ними перенос влаги и атмосферных осадков различаются как по регионам их зарождения (атлантический, северный, средиземноморский, черноморский, западноевропейский, восточноевропейский циклоны), так и по степени их влияния на формирование стока крупных рек ЕЧР [13].

По степени своего влияния на сток Волги и ее притоков атлантические циклоны в маловодные годы (1966–1975 гг.) занимают лишь третье место. Однако при смене маловодного периода на многоводный (1976–1985 гг.) воздействие атлантических циклонов на водность региона существенно возросло. Сравнение маловодного и многоводного периодов показало, что общее увеличение стока Волги почти на 80% происходит в основном за

счет атлантических циклонов. Аналогичный анализ для остальных крупных бассейнов ЕЧР показал, что колебания стока Днепра на 30%, Дона и Невы – почти на 40%, Северной Двины – на 35% и Печоры – на 25% обусловлены изменениями путей циклонов атлантического происхождения и объемов их осадков [1].

Активность атлантической зоны циклогенеза сопровождается некоторым увеличением активности и других зон образования циклонов. Осадки теплого и холодного периодов года на рассматриваемой территории имеют различное происхождение. В теплый период формирование осадков связано с насыщенными влагой воздушными массами с Атлантического океана, Средиземного моря и Арктики. Общая доля всех осадков атлантического происхождения в среднем по ЕЧР составляет немногим менее 50%, изменяясь от 70–75% в северо-западных районах до 35% и менее на юго-востоке. Доля осадков средиземноморского и атлантического тропического происхождения на ЕЧР за теплый период уменьшается с юго-запада на северо-восток от 40 (бассейн Дона) до 5% (бассейн Печоры). Воздушные массы с Арктики служат источником $\sim 30\%$ всех осадков в теплый период над ЕЧР. В отличие от летних, зимние осадки связаны исключительно с атлантическим влагопереносом, за счет которого образуется до 70% осадков холодного периода на большей части ЕЧР. Такое распределение осадков объясняется особенностями циркуляции, обуславливающими убывание количества осадков в обе стороны от средних широт, особенно заметное в теплый период и не столь существенное в холодный [13].

Факторы и характер изменения режима стока рек и формирования водных ресурсов. Климатические изменения в последние десятилетия отразились на величинах годового, сезонного и минимального стока рек на преобладающей части ЕЧР. В результате сложившейся климатической ситуации создались в целом благоприятные условия для улучшения условий формирования водных ресурсов. В связи с повышением температуры и некоторым увеличением осадков холодного периода участились зимние оттепели, уменьшилась глубина сезонного промерзания пород зоны аэрации. Поэтому значительная часть сформировавшегося талого стока участвует в увеличении влажности пород зоны аэрации и питания подземных вод, что приводит к значительному росту меженного стока рек. Основная особенность современных изменений режима рек ЕЧР – перераспределение стока внутри года при относительном постоянстве среднегодовых расходов воды. Практически для всех постов фиксируется сокращение доли стока за половодье в среднегодовом стоке воды. Пере-

Таблица 1. Изменение среднемесячных значений стока р. Медвенки, л/с, и температуры приземного воздуха, °С [10]

Период осреднения	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Среднее за ноябрь–март
Сток, л/с / Температура, °С						
1958–1980 гг.	108.8/–1.4	79.6/–6.8	51.1/–11.2	48.6/–9.0	148.2/–3.5	87.3/–6.4
1981–2008 гг.	139.2/–1.8	101.5/–5.5	90.4/–7.1	96.3/–7.5	252.6/–2.3	136.0/–4.8

распределение стока между половодьем и маловодным периодом года коренным образом меняет форму и общий вид гидрографа стока.

Неоднородная реакция речного стока в разных природных зонах ЕЧР на изменения характеристик климата обусловлена следующими взаимосвязанными причинами:

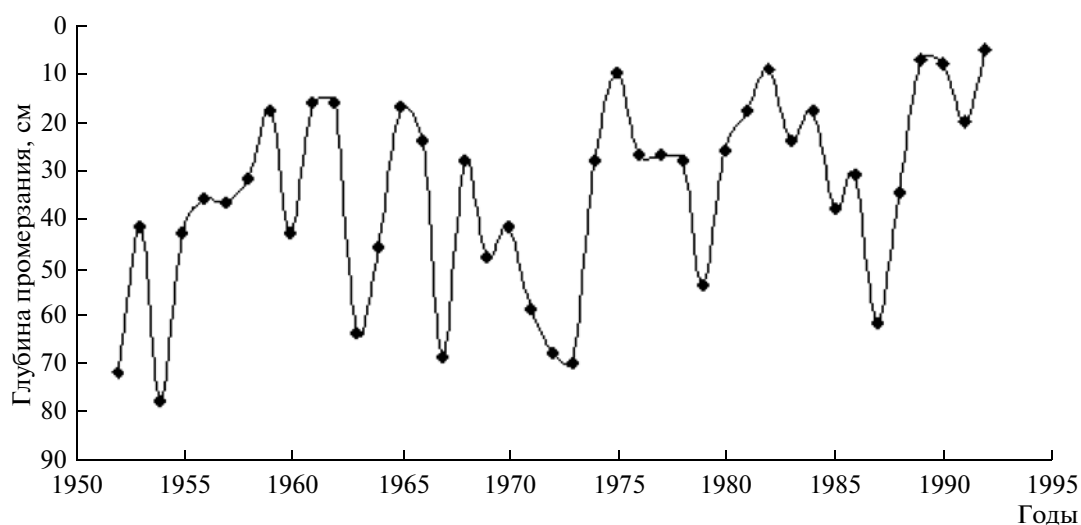
- различием условий увлажнения и динамикой их изменений в этих зонах;
- различием ландшафтных условий водосборов, мощности и состава пород зоны аэрации;
- хозяйственной деятельностью человека.

Реакция стока на изменчивость климатических факторов особенно быстро проявляется на небольших водосборах. В [10] приведен анализ практически синхронной реакции среднемесячного стока р. Медвенки (Московская обл.) и температуры приземного воздуха в течение 1958–1980 и 1981–2008 гг. (табл. 1).

Корреляция роста температуры и речного стока наблюдается во все месяцы холодного периода.

Особенно это проявилось в январе–феврале, когда сток вырос почти на 90% по сравнению с 1958–1980 гг. Столь существенное увеличение зимнего стока связано, прежде всего, с возросшей общей суммой суток с положительной температурой в январе–феврале с 77 до 263 в 1981–2008 гг. по сравнению с 1958–1980 гг. Наряду с этим, по оценкам ГГИ, влияние на сток своеобразной динамики промерзания зоны аэрации и повышенного осеннего увлажнения водосбора превышает 60%. Повышение зимних температур сопровождается уменьшением мощности ледового покрова на р. Медвенке на 10–20 см [10]. Вклад этого фактора в формирование зимнего стока требует дальнейшего изучения, так как исследования Е.В. Гуревич и Л.М. Маркова свидетельствуют о его значимом эффекте [5].

Существенная роль указанных факторов связана, прежде всего, с относительно теплыми зимами при слабом промерзании зоны аэрации и ее быстром оттаивании ранней весной, что сопровождается уменьшением миграционного потока

