

ОЦЕНКА влияния ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА на **ВОДНЫЙ РЕЖИМ** и сток РЕК БАССЕЙНА ВОЛГИ

Проведен совместный анализ изменения статистических характеристик рядов температуры воздуха, осадков, среднегодового, среднего межennaleго и минимального месячного стока рек бассейна Волги за весь период наблюдений и за сопоставимые по продолжительности периоды 1935–1969 и 1970–2005 гг. Выполнена переоценка естественных ресурсов поверхностных и подземных вод бассейна Волги за период 1970–2005 гг.



Введение

Особенности гидрологического режима водных объектов существенно влияют на хозяйственную деятельность, безопасность и условия жизни населения. Для эффективного и безопасного использования ресурсов рек необходимы оценка водных ресурсов территории или конкретных водных объектов, определение максимальных, минимальных и др. характерных расходов воды, оценка влияния хозяйственной деятельности на режим рек, на опасные гидрологические процессы.

Переоценка современных ресурсов поверхностных и подземных вод в связи с наблюдающимися в настоящее время климатическими изменениями является одной из актуальных задач гидрологии и гидрогеологии. Оценка межennaleго и минимального стока особенно важна для предотвращения экологических проблем. Изучение про-

Н.И. Алексеевский*, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии суши, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Н.Л. Фролова, доктор географических наук, доцент кафедры гидрологии суши, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

странственно–временных закономерностей формирования речного стока, особенностей гидрологического режима рек позволяет выявить основные соотношения между элементами водного баланса, особенности питания подземных и поверхностных вод и формирования их естественных ресурсов при существующих и при прогнозируемых климатических условиях. Особенно это важно для таких развитых в экономическом отношении регионов страны как бассейн Волги.

Целью данной работы является выявление основных тенденций в изменении годового и межennaleго стока рек бассейна Волги; характера внутригодового распределения стока, оценка современных естественных ресурсов поверхностных и подземных вод.

Материалы и методы исследования

К 1986 г. период регулярных наблюдений за гидрологическими характеристиками на большинстве постов не превышал 35–40 лет, поэтому имеющиеся картографи-

*Адрес для корреспонденции: n_alex50@mail.ru

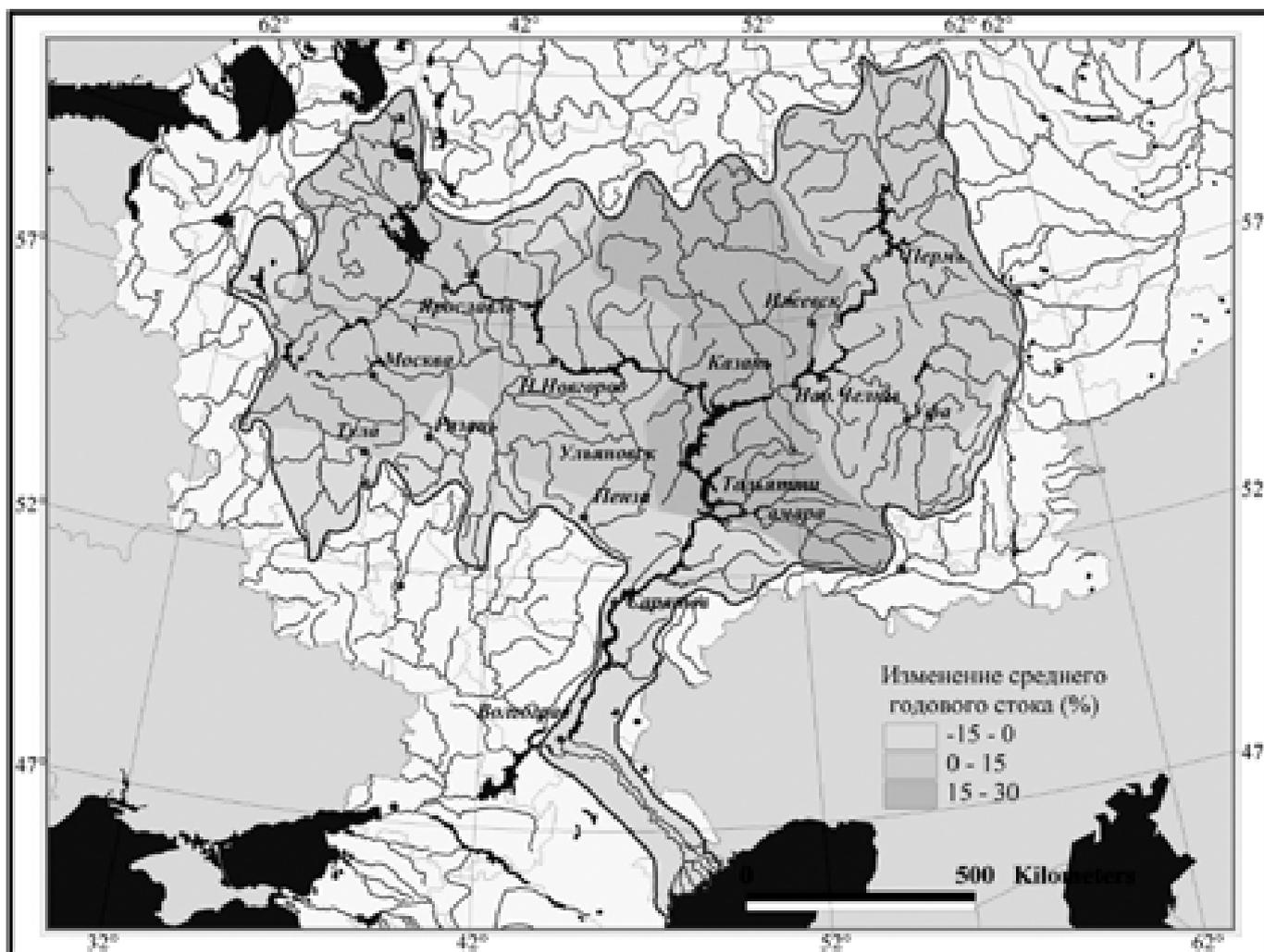


Рис. 1. Изменение среднего годового стока (%) за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг.