**Рис. 1.** Динамика глубины промерзания зоны аэрации на водосборе лога Усадьевского Валдайского филиала ГГИ [10].

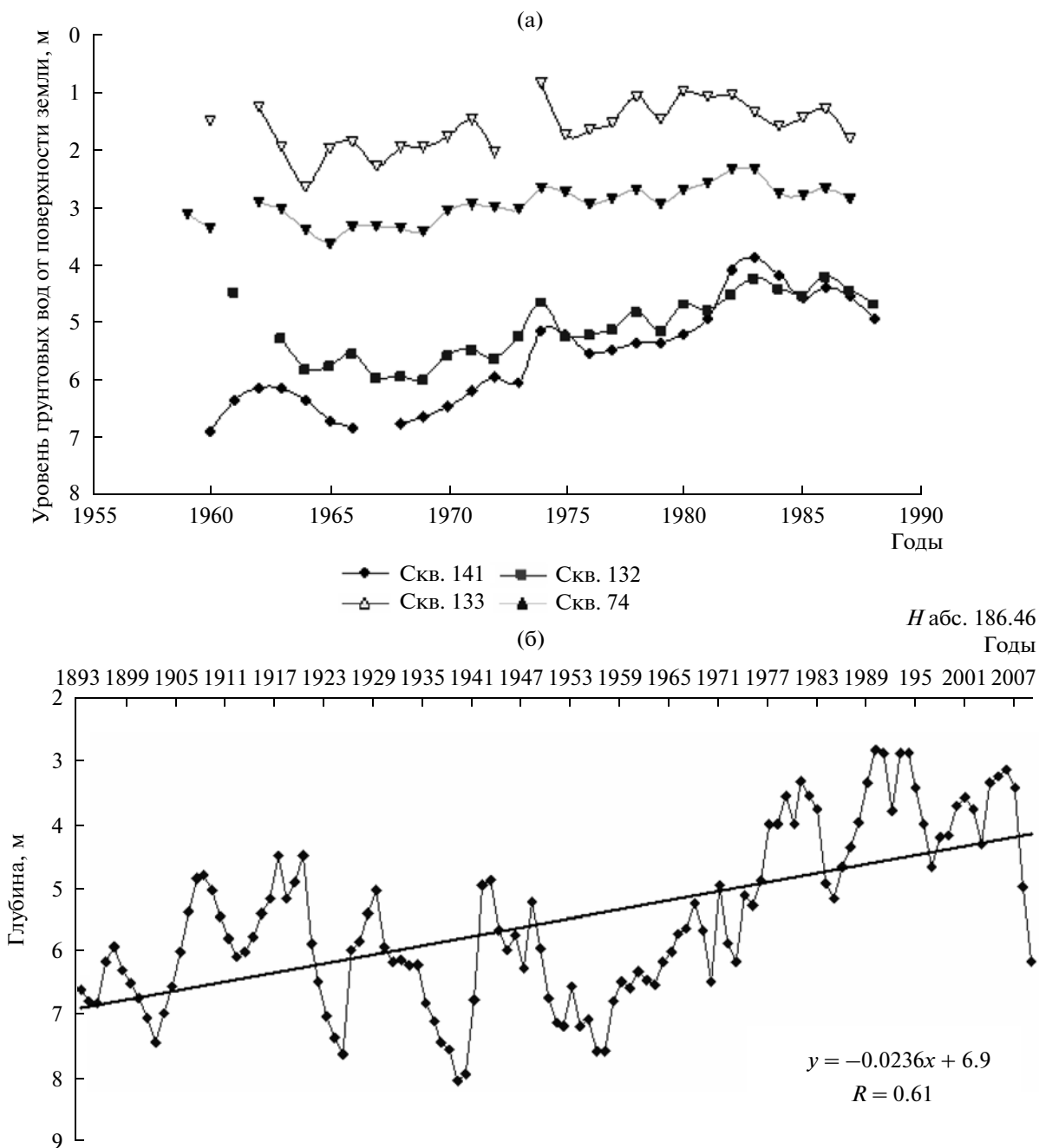


Рис. 2. Динамика уровней грунтовых вод на водосборе р. Медвенки [10] и в Каменной степи [8].

влаги к фронту промерзания в верхней ненасыщенной зоне грунтов. Так, глубина промерзания зоны аэрации в бассейне р. Медвенки с 1980 по 2009 г. уменьшилась в 2.5 раза и составляет всего ~10–20 см (рис. 1). Сокращение глубины промерзания зоны аэрации сопровождается активным формированием ячеистой структуры мерзлой зоны с преобладанием слабо мерзлых площадей (до 50–60%), что приводит к увеличению потерь талого стока на инфильтрацию и питание

подземных вод. В связи с этим снижаются весенний склоновый сток и пики половодья в речной сети. Коэффициент талого стока уменьшается до 0.3–0.4, и гидрограф половодного стока расплывается. С другой стороны, при суровых зимах более глубокое промерзание зоны аэрации способствует большей аккумуляции в ней влаги и ее активному участию в формировании весеннего половодного стока.

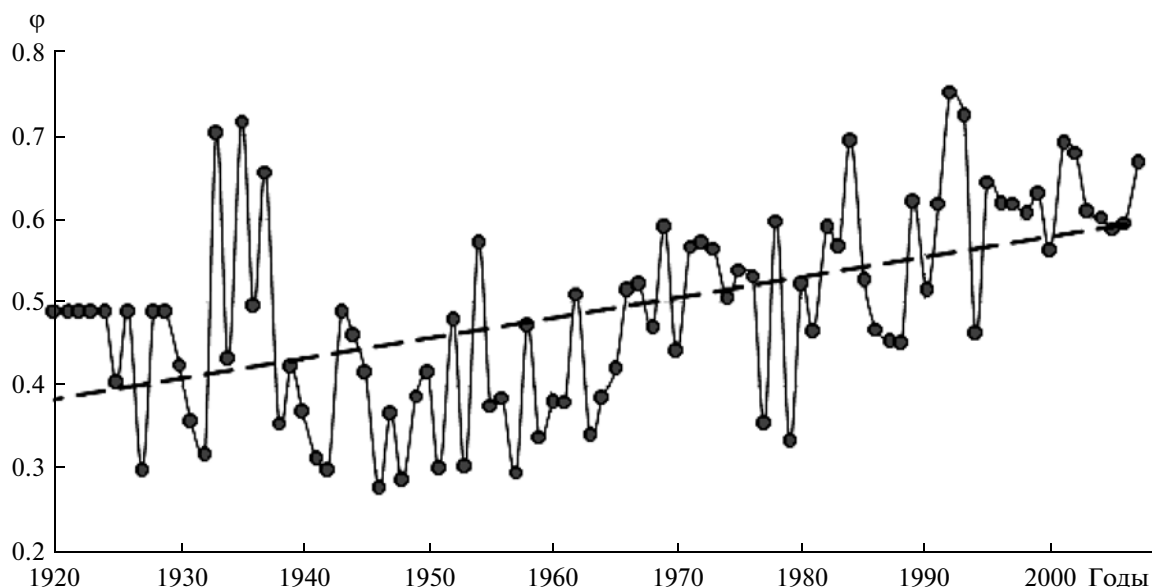


Рис. 3. Изменение коэффициента естественной зарегулированности стока (р. Хопер—г. Балашов).

Следовательно, в современных климатических условиях к ведущим факторам регионального увеличения зимнего меженного стока малых и средних рек ЕЧР следует отнести частые зимние оттепели и неглубокое промерзание зоны аэрации, а также повышенное осеннее увлажнение водосбора. В зимний период возрастают потери талого стока на инфильтрацию по сравнению с предыдущими десятилетиями, что проявляется в повышении уровня грунтовых вод (УГВ). Данные наблюдений на водосборе р. Медвенки по скважинам с высоким и низким залеганием УГВ в 1963–1975 гг. с различными условиями промерзания зоны аэрации (средняя температура за январь–февраль в 1963 г. составила -14°C , а в 1975 г. -5.5°C) наглядно свидетельствуют о тенденциях изменения УГВ при повышении сезонных и среднегодовых температур (рис. 2а) [10]. Последнее еще более наглядно демонстрирует динамичный рост УГВ в Каменной степи за многолетний период, включая 2000-е гг. (рис. 2б) [8].

Воздействие климатических параметров в последние десятилетия на первичное звено гидрографической сети — болотные массивы представляет собой важную гидролого-гидрогеологическую проблему современных условий формирования стока многих речных систем ЕЧР с истоками в болотах. Характерными показателями изменения метеорологического режима болотных массивов в холодный период также следует считать количество оттепелей и сумму суточных положительных температур приземного воздуха. Результаты на-

блюдений ГГИ на болотах северо-запада ЕЧР в течение 1950–2008 гг. показали, что суммы суточных положительных температур воздуха за этот период возросли в 3 раза, а количество оттепелей в декабре–феврале увеличилось до 175 [11]. Участвовавшие зимние оттепели приводят к уменьшению мощности снежного покрова, что сокращает запасы талой воды в весенний период. При этом промерзание болотного массива начинается позже — на 10–15 дней, а мощность сезонно-мерзлого слоя сокращается. В 1980–2008 гг. УГВ на болотах повысились в декабре–марте на 15–20% относительно среднего многолетнего уровня за 1950–1979 гг., а зимний сток с болот существенно вырос, особенно в феврале–марте [11].

Следовательно, интенсивность зимнего стока болотных вод зависит, прежде всего, от градиента зимних температур приземного воздуха и, соответственно, от глубины промерзания болотного массива, а также от частоты и продолжительности оттепелей.

Перестройка водного режима рек связана со значительным сокращением стока за половодье, увеличением числа, продолжительности и “глубины” оттепелей в холодный период и общим сокращением его длительности. Все это приводит к росту естественной зарегулированности стока, которая характеризуется коэффициентом ϕ (отношение базисного стока к годовому) и позволяет оценить перераспределение стока внутри года. Статистически значимый возрастающий тренд этой характеристики установлен для большин-

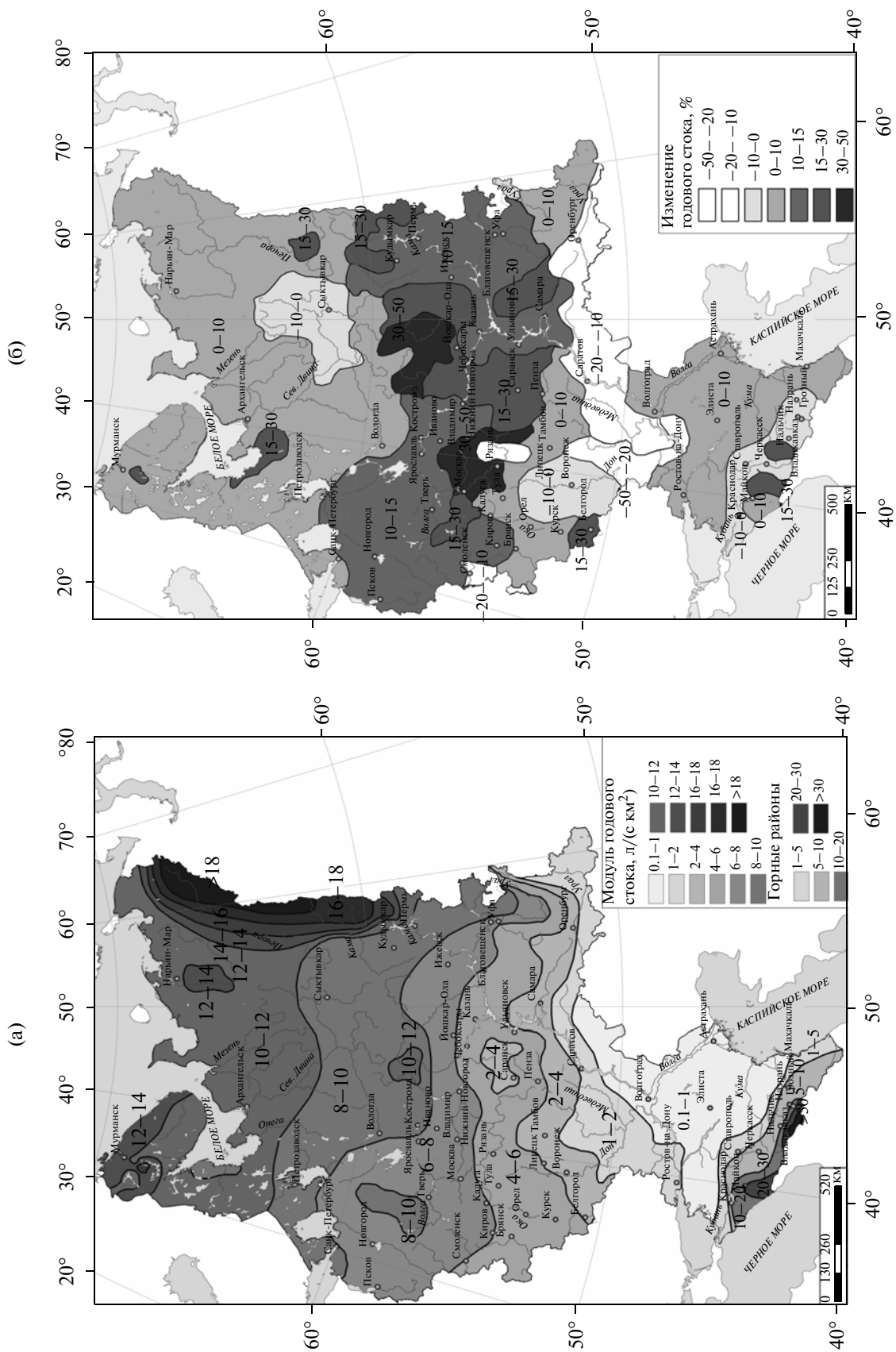


Рис. 4. Естественные ресурсы среднегодового речного стока ЕЧР за 1970–2005 гг. (а) и его изменения по сравнению с периодом 1940–1969 гг. (б)

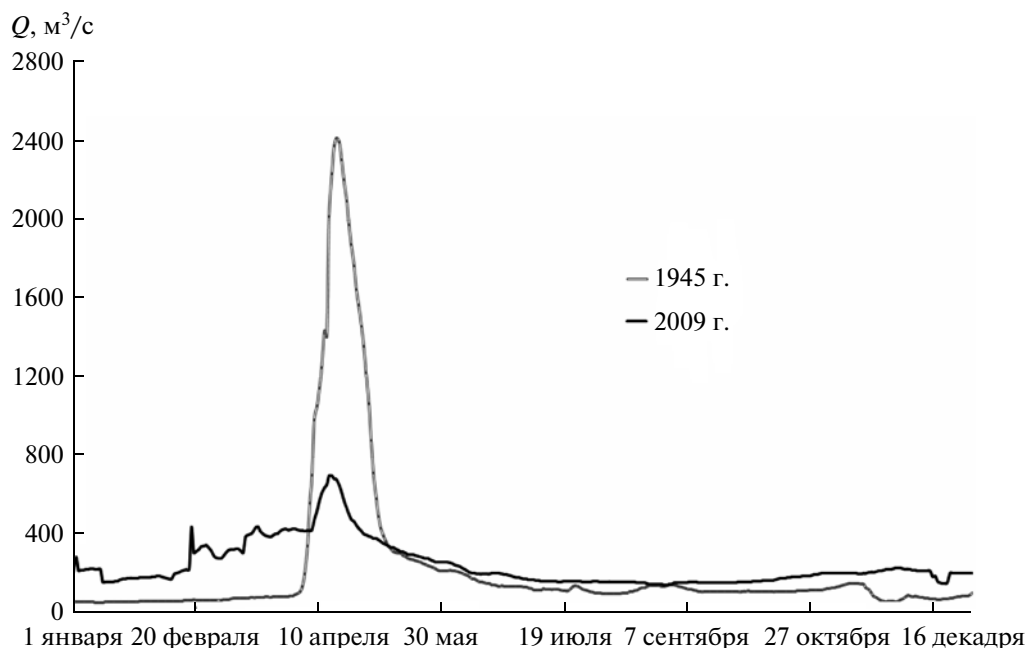


Рис. 5. Типовая форма гидрографов стока (бассейн Дона, створ Раздорская) для 1936–1969 гг. (1945 г.) и 1970–2009 гг. (2009 г.).

ства рассматриваемых рек ЕЧР. Особенно значительное увеличение зарегулированности стока отмечено для рек бассейна Оки, Суры, Большой Кинели и др. Так, для рек Мокша, Ока, Хопер и др. величина f увеличилась с 0.4 (1935–1969 гг.) до 0.6–0.7 (1970–2005 гг.) (рис. 3) [18].

Изменение естественных ресурсов среднегодового стока. Статистический анализ рядов годового стока рек севера ЕЧР за 1935–2005 гг. показал отсутствие значимых изменений практически для всех створов. Лишь в отдельных случаях отмечается незначительное увеличение расходов воды в последние десятилетия (до 10%) (рис. 4). Это характерно для бассейна Печоры, верховьев Северной Двины, бассейна Вычегды.

Повышенное увлажнение территории, вызванное изменением циркуляционных и связанных с ними других климатообразующих процессов в последней четверти XX в., привело к улучшению условий формирования стока на Восточно-Европейской равнине. Реакция годового стока на изменения климата в последней четверти XX в. выразилась в повышенной водности рек на территории Верхней и Средней Волги. Наибольшие изменения годового стока (на 15–30%) наблюдаются на реках ЕЧР, расположенных примерно между 56 и 60° с.ш. (левобережные притоки Волги в ее верхнем и среднем течении, часть бассейна Камы). Примерно так же увеличился сток притоков Волги в лесостепной зоне. К северу и югу от

этой полосы прослеживается менее значительное увеличение водности рек. Годовой сток оказался выше среднего на 5–15% для левобережных притоков Волги, верховьев Днепра, левобережных притоков Дона, рек горной части бассейна Кубани. На остальной части ЕЧР современные изменения стока незначительны, более того — в отдельных случаях наблюдается слабая тенденция уменьшения годового стока.

Ареал наибольшего увеличения годового стока соответствует границе лесостепной — лесной зон (средняя часть бассейна Оки, бассейн Вятки и Унжи). При продвижении на запад и восток эти изменения становятся незначительными.

Различная реакция колебаний водности рек на изменение климатических условий после середины 1970-х гг. в лесной и лесостепной зонах объясняется отличием для них ведущих факторов формирования годового стока. В лесной зоне годовой сток почти линейно реагирует на увеличение годовых осадков. В лесостепной зоне эта связь ослабевает, ведущими становятся факторы, определяющие объем весеннего половодья. Здесь действует более сложный механизм отклика на изменение региональных климатических условий: зимние температуры повысились, более частыми стали оттепели, уменьшилось промерзание почв. В результате повышение зимних осадков частично компенсируется ростом потерь талых вод на увлажнение почвы с последующим увеличением

испарения в весенне-летний период. Некоторое понижение летних температур не оказывает решающего влияния на суммарную величину испарения.