ческие обобщения базируются на анализе относительно коротких рядов данных. Учет данных за последующие 30 лет позволяет уточнить распределение стока воды по территории, что повышает точность гидрологических расчетов.

Для изучения пространственной и временной изменчивости стока рек бассейна Волги использовано 105 гидрологических постов, относительно равномерно распределенных в пределах волжского бассейна с площадью водосбора от 2000 до 50000 км², с периодом наблюдений 1935–2005 гг. Дополнительно была привлечена информация по рядам годовых и сезонных осадков и температуре воздуха по 60 метеостанциям. Величина подземного стока определялась путем осреднения межениных расходов, наиболее полно отражающих вариации подземной составляющей в течение гидрологического года. Выбор периода осреднения для

М.М. Антонова,
инженер кафедры
гидрологии суши,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

М.И. Игонина,
аспирант,
Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

различных регионов проводился на основе генетического расчленения гидрографов рек по методике [1] и сравнения полученной величины подземной составляющей с различными характеристиками межениного стока.

Статистическая обработка проводилась с помощью стандартных пакетов Statistica и Excel, а пространственный анализ гидрологических характеристик — с помощью пакета ArcViewGis 3.2.

Изменение годового стока рек бассейна Волги

Гидроклиматические условия на Русской равнине в последней четверти XX в. характеризуются повышенным увлажнением территории и увеличением регионального стока. Изменение циркуляционных и связанных с ними других климатообразующих процессов в последней четверти XX в. привело к существенному улучшению условий фор-

мирования стока на Восточно–Европейской равнине. Отмечаемые за последние десятилетия климатические изменения в бассейне Волги, несомненно, влияют на особенности водного режима рек, величину их годового и меженного стока, объем и высоту весеннего половодья [1, 2].

Количественные характеристики изменчивости речного стока в многолетнем плане можно разделить на две группы: интегральные, отражающие суммарную изменчивость временных рядов ежегодных величин стока (параметры функции распределения вероятности и принятой модели временного ряда), и динамические, привязывающие колебания и изменения речного стока к

Ключевые слова: изменения климата, ресурсы поверхностных и подземных вод, водный режим

конкретным отрезкам времени (тенденции, тренды, циклы, многоводные и маловодные периоды). В настоящей работе анализируется изменение среднего многолетнего годового стока за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг., наличие возрастающих и убывающих трендов за весь период наблюдений и за последние 35 лет. Оценки годового стока за первый период оказались меньше (примерно на 5–10 %) по сравнению со всем периодом наблюдений (1935–2005 гг.). Наоборот, за второй период (1970–2005 гг.) они оказались, соответственно, больше на 5–10 %. Общее изменение годового стока для рассматриваемых двух периодов составило около 10–15 % для большей части

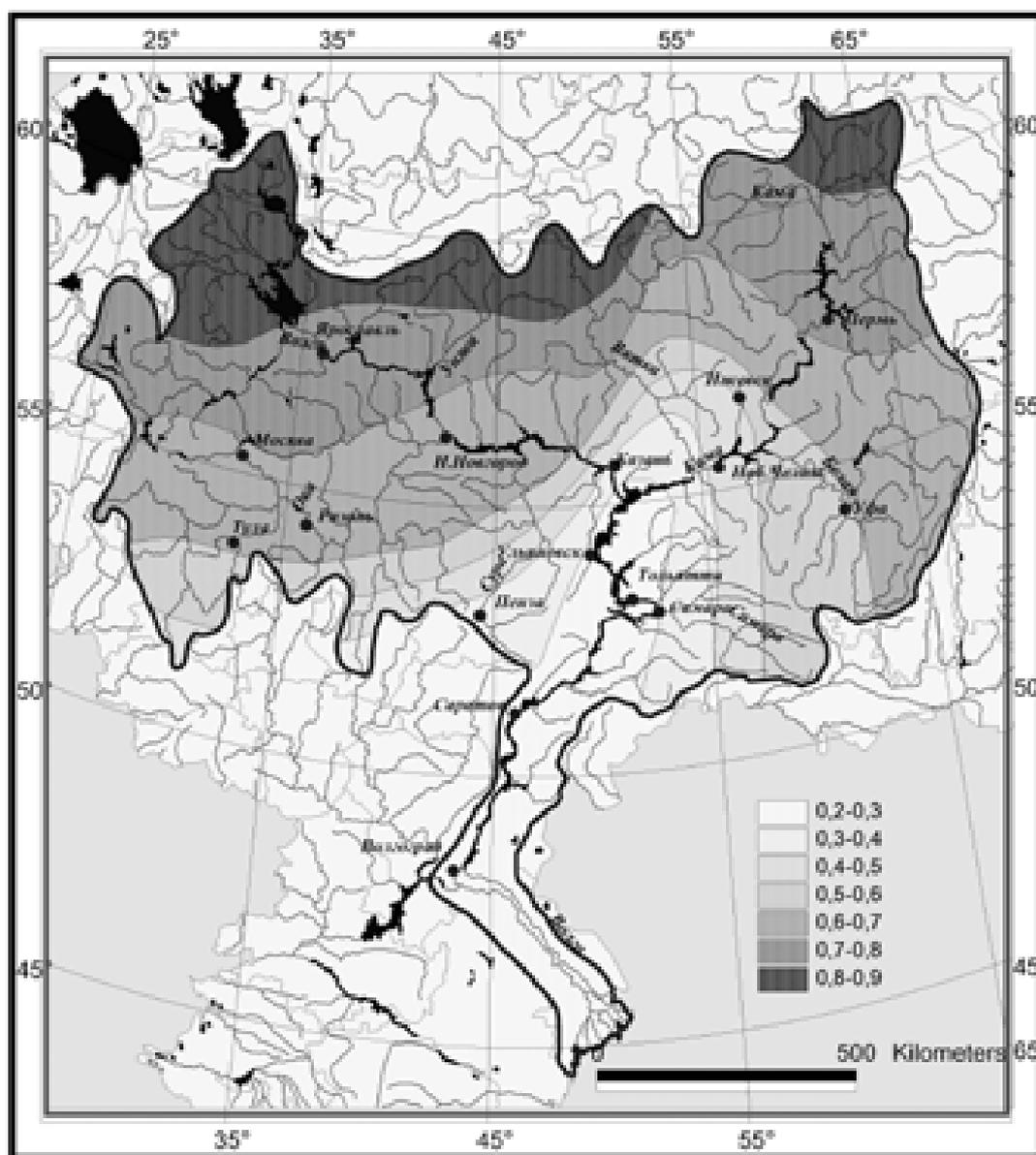


Рис. 2. Коэффициент корреляции между годовым стоком воды и суммой осадков за год [3].



Рис. 3. Коэффициент корреляции между годовым стоком воды и количеством атмосферных осадков за холодный период года (XI-III) [3].

бассейна Верхней Волги и бассейна Камы. Исключение составили реки в бассейне Вятки, где величина модулей стока увеличилась на 15–30 %. В бассейне Нижней Волги и на юго-западе волжского бассейна (верховья Оки, Цны, Суры) значения годового стока уменьшились в среднем на 10–15 %. Для некоторых рек они сократились на 30 % (р. Большой Караман – Советское) (рис. 1) (однако статистическая значимость таких изменений несущественна).

Различия в реакции водности рек на изменение климатических условий после начала семидесятых годов XX столетия в лесной и лесостепной зонах бассейна Волги

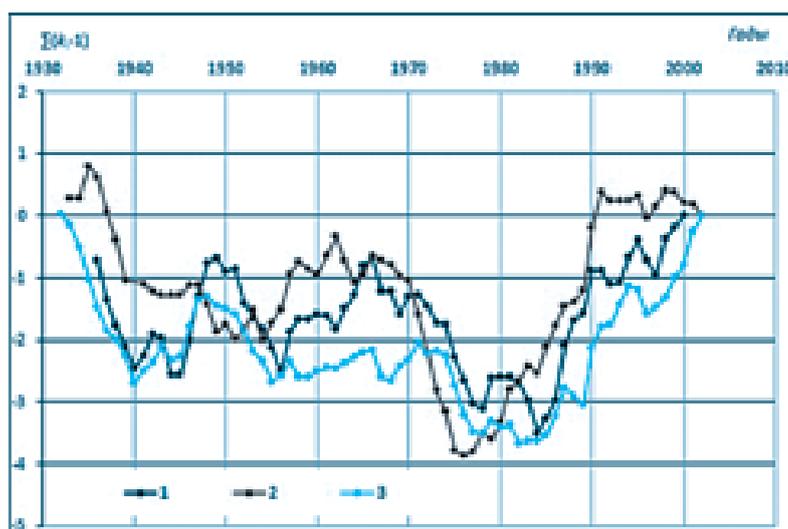


Рис. 4. Разностные интегральные кривые среднегодовых расходов воды рек в бассейне Волги (1 – р. Б. Кинель – Тимашево; 2 – р. Молога – Ильцино; 3 – р. Уфа – Красноуфимск).

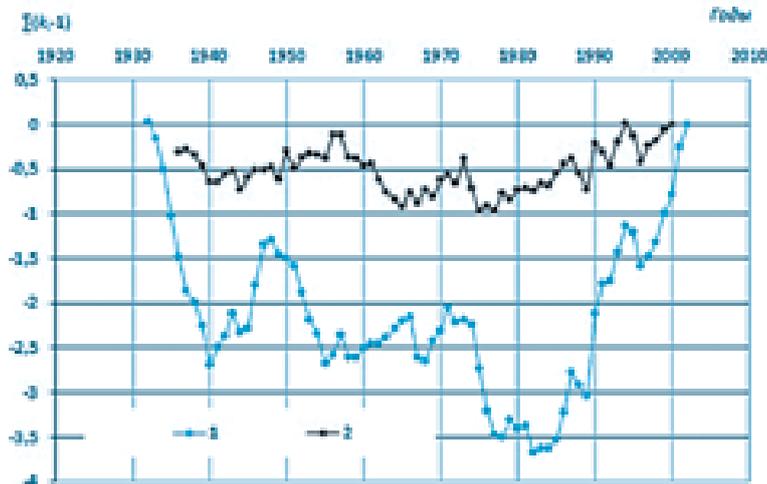


Рис. 5. Разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды р. Уфы (г. Красноуфимск) (1) и сумм годовых осадков (2).

обусловлены изменением ведущих факторов формирования годового стока. В лесной зоне годовой сток почти линейно реагирует на увеличение годовых осадков. В лесостепной зоне эта связь ослабевает (рис. 2), ведущими становятся факторы, определяющие объем весеннего половодья. Здесь действует более сложный механизм отклика на изменение региональных климатических условий бассейна Волги — зимние температуры повысились, более частыми стали оттепели, уменьшилось промерзание почво-грунтов; в результате повышение зимних осадков частично компенсируется увеличением потерь талых вод на увлажнение почвы с последующим увеличением испарения в весенне-летний период. Для южной части бассейна Волги годовой сток в большей степени зависит от количества осадков за холодный период года (рис. 3).