Во внутригодовом распределении стока заметно последовательное снижение максимальных расходов и расплывание волны половодья, постепенное увеличение меженного стока, особенно в 2000-е гг. Одновершинные гидрографы с четким весенним максимумом, характерные для режима восточноевропейских рек в 1970-е гг., сменяются современными гидрографами с гребенчатой формой в фазу повышенной водности. При этом превышение весенних максимальных расходов воды над средними меженными сокращается с 10–15 до 3–5 раз. Анализ фактических данных за последние 100 лет показывает, что ранее таких изменений водного режима не происходило, так как многоводные и маловодные фазы до 1970-х гг. определялись величиной стока во время весеннего половодья.

Происходящие климатические изменения влияют не только на годовой сток, но и на особенности водного режима рек, объем и высоту весеннего половодья, величину их меженного стока [1, 3, 7, 17].

Изменения годового стока рек юга ЕЧР можно связать с сокращением стока весеннего половодья до 30% при некотором увеличении дисперсии слоя стока. Выделение половодья как отдельной фазы водного режима рек становится сложной задачей, так как увеличение числа оттепелей и обуславливает неопределенность в выделении начала половодья (рис. 5). Это связано с тем, что до начала волны половодья происходит частичная сработка запасов воды в снежном покрове, что приводит к увеличению зимнего меженного стока и сокращению объема максимального расхода половодья. При такой сложной форме гидрографа половодья за момент его начала может приниматься дата устойчивого перехода температуры воздуха через ноль без дальнейших “возвратов холодов”.

В результате этих процессов слой стока половодья сократился на 10–30%. Для 50% изученных рек произошло значимое увеличение дисперсии слоя стока за половодье. Максимальное сокращение половодного стока произошло в верховьях Дона (выше г/п Лиски), где слой стока за половодье оказался наибольшим для всего бассейна. Практически на всех постах изменения носят аналогичный характер: весенний сток сократился с 80 (начало 1930-х гг.) до 40 мм (2000-е гг.), что составляет более 30% суммарного стока за половодье.

Изменения весеннего стока половодья рек юга ЕЧР наиболее ярко проявляются в динамике максимальных расходов воды, снижение которых в бассейне Дона в среднем составляет 40–60%. Статистический анализ рядов показал, что для всех постов характерен статистически значимый отрицательный тренд (по критерию Спирмена). Сильнее всего снижение максимальных модулей стока проявляется в бассейнах средних и верховьях крупных рек. С начала 1930-х по 2000-е гг. максимальный модуль стока уменьшился, л/(с км²): для верховьев Дона (г. Задонск) – от 100 до 40, для р. Сосны – от 140 до 40, для рек Воронеж (г. Липецк) и Битюг (г. Бобров) – от 80 до 20, для р. Вороны (г. Борисоглебск) – от 60 до 20. Сокращение максимального модуля стока в бассейне Дона в среднем составляет 40–60%. На территории этого бассейна выделяется три однородных района с севера-востока на юго-запад: в верховьях Дона (включая бассейны Сосны и Воронежа) сокращение максимального модуля стока составило 40–60 л/(с км²); в среднем течении Дона, бассейне Хопра и верховьях Медведицы оно составляет 10–30 л/(с км²), а для нижнего течения Дона и рек правобережья Цимлянского водохранилища уменьшение максимального модуля стока не превышает 10 л/(с км²). Изменение максимальных расходов для Оки и ее притоков составляет 20–40, для рек Нижней Волги 40–70%. Эти изменения режима фаз годового стока обусловлены повышением температуры воздуха зимой, увеличением числа и продолжительности оттепелей и, следовательно, уменьшением предвесенних запасов воды, максимальных расходов весеннего половодья. Следовательно, уменьшение максимальных расходов вызвано в основном климатическими изменениями, но при заметной роли хозяйственной деятельности, поскольку снижение максимальных расходов не сопровождается столь же сильным уменьшением объемов стока за половодье.

Практически на всех постах в верховьях крупных и бассейнах средних рек наблюдается статистически значимый тренд сдвига даты начала половодья и максимального расхода воды на более ранние сроки. Общая тенденция современного режима стока – смещение дат окончания половодья на более поздние, в бассейне Дона – в среднем на 5–10 дней. В связи с этим продолжительность половодья увеличивается со статистически значимым трендом практически на 10–20 дней в зависимости от масштаба реки и широтного расположения водосбора [13].

Таким образом, происходят радикальные изменения условий формирования годового стока и его режима в последние годы, сопровождающиеся значительным снижением неравномерности внут-

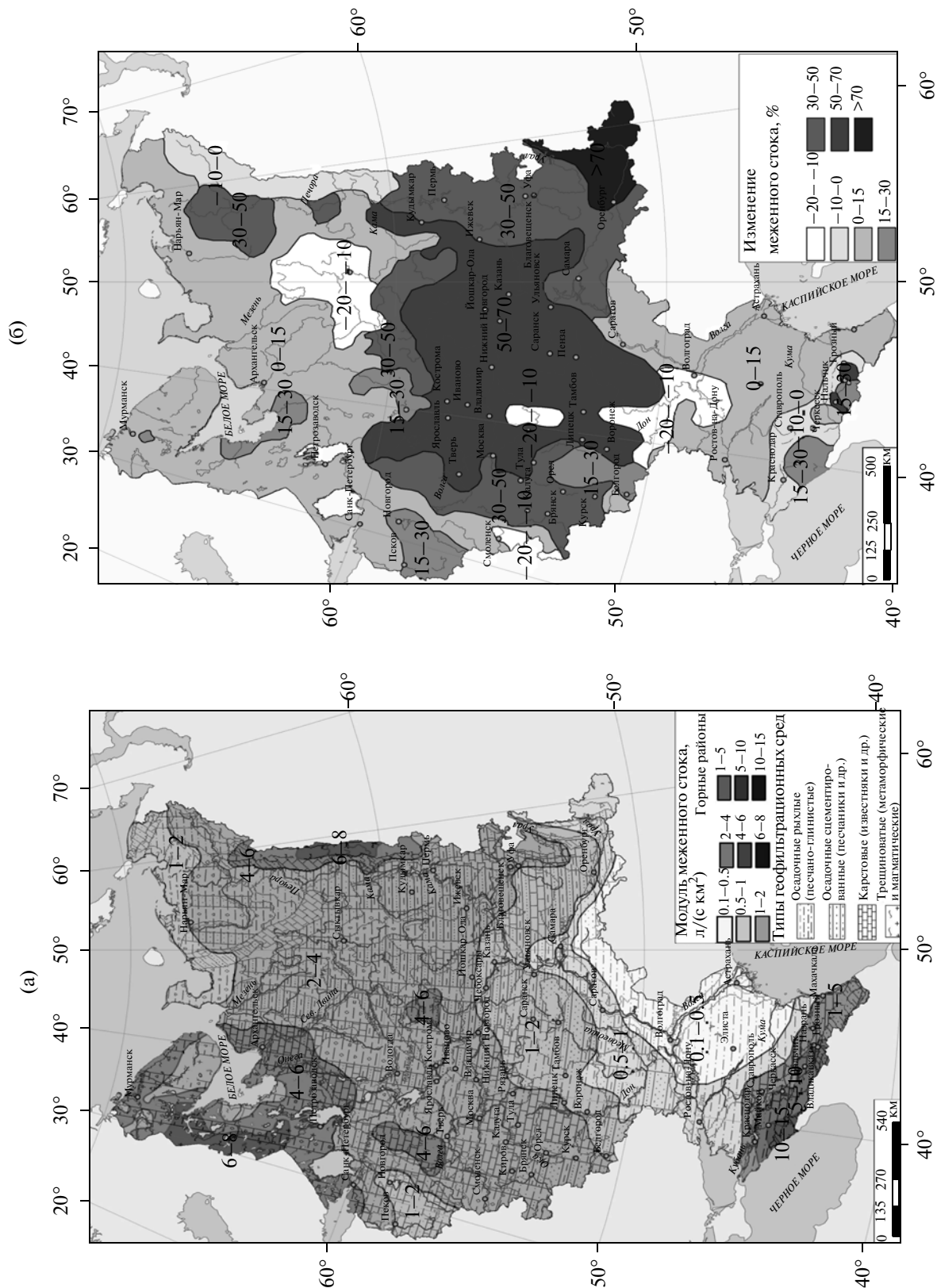


Рис. 6. Естественные ресурсы подземных вод ЕЧР за 1970–2005 гг. (а) (модуль межлетнего стока рек) и их изменения по сравнению с периодом 1940–1969 гг. (б).

ригодного распределения, увеличением подземной и уменьшением поверхностной составляющих речного стока. До второй половины 1970-х гг. рассмотренные реки ЕЧР по источникам питания и внутригодовому распределению стока относились к категории рек с преимущественно снеговым питанием. В конце XX в. они стали относиться к рекам со смешанным питанием или даже смешанным с преобладанием грунтового. Это привело к значительному увеличению естественной регулирующей способности стока, сопоставимому с влиянием водохранилищ сезонного регулирования [1]. Статистически значимый возрастающий тренд коэффициента ϕ установлен для большинства рассматриваемых рек ЕЧР.