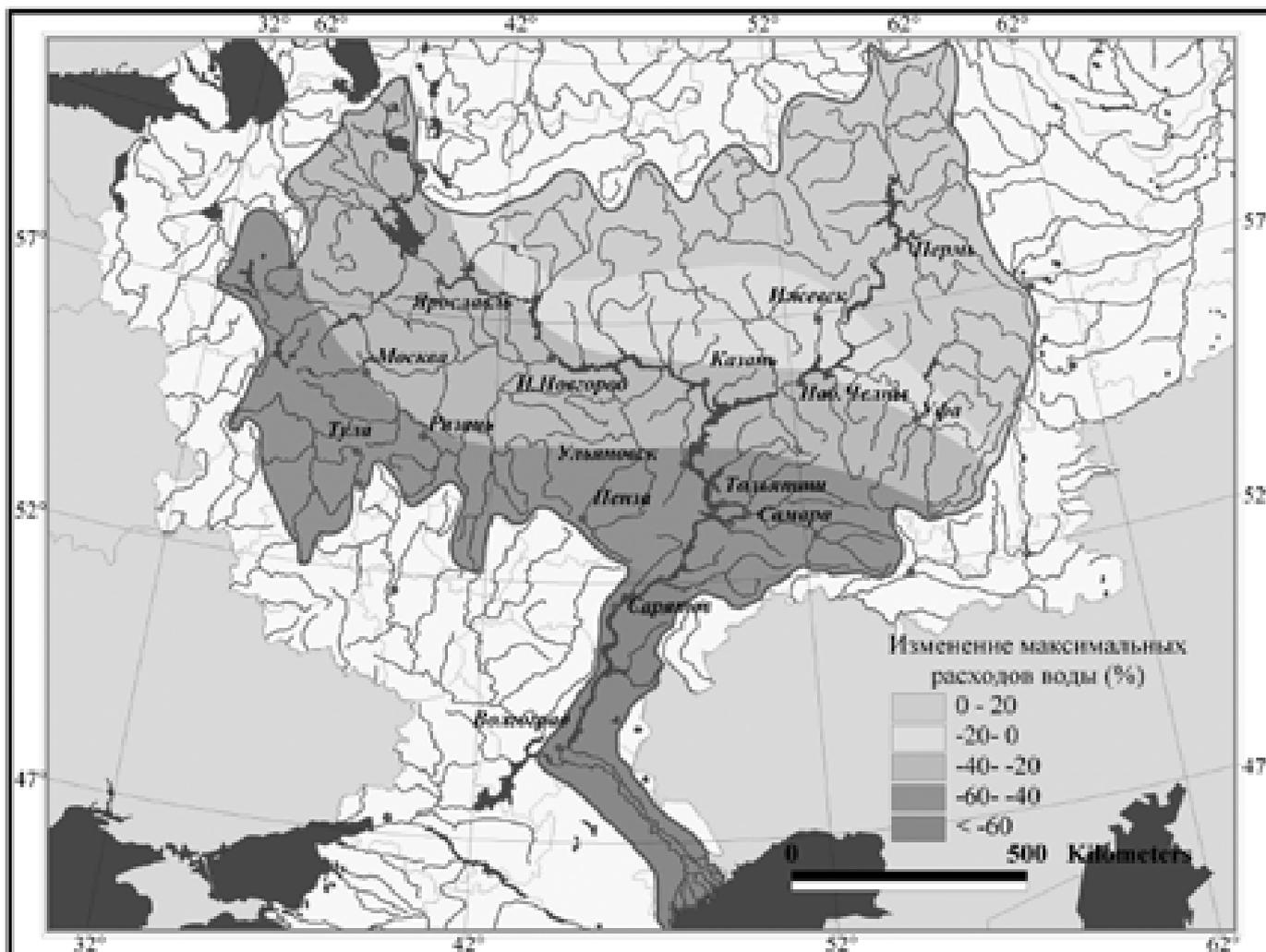


Рис. 6. Изменение максимальных расходов воды (%) за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг.

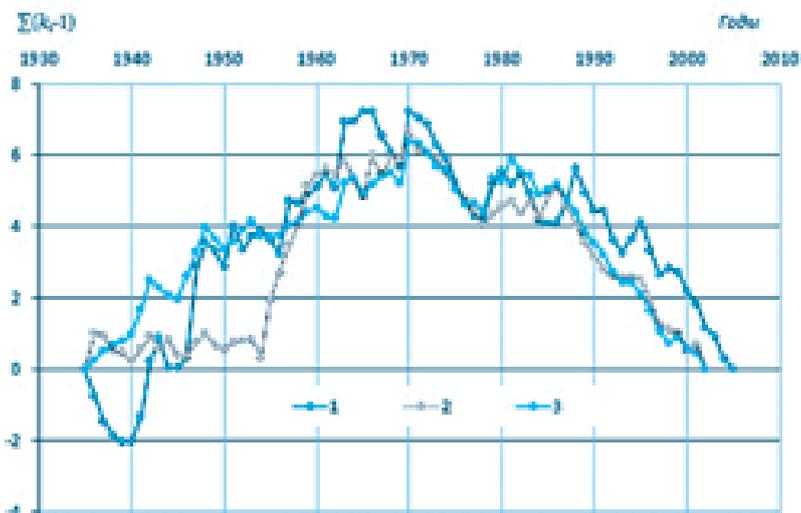


Рис. 7. Разностная интегральная кривая ежегодных максимальных расходов воды некоторых рек бассейна Волги (1 — р. Б. Кинель — Тимашево; 2 — р. Клязьма — Ковров; 3 — р. Ока — Муром).