Изменения естественных ресурсов подземных вод (меженного стока) отмечаются для большинства рек ЕЧР. Положительные значимые тренды (при уровне значимости 95%) увеличения стока зимней и летне-осенней межени характерны для южных частей лесной и лесостепной зон (бассейны верхней и средней Волги, Оки), большей части бассейна Урала. Наибольшие изменения меженного стока (70% и более) характерны для верховьев Оки, Урала. Для рек бассейна Волги (за исключением Камы) увеличение зимнего меженного стока составляет 45–70%. Примерно такая же величина характерна для изменения меженного стока верховьев Дона. Вместе с тем на севере ЕЧР, а также южнее Цимлянского водохранилища отмечается либо незначительное уменьшение среднего меженного стока, либо столь же статистически незначимое его увеличение (рис. 6).

Расчеты подземного стока для рек европейского севера показывают некоторую тенденцию его увеличения для всех рассматриваемых рек. В среднем доля подземного стока составляет ~30–40% и незначительно меняется для рек этого региона. Значимый рост зимних расходов за декабрь–март характерен примерно для половины из 23 рассмотренных рек севера ЕЧР. Диапазон этих изменений колеблется от 5% в устье Северной Двины и Печоры до 25% для р. Юг. Следует отметить, что в феврале–марте отмечается увеличение минимального месячного стока практически для всех рек региона. Кроме того, для величин подземного стока установлены тесные корреляционные связи (0.5–0.7) с суммарным количеством осадков за ноябрь–апрель предшествующего года, но для осадков этих же месяцев текущего года они снижаются до 0.3–0.4.

Более благоприятные условия для формирования стока складываются в периоды зимней и летне-осенней межени для рек бассейна Волги [7]. Для изучения этого процесса оценена степень изменения величины подземной составляющей и ее

доля в годовом стоке. В основном меженные расходы воды характеризуют изменение зимнего стока и в значительной степени обусловлены устойчивой разгрузкой подземных вод. Для анализа изменения подземного стока рек Верхней Волги и бассейна Оки использованы средние расходы за декабрь–февраль, для рек бассейна Нижней Волги – средние расходы за июль–сентябрь и декабрь–февраль, для рек бассейна Камы – осредненные месячные значения за ноябрь–март. Такой выбор расчетного периода следует из анализа особенностей водного режима и тесноты связи между меженными расходами воды и подземной составляющей стока. Подземный сток в различных климатических зонах формируется за счет так называемых эффективных осадков (просачивающихся до уровня подземных вод). Для средней полосы ЕЧР это обычно осадки зимне-весеннего и осеннего сезонов года. Однако в современных климатических условиях зимний сезон из-за частых оттепелей характеризуется повышенным стоком снегодождевого происхождения, который формируется с ноября по февраль–март.

Водность рек бассейнов Камы, Верхней Волги (выше впадения р. Которосль), Унжи и Ветлуги в период межени в 1970–2005 гг. была на 25–50% выше, чем за предшествующий многолетний период 1935–1969 гг. Еще больше (на 50–75%) меженный (зимний) сток рек возрос в бассейне Оки (рис. 7), а для рек Цна и Мокша это увеличение составило более 75%. Доля меженного стока в годовом объеме стока увеличилась для рек бассейнов Верхней Волги на ~30, Оки – на 50 и более, Камы на 20–30%.

В начале XXI в. модули меженного (подземного) стока рек и, соответственно, естественные ресурсы подземных вод ЕЧР выросли в среднем на 40–60% по сравнению с таковыми до 1970-х гг., или примерно в 1.5 раза. Максимальное изменение меженного стока характерно для лесостепной зоны, что связано не столько с увеличением снегозапасов, сколько с особенностями снижения весеннего стока и перевода его в подземный.

Закономерности распределения величин меженного стока на ЕЧР определяются тремя основными природными факторами: климатическими (соотношение внутригодового распределения температур, атмосферных осадков и испарения), ландшафтно-орографическими (рельеф и абсолютные отметки подстилающей поверхности, эрозионная расчлененность, характер растительности) и гидрогеологическими (состав и фильтрационные свойства водовмещающих пород и пород зоны аэрации, глубина залегания грунтовых вод, степень дренированности).

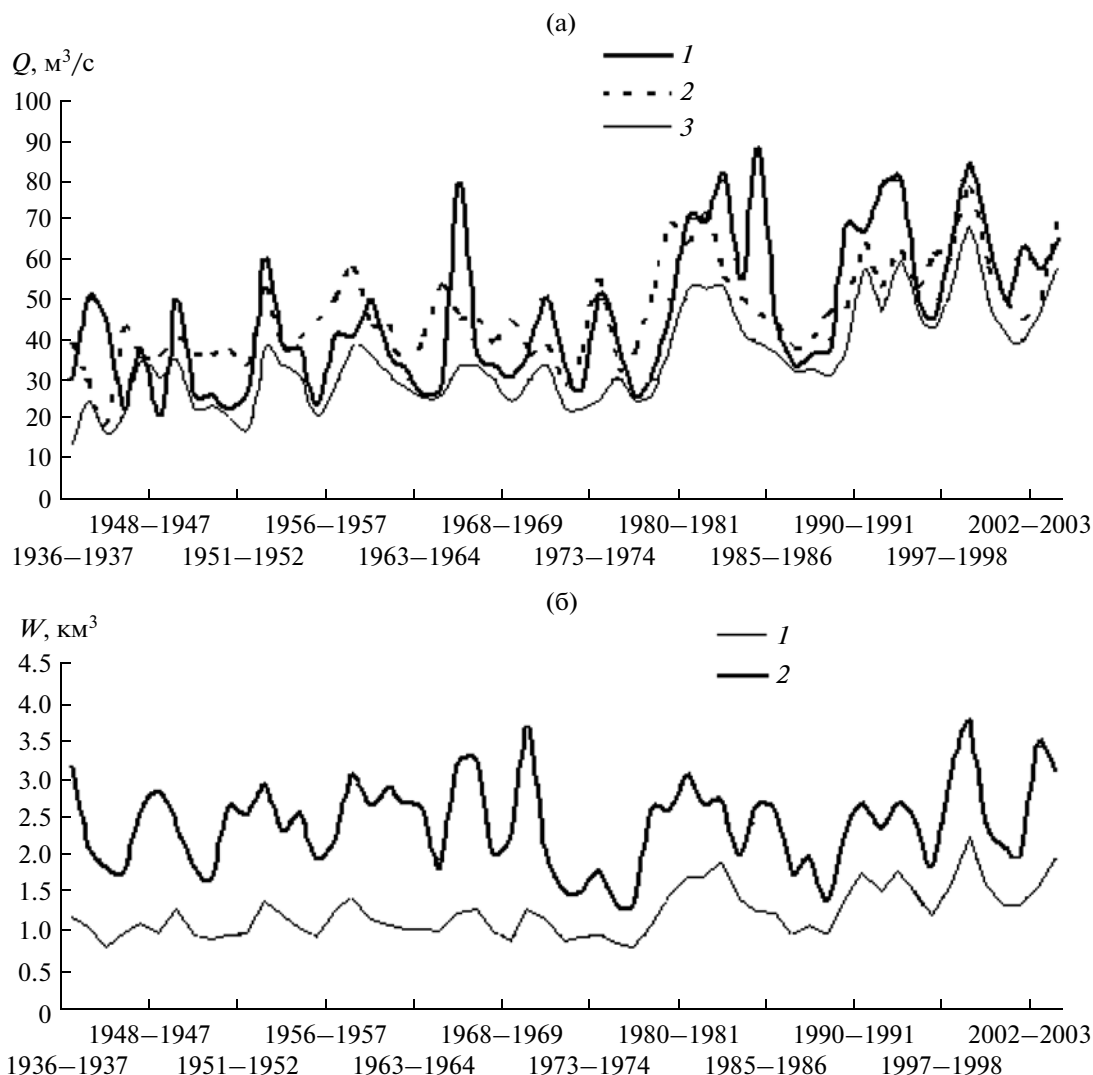


Рис. 7. Изменение среднего стока Оки (г. Белов) за зимний период (XII–II) (1), летний период (VI–VIII) (2), минимального месячного стока (3) (а), объемов подземного (1) и суммарного годового стока (2) (б).

Рост меженного стока связан прежде всего с увеличением температуры воздуха в холодный период года, что, как уже отмечалось, привело к росту числа и продолжительности оттепелей и сокращению длительности зимнего сезона. При этом наблюдается уменьшение сумм отрицательных температур воздуха, что особенно важно для изменения условий питания подземных вод. В совокупности это приводит к уменьшению глубины промерзания грунтов в зимний сезон, особенно перед началом снеготаяния. Эти процессы приводят не только к увеличению инфильтрации талого стока, но и к сокращению склонового стока и повышению суммарной величины подземного стока.

Кроме того, при современном повышении температуры холодного периода происходит сокращение мощности ледового покрова рек, что снижает объемы сезонного изъятия меженного и минимального зимнего стока и повышает гидравлическую проводимость русла реки. Оба процесса — особенности промерзания зоны аэрации и русел водотоков — связаны с динамикой температур и оказывают схожее влияние на процессы формирования зимнего стока, связанные с частичным изъятием его доли из грунтового или руслового потока. Отличие состоит в том, что процесс промерзания грунтов охватывает всю площадь водосбора, а промерзания водотока — лишь русловую сеть [5].

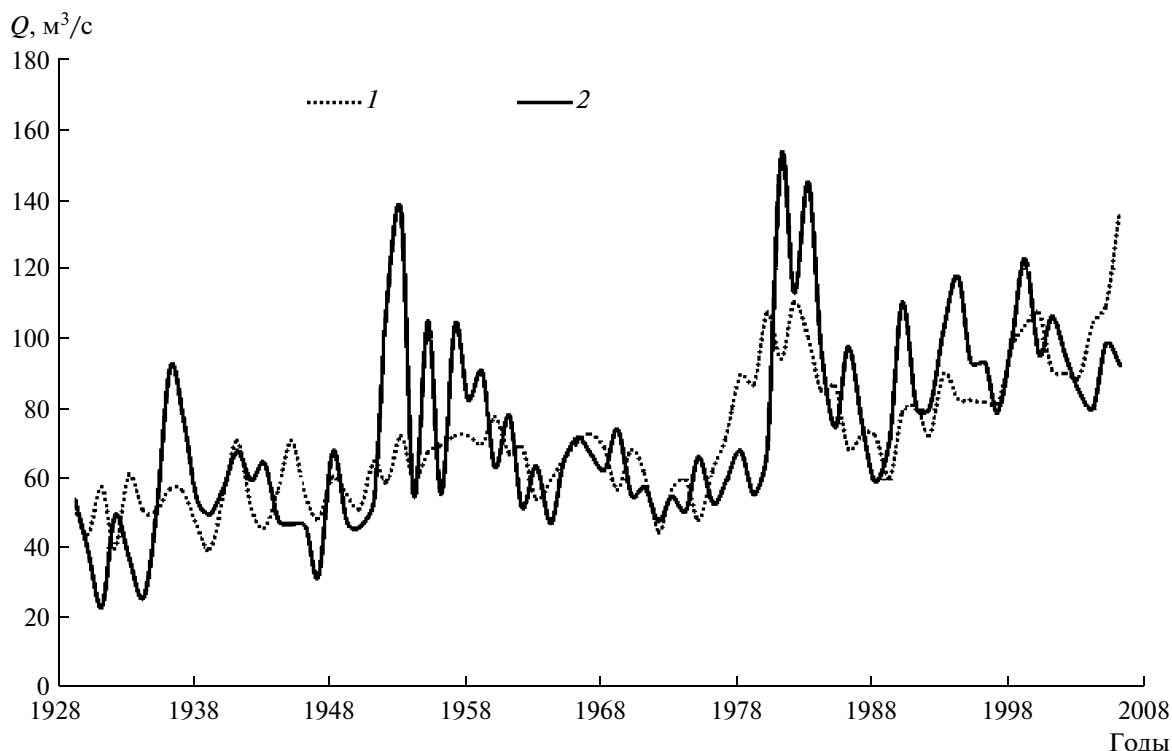


Рис. 8. Изменения среднего меженного летнего (1) (VII–IX) и зимнего (2) (XII–II) стока р. Дон (г. Задонск).

Следует отметить, что увеличение стока за маловодный период на реках южного склона ЕЧР (Дон, Кубань, Терек и др.) происходит за счет роста как зимних расходов воды, так и летних минимальных расходов, обусловленных увеличением суммы атмосферных осадков. Изменения среднего меженного зимнего и летнего стока происходят почти синхронно, но с некоторым сдвигом во времени. Наибольший коэффициент корреляции между средними меженными расходами составляет 0.7 и достигается при сопоставлении текущего летнего расхода с последующим за ним зимним расходом воды (рис. 8).

На северных склонах Кавказа (бассейны Терека, Кубани) увеличение доли меженного стока в суммарном годовом происходит при уменьшении средней высоты водосбора. При увеличении доли площадей низких высотных зон происходит распластывание графика меженного стока по длине горной реки. Если же в отдельные годы не происходит переход зимней температуры через 0°C, то за счет дождевых осадков наблюдается более ранняя смена (чередование) меженного периода паводочным стоком реки. Чем продолжительнее межень, тем в большей степени проявляется “чистота” подземного питания в период минимальных расходов. При короткой прерывистой межени в формировании базисного стока принимают

участие поверхностные воды, а при частых паводках выделение минимального расхода становится затруднительным и нередко условным.

Естественные минимальные месячные ресурсы изменяются по ЕЧР не столь резко и в среднем составляют 1–2 л/(с км²). Максимальные модули месячного стока (до 2–3 л/(с км²)) характерны для севера ЕЧР. В низовьях Дона и Волги значения минимального модуля стока уменьшаются и варьируют от 0 до 1 л/(с км²) (рис. 9). Такое закономерное широтное распределение значений стока связано с распределением основных факторов его формирования.

На северных реках ЕЧР минимальный сток изменяется от 15–25% в их низовьях до 30–50% в среднем течении (Северная Двина и Печора). Наиболее существенное увеличение минимального стока (50–70% и выше) происходит в верхнем течении Оки, среднем течении Волги, бассейне Урала. К югу от этой полосы (устье и среднее течение Дона, Предкавказье) рост минимального стока менее значителен (до 15%) вплоть до его снижения. Однако в верхнем течении Дона и во впадающих там его основных притоках минимальный сток снова возрастает до 50–70% и более. Аналогичный рост минимального стока наблюдается в бассейнах рек на склонах Северного Кавказа.