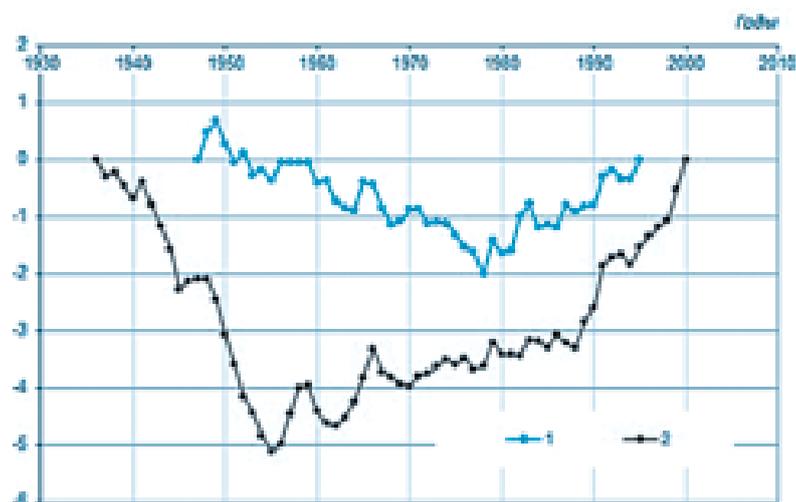


Рис. 8. Разностные интегральные кривые ежегодных значений максимальных расходов воды р. Сим — Миньяр (1) и суммы осадков за холодный период (2)

После 1975–1978 гг. в изменениях величины средних годовых расходов воды для большинства гидрологических постов в бассейне Волги четко выявляется возрастающий статистически значимый тренд. Для рек в бассейне Верхней Волги и Оки сток начал возрастать раньше (1975–1977 гг.) по сравнению с бассейном Камы и Нижней Волги (1979–1985 гг.) (рис. 4). Общей причиной увеличения стока является возрастание суммы годовых осадков (рис. 5). Наиболее четко связь между этими переменными прослеживалась в 1980–2000 гг. На фоне относительно медленного увели-

чения суммы годовых осадков возобновляемые водные ресурсы возрастали гораздо быстрее, что связано с влиянием возрастающей разгрузки подземных водоносных горизонтов и увеличением стока за период зимней межени. Наибольшая интенсивность возрастания возобновляемых водных ресурсов наблюдалась в бассейне Оки.

Изменение естественной зарегулированности и водного режима рек бассейна Волги

Оценка изменения водного режима рек проводилась на основе изучения гидрографов стока за различные периоды времени, оценки внутригодовой неравномерности стока, изменения характеристик весеннего стока — максимальных расходов воды, дат начала и конца половодья, доли стока за половодье в годовом стоке, изменения соотношения источников питания рек.

Весеннее половодье является главной фазой и отличительной чертой водного режима рек бассейна Волги. На долю стока весеннего половодья рек волжского бассейна приходится около 60 % годового стока. Для рек более южных районов бассейна эта доля достигает 90 %. Максимальные расходы весеннего половодья наблюдаются на 5–15 сут. позже начала половодья. На величину уровней в период весеннего половодья влияет осеннее увлажнение, промерзание почв к концу зимнего периода, запасы воды в снеге перед началом половодья и интенсивность снеготаяния. Для рек в бассейне Волги характерно одновершинное половодье. В отдельные годы (с ранней весной и возвратом холодов) в период снеготаяния может наблюдаться несколько пиков подъема уровней. Пространственное изменение характеристик максимального стока трансформируется в зависимости от климатических изменений и продолжительности наблюдений за экстремальным стоком воды. Уменьшение максимальных расходов весеннего половодья характерно для всего рассматриваемого периода наблюдений (1935–2005 гг.) для рек бассейна Оки и Нижней Волги. Для этих рек отмечается сдвиг сроков начала весеннего половодья в сторону более ранних дат на 10–15 сут., соответственно увеличивается и продолжительность половодья. Изменение максимальных расходов составляет для Оки и ее притоков 20–40 %, для рек Нижней Волги — 40–70 % (рис. 6, 7). Для рек бассейна Оки эта тенденция характерна и для последних 35 лет. Она обусловлена повышением температуры воздуха зимой, ко-

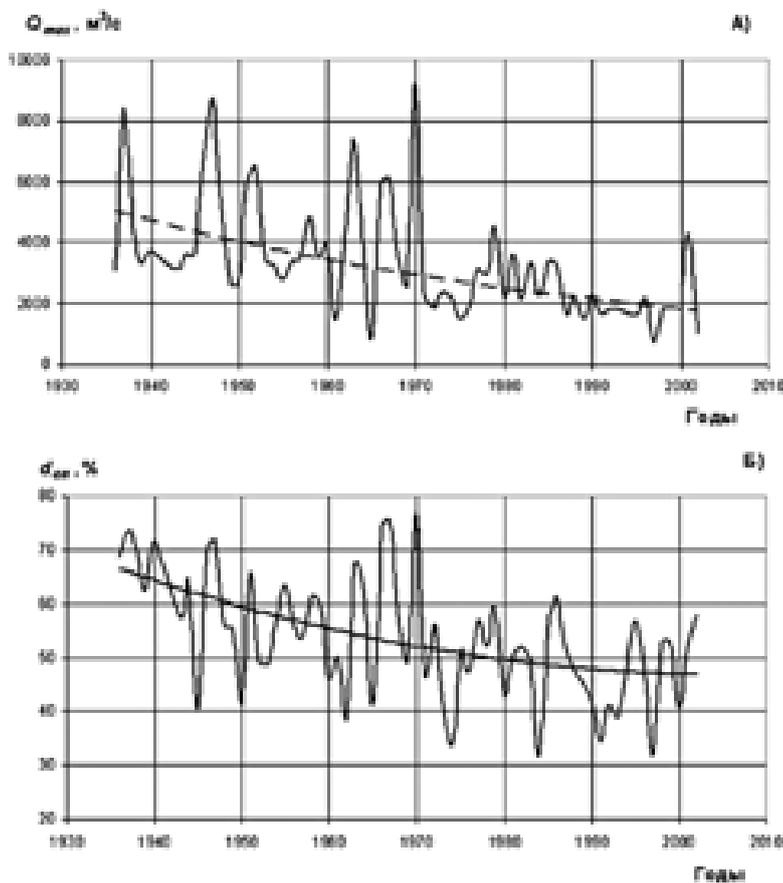


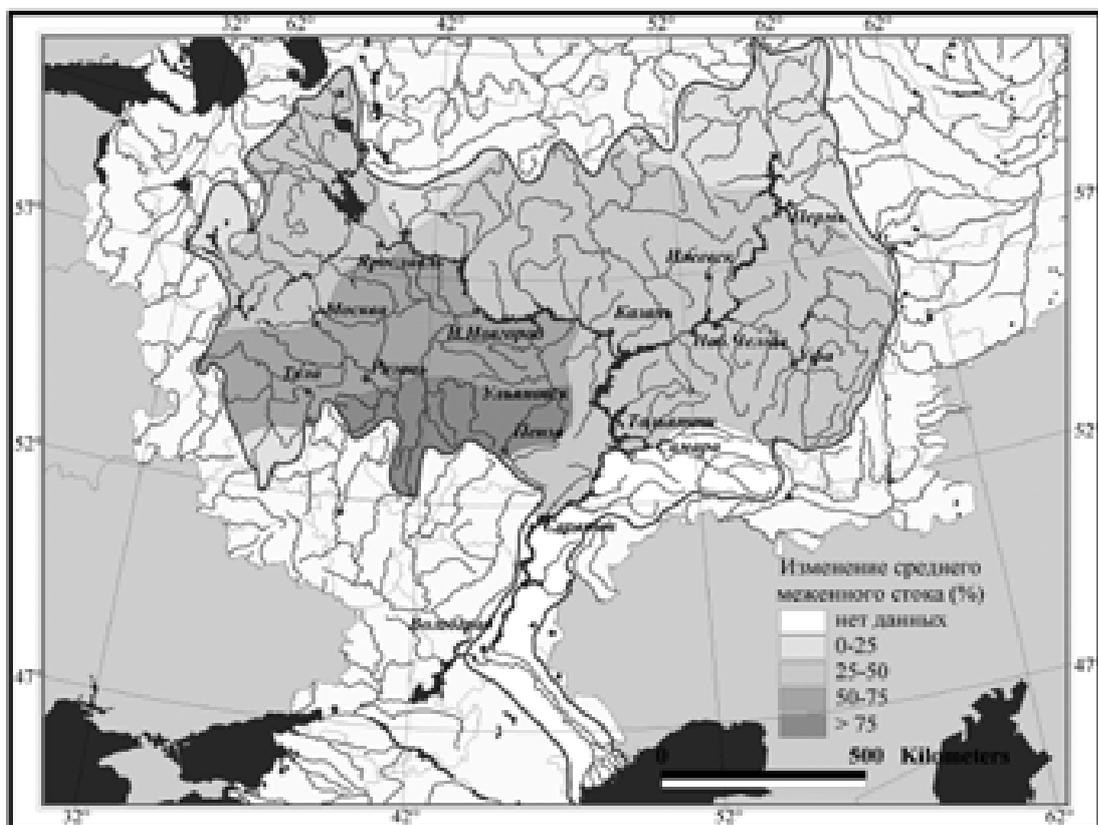
Рис. 9. Изменение максимальных расходов воды, м³/с (а) р. Ока (г. Калуга) и доли половодья в годовом стоке, % (б) за период 1935–2005 гг.

торое сопровождается увеличением числа и продолжительности оттепелей и, следовательно, уменьшением предвесенних запасов воды, максимальных расходов весеннего половодья. Статистически значимые возрастающие тренды (с вероятностью 95 %) рядов максимальных расходов воды для периода 1935–2005 гг. отмечаются для р. Унжа, многих рек в бассейне Камы. В последние три десятилетия эта тенденция проявилась в колебаниях максимального стока рек Верхней Волги (Чагодыща, Унжа, Суда, Лидь, Керженец, Ветлуга) и сохранилась для рек бассейна Камы. Такая ситуация объясняется характером изменения величины осадков за холодный период, увеличение которой характерно для указанных водосборных территорий (рис. 8).

Изменение характера весеннего половодья сказалось на его доле в годовом стоке. Ранее (до 1970 г.) эта величина колебалась от 60 % (бассейн Камы и Верхней Волги) до 70–80 % и более (левобережные притоки в пределах Нижней Волги). В последние десятилетия доля весеннего половодья в годовом стоке уменьшилась примерно на 10 % (рис. 9).

Более благоприятные условия для формирования стока складываются в периоды зимней и летне-осенней межени. Повышенному стоку в этот период спо-

Рис. 10. Изменение среднего меженного (подземного) стока (%) за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг.