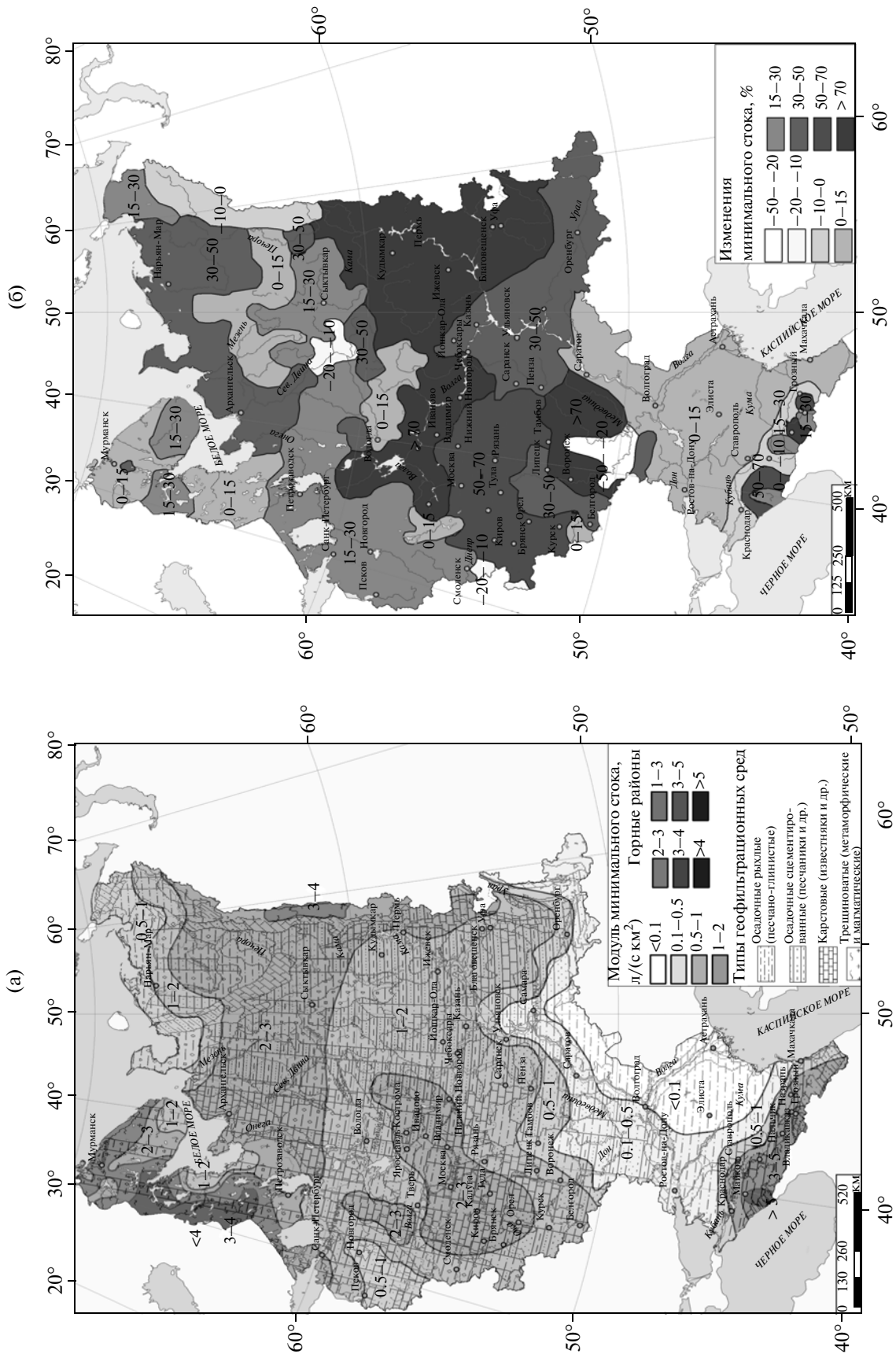


Рис. 9. Естественные минимальные месячные ресурсы ЕЧР за 1970–2005 гг. (а) и их изменения по сравнению с периодом 1940–1969 гг. (б).

Таблица 2. Обеспеченность ЕЧР водными ресурсами, их распределение и использование

Федеральный округ ЕЧР	Площадь, тыс. км ²	Население (на 2010 г.), млн чел.	Естественные ресурсы, км ³ /год			Обеспеченность естественными ресурсами 1 км ² /1чел., тыс. км ³ /год			Водоотбор, км ³ /год (после 2000 г., кадастр)	Нагрузка на естественные ресурсы, %		
			среднег- дового реч- ного стока	подзем- ных вод	мини- мальных месячных	среднег- дового реч- ного стока	подзем- ных вод	мини- мальных месячных		среднег- дового реч- ного стока	подзем- ных вод	мини- мальных месячные
Северо-западный	1686.9	13.6	592.7	203.5	120.6	352.2/43.7	120.5/15.0	71.4/8.9	12.18	2	6	10
Центральный	650.3	38.4	116.8	55.4	40.3	179.3/3.0	85.0/1.4	61.8/1.0	13.26	11	24	33
Приволжский	1036.9	29.9	191.8	75.7	51.2	184.7/6.4	73.0/2.5	49.4/1.7	11.38	6	15	22
Южный и Северо-Кавказский	591.4	23.4	59.9	34.3	17.2	102.2/2.6	58.0/1.5	29.0/0.7	24.62	41	72	143
Итого	3965.5	105.3	961.2	368.9	229.3	242.4/9.1	93.0/3.5	57.8/2.2	61.44	6	17	27

Таблица 3. Ресурсы поверхностных и подземных вод и их использование по бассейнам основных рек ЕЧР

Бассейн реки	Площадь водосбора, тыс. км ²	Естественные ресурсы, км ³ /год/изменение по сравнению с 1940–69 гг., %			Водоотбор, км ³ /год, после 2000-х гг.	Отношение объема водоотбора к естественным ресурсам, %		
		среднегодового речного стока	подземных вод	минимальных месячных		среднегодового речного стока	подземных вод	минимальных месячных
Северная Двина	360.0	100.1/1	37.9/1	23.0/13	0.29	0.2	1	1.3
Мезень	79.65	19.9/–1	6.6/5	4.1/6	0.04	0.2	1	1
Печора	322	147.2/17	40.2/–12	21.2/–7	0.28	0.2	1	1.3
Волга	1380	260.1/7	192.2/15	184.4/23	2.44	1	1.3	1.3
Ока	245.0	41.1/16	25.0/63	22.3/64	0.65	1.6	2.6	3
Дон	422.44	21.2/–14	18.1/27	14.4/59	1.75	8	10	12
Хопер	61.1	4.0/23	2.2/150	1.5/550	0.01	0.3	0.5	0.7
Кубань	57.9	14.3/3	10.5/7	5.3/8	4.58	32	44	86
Терек	37.42	7.2/–8	4.6/7	3.7/0	3.91	54	85	106

Обеспеченность ЕЧР водными ресурсами и их использование. Непосредственное изъятие воды из рек, озер, подземных горизонтов на хозяйственные нужды и сбросы использованных вод в водные объекты – основной фактор воздействия человека на количественные и качественные характеристики природных вод.

Система учета масштабов использования вод в России существует более полувека. Начиная с 1960-х гг. публикуются основные ежегодные данные по использованию воды основными водопотребителями – промышленностью и сельским хозяйством, теплоэнергетикой и жилищно-коммунальным хозяйством:

- объем водозабора из водного объекта;
- объем сброса использованных вод или объем водоотведения – основная характеристика влияния водопотребления на качество природных вод;
- объем безвозвратного водопотребления – важная оценка влияния водопотребления на водные ресурсы.

Второй и третий вид потерь при водопотреблении практически не зависят от климатических условий и целиком определяются характером использования воды на производстве и в быту, поэтому в статье детально не рассматриваются.

На Европейской части России проживает 80% населения страны, и здесь сосредоточен 21% ее суммарных водных ресурсов. Современные сред-

негодовые возобновляемые водные ресурсы ЕЧР составляют 961.2 (в том числе подземные воды – 368.9) км³, минимальные месячные – 229.3 км³ (табл. 3). На одного жителя ЕЧР в среднем приходится 9.1 тыс. м³/год общих возобновляемых водных ресурсов и 242.4 тыс. м³/год общих ресурсов речного стока на 1 км². При этом ресурсов подземных вод на 1 человека приходится 3.5, минимальных – 2.2 тыс. м³/год, а на 1 км² – 93.0 и 57.8 тыс. м³/год соответственно (табл. 3).

Среднеголетние ресурсы речного стока и их использование по бассейнам крупных рек ЕЧР представлены в табл. 4. Высокими значениями водных ресурсов отличаются субъекты Российской Федерации, расположенные в бассейне р. Волги, среднеголетний сток которой составляет 260 км³/год, или ~30% общих ресурсов ЕЧР. Водные ресурсы Белого моря на ЕЧР достигают 120 км³/год и формируются в основном стоком рек Северная Двина, Мезень и Онега. Речной сток в Баренцево море формируется р. Печорой, среднеголетние ресурсы которой превышают 147 км³/год. Большую часть водных ресурсов бассейна Балтийского моря составляет сток р. Невы – 75.7 км³, или 58.7% общих водных ресурсов бассейна моря. Водные ресурсы бассейна Азовского моря, формирующиеся на ЕЧР, в среднем составляют ~60 км³/год, из которых сток рек Дон и Кубань составляет >97% [14].

Объем и структура водопотребления определяются физико-географическими условиями региона, уровнем его социально-экономического развития, численностью населения и плотностью его расселения. Данные о водопотреблении характеризуют соотношение водных ресурсов и объемов используемой воды в данном регионе, что определяется его естественной водообеспеченностью (удельной и абсолютной) и нагрузкой на водные ресурсы. Большой вес как в водном хозяйстве, так и в экономике страны имеют Центральный, Поволжский и Уральский экономические районы. Здесь проживает более 45% населения России (при 10% территории) и производится около половины ВВП. Эти же регионы используют ~40% всей свежей воды, сбрасывают 35–40% сточных вод, в них сосредоточено более 55% всех систем оборотного и повторно-последовательного водоснабжения.

Удельная водообеспеченность характеризуется количеством воды, приходящейся на единицу площади и одного жителя субъекта ЕЧР (табл. 3). Известно, что речной сток характеризуется многолетней вариацией, особенно в южных, наименее водообеспеченных, регионах ЕЧР. Поэтому в маловодные годы доступные (фактические) ресурсы значительно меньше их среднееголетних значений. Так, если суммарные естественные водные ресурсы рек юга ЕЧР – Днепра, Волги, Дона, Кубани, Терека, Урала в средний по водности год принять за 100%, то в маловодный год их водные ресурсы составят всего 60%. При этом минимальный месячный сток этих бассейнов составляет ~20% их ресурсов в средний по водности год, что нередко меньше потребностей в воде в ряде субъектов ЕЧР (рис. 9).

Суммарный ежегодный водоотбор из всех природных источников, по данным Государственного водного кадастра, составил в 2005 г. 79.5, 2008 г. – 80.3, 2009 г. – 75.4 км³. Сокращение общего водоотбора в 2001–2008 гг. составило ~6 км³, а в 2009 г. оно уменьшилось еще на 5 км³ по сравнению с 2008 г. Следовательно, снижение водоотбора, начатое в 1990-е гг., продолжилось и в 2009 г. в соответствии с общим снижением хозяйственной деятельности в эти годы практически во всех отраслях экономики страны. Объем водозабора и использования воды уменьшился по сравнению с 1990 г. почти в 1.6 раза. Значительно изменились и доли отдельных водопотребителей в общем объеме использования воды: на долю промышленности приходится 66, коммунального хозяйства – 20, орошения – 12 и сельского хозяйства – 2% [1, 2, 16].