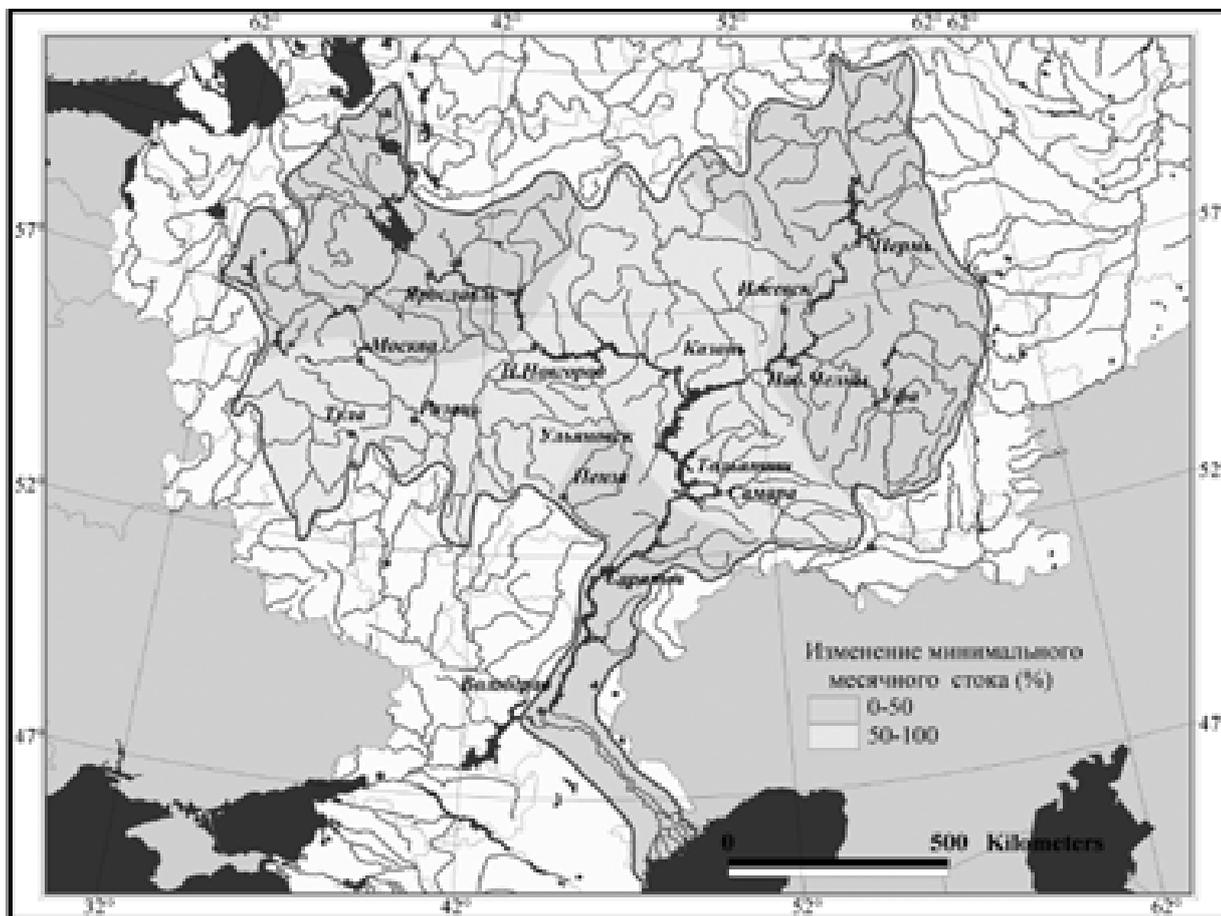
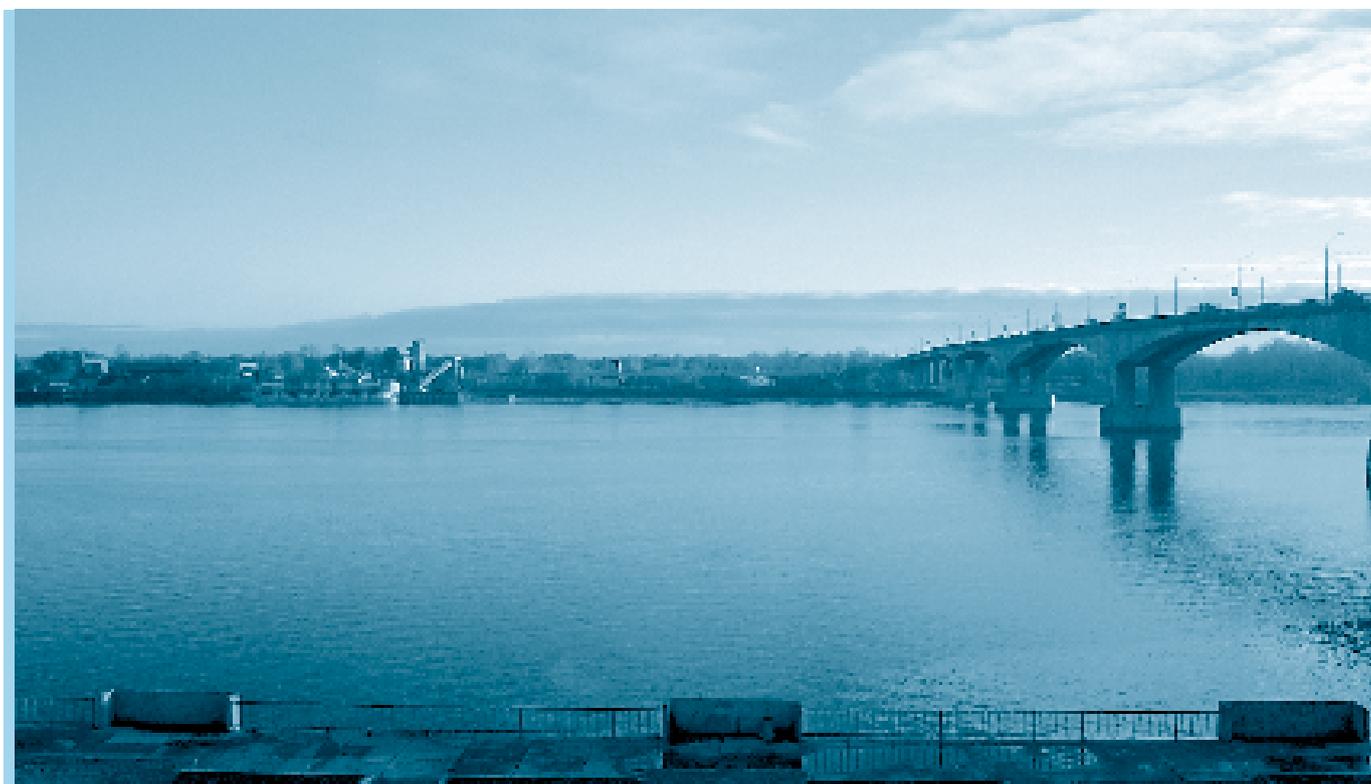


Рис. 11. Изменение минимального месячного стока (%) за 1970–2005 гг. по сравнению с периодом 1935–1969 гг.