В соответствии с рекомендациями Организации по экономическому сотрудничеству и развитию (ОЭСР) и других международных организаций нагрузка на водные ресурсы, или отношение водоотбора к существующим водным ресурсам, при прочих равных условиях оценивается по схеме:

- низкая – водозабор составляет до 10% возобновляемых ресурсов пресной воды;
- умеренная, или допустимая, – от 10 до 20%;
- средневысокая – от 20 до 40%;
- высокая – от 40 до 60%;
- очень высокая – свыше 60% (возможность использования водных ресурсов приближается к исчерпанию).

Лимитирующим фактором водообеспеченности и потенциальной нагрузки на водные ресурсы служат возобновляемые ресурсы подземных вод, прежде всего ресурсы минимального месячного стока. Ниже приведена оценка нагрузки на ресурсы подземных вод (в том числе на минимальные месячные) на основе анализа современного водоотбора по субъектам ЕЧР в соответствии с данными Государственного водного кадастра за последние десятилетия (табл. 3) [3]. Нагрузка именно на эту категорию естественных ресурсов служит лимитирующим показателем при оценке регионов по водообеспеченности и планировании использования ограниченных водных ресурсов.

Сдерживающим фактором развития хозяйственно-питьевого водоснабжения служит дефицит питьевой воды в ряде субъектов ЕЧР, что связано прежде всего с нерациональным использованием ограниченных водных ресурсов. Низкой водообеспеченностью характеризуются субъекты Центрального, Поволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов. Здесь питьевая вода нередко подается населению по графику или из открытых источников без должной очистки и подготовки (в Астраханской, Ростовской областях, Ставропольском крае и др.).

Самая высокая антропогенная нагрузка на территории Российской Федерации – на водные ресурсы и водные объекты Московского региона и прилегающих территорий Центрального ФО, а также в пределах многих районов Южного и Северо-Кавказского округов. Среди городских агломераций наибольшие объемы водозабора имеют Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород и ряд других крупных центров. Следовательно, несмотря на некоторое увеличение естественных ресурсов поверхностных и подземных вод ЕЧР, экономически развитые регионы Центрального и сельскохозяйственные территории Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных

округов практически исчерпали возможность дальнейшего увеличения использования водных ресурсов без реальной программы экономии воды и восстановления ее качества.

В последние годы качество воды в местах водозабора, как из подземных, так и из поверхностных источников централизованного питьевого водоснабжения, продолжает оставаться неудовлетворительным. В России санитарным нормативам не соответствует ~40% поверхностных и 17% подземных источников питьевого водоснабжения. К регионам ЕЧР с некондиционным качеством централизованных систем хозяйственно-питьевого водоснабжения относятся такие города, как Москва и Санкт-Петербург, области Архангельская, Астраханская, Белгородская, Брянская, Владимирская, Вологодская, Воронежская, Ивановская, Чеченская Республика и др. При этом особенно напряженная ситуация с качеством питьевого водоснабжения сохраняется в сельской местности. Около половины населения России используют воду, не соответствующую гигиеническим требованиям и представляющую угрозу здоровью. При этом в структуре сброса загрязненных сточных вод преобладают коммунальные стоки (почти на 90%). При сравнительно небольших объемах водопотребления предприятия коммунальной сферы служат крупным источником сбросов загрязненных сточных вод в 2009–2010 гг.

При планировании водоснабжения крупных городов следует рассчитывать на два независимых источника. При загрязнении уязвимого поверхностного источника альтернативный – более защищенный подземный источник должен обеспечить водоснабжение населения по адекватным расчетным нормам в течение всего карантинного периода. При этом следует учитывать допустимую экологическую нагрузку на водные объекты и соблюдать требования Водного кодекса РФ о резервировании источников питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения.

ВЫВОДЫ

Анализ многолетних колебаний естественного режима годового, сезонного и среднемесячного стока рек ЕЧР позволяет сделать следующие выводы.

Положительные изменения средних годовых и особенно зимних температур воздуха, а также атмосферных осадков оказали значительное влияние на водность рек и режим их стока.

На значительной части средней полосы ЕЧР годовой сток рек в последние десятилетия превысил норму 1940–1969 гг. Однако к северу и югу от этой полосы происходящие изменения годового

стока находятся в пределах естественной его изменчивости.

Для большинства рек ЕЧР произошли изменения в режиме стока и источниках питания. С конца XX в. многие реки имеют смешанное питание с преобладанием подземного. Это привело к значительному увеличению естественной зарегулированности стока, по своему масштабу сопоставимому с влиянием “водохранилищ сезонного регулирования”.

Основная особенность современного водного режима рек – существенное изменение внутригодового режима с увеличением межлетнего стока, особенно зимнего. В пределах крупных регионов для большинства рассмотренных рек отмечаются значимые (при уровне значимости 95%) положительные тренды увеличения стока зимней и летне-осенней межени. Рост межлетнего стока в последние 25–30 лет обусловил увеличение естественных ресурсов подземных вод даже в бассейнах рек, где произошло снижение стока весеннего половодья. Такая ситуация сложилась впервые, так как ранее основные маловодные и многоводные фазы определялись величиной стока весеннего половодья.

На большей части территории России ожидается увеличение удельной водообеспеченности на 10–25%. Только ряд субъектов, расположенных в Центральном, Поволжском, Южном и Северо-Кавказском федеральных округах, имеют низкую водообеспеченность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. Шикломанова И.А. СПб.: ГГИ, 2008. 598 с.
2. Водный кадастр Российской Федерации. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. 2009 г. СПб.: ART-Xpress, 2010. 147 с.
3. *Георгиевский В.Ю.* Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы // Изменения климата и их последствия. СПб.: Наука, 2002. С. 152–164.
4. Государственный доклад “О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году”. М.: НИИ-Природа, 2010. 288 с.
5. *Гуревич Е.В.* Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) // Метеорология и гидрология. 2009. № 9. С. 92–99.
6. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Агафонова С.А. и др.* Влияние изменений климата на сток и водный режим рек ЕЧР // Матер. Всерос. конф. “Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России”. Краснодар: Авангард плюс, 2010. С. 106–116.
7. *Джамалов Р.Г., Фролова Н.Л., Кричевец Г.Н. и др.* Современные ресурсы поверхностных и подземных вод рек Севера Европейской территории России и бассейна р. Волги // Матер. Всерос. конф. “Устойчивость водных объектов, водосборных и

- прибрежных территорий; риски их использования”. Калининград, 2011. С. 166–173.
8. *Дмитриева В.А.* Географо-гидрологическая оценка водных ресурсов субъекта Российской Федерации в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности. Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. Воронеж, 2012. 47 с.
 9. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2011 г. <http://www.meteorf.ru>
 10. *Калужный И.Л., Лавров С.А.* Основные физические процессы и закономерности формирования зимнего и весеннего стока рек в условиях потепления климата // Гидрология и метеорология. 2012. № 1. С. 68–81.
 11. *Калужный И.Л., Лавров С.А., Романюк К.Д.* Изменения водного режима болот севера и северо-запада России под влиянием климатических факторов // Вод. ресурсы. 2012. Т. 39. № 1. С. 13–22.
 12. *Киреева М.Б., Фролова Н.Л.* Современные изменения водного режима рек бассейна Дона // Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление: сборник трудов первой открытой конференции Научно-образовательного центра. М., 2011. С. 98–113.
 13. *Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М. и др.* Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления XXI века. М.: МАКС Пресс, 2008. 292 с.
 14. *Фролова Н.Л., Джамалов Р.Г., Игонина М.И.* Современные водные ресурсы Европейской территории России: формирование, водообеспеченность и использование // Ресурсы и качество вод суши: оценка, прогноз и управление. Сб. тр. первой открытой конф. Науч.-образовательного центра. М., 2011. С. 197–212.
 15. *Христофоров А.В.* Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Изд-во МГУ, 1988. 131 с.
 16. *Шикломанов И.А., Бабкин В.И., Балонишникова Ж.А.* Водные ресурсы, их использование и водообеспеченность в России: современные и перспективные оценки // Вод. ресурсы. 2011. Т. 38. № 2. С.131–141.
 17. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Современные и перспективные изменения стока рек России под влиянием климатических факторов // Водные ресурсы суши в условиях изменяющегося климата. СПб.: Наука, 2007. С. 20–32.
 18. *Dzhamalov R.G., Frolova N.L., Kireeva M.B., Safronova T.I.* Climate-Induced Changes in Groundwater Runoff in Don Basin // Water Resources. 2010. V. 37. № 5. P. 733–742.