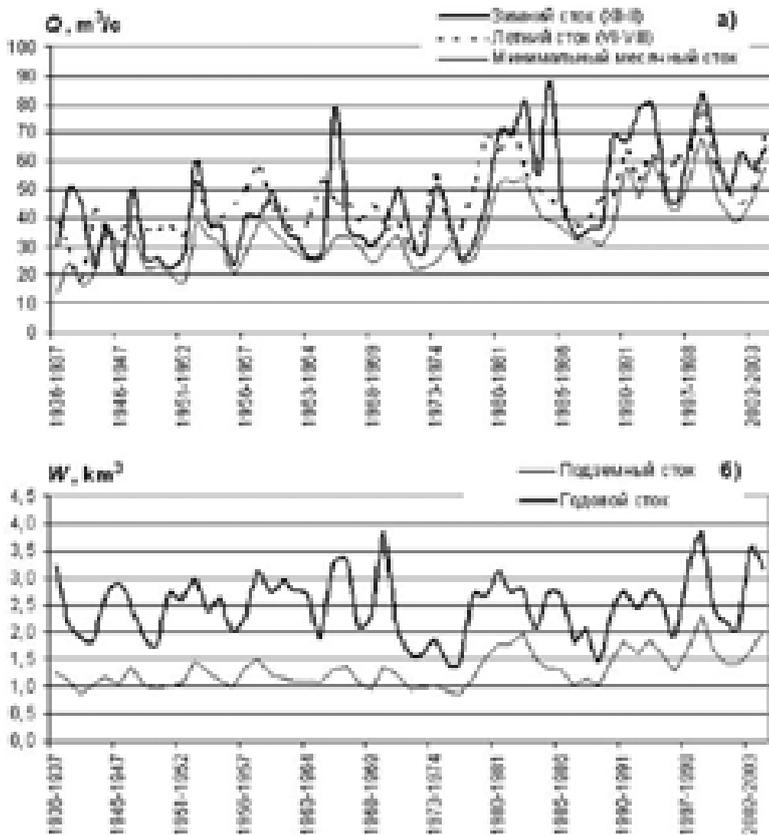


Рис. 12. Изменение среднего стока р. Оки (г. Белов) за зимний период (XII–II), летний период (VI–VIII), минимального месячного стока (Q , m^3/s) (а), объема суммарного годового и подземного стока (W , km^3) (б).

способствует улучшению условий питания рек подземными водами. Для оценки этого процесса оценена степень изменения величины подземной составляющей (на основе метода [1]) и ее доля в годовом стоке. Для анализа изменения меженного стока рек Верхней Волги и бассейна Оки использованы средние расходы за декабрь-февраль, для рек в бассейне Нижней Волги — средние расходы за июль-сентябрь и декабрь-февраль, для рек в бассейне Камы — осредненные месячные значения за ноябрь-март. Такой выбор следует из анализа особенностей водного режима и степени связи между меженными расходами воды и подземной составляющей стока. В основном меженные расходы воды характеризуют изменение зимнего стока и в значительной мере обусловлены устойчивой разгрузкой подземных вод. Подземный сток в различных природно-климатических зонах формируется за счет так называемых эффективных осадков (инфильтрующихся до уровня подземных вод). Для средней полосы

Ключевые слова: изменение климата, ресурсы поверхностных и подземных вод, водный режим

Европейской территории России это обычно осадки зимне-весеннего и осеннего сезонов года. В настоящее время зимний сезон характеризуется повышенным стоком воды снегодождевого происхождения, который формируется с ноября по февраль-март (зимние оттепели). В летний сезон увеличение меженного стока часто обусловлено их пополнением за счет речных вод в период половодья, на которое накладываются летние, а потом и осенние паводки. Водность рек в период межени в 1970–2005 гг. была на 25–50 % выше, чем за предшествующий многолетний период 1935–1969 гг. для рек бассейна Камы, Верхней Волги (выше впадения р. Которосль), Унжи и Ветлуги. Еще больше (на 50–75 %) увеличился меженный (зимний) сток рек бассейна Оки. Для рек Цны и Мокши увеличение меженного стока составило более 75 % (рис. 10–13). Доля меженного стока в годовом объеме стока увеличилась примерно на 30 % (реки бассейна Верхней Волги), на 50 % и более (реки бассейна Оки), 20–30 % (реки в бассейне Камы). Подземная составляющая стока, определенная по методу [1], увеличилась несколько в меньшей степени: на 10–20 % в бассейне Верхней Волги и на 20–30 % в бассейне Оки.

Изменение годового стока воды сопровождается трансформацией внутригодового распределения стока. Для оценки перераспределения стока внутри года использован анализ изменчивости коэффициента естественной зарегулированности стока ϕ [4]. Он выражает долю базисного стока в общем объеме годового стока воды. Статистически значимый возрастающий тренд для этой характеристики существует для преобладающего большинства рассматриваемых рек бассейна Волги. Особенно значительное увеличение зарегулированности стока отмечено для рек бассейна Оки (рис. 13), Суры, Б. Кинеля и др. Для р. Мокша, например, величина ϕ увеличилась с 0,39 (1935–1969 гг.) до 0,57 (1970–2005 гг.). Увеличение ϕ статистически значимо и для многих рек бассейна Камы, хотя оно проявилось в существенно меньшей степени.

Заключение

Наблюдающаяся для обширных территорий «синхронизация» изменений меженного стока и масштабы этих из-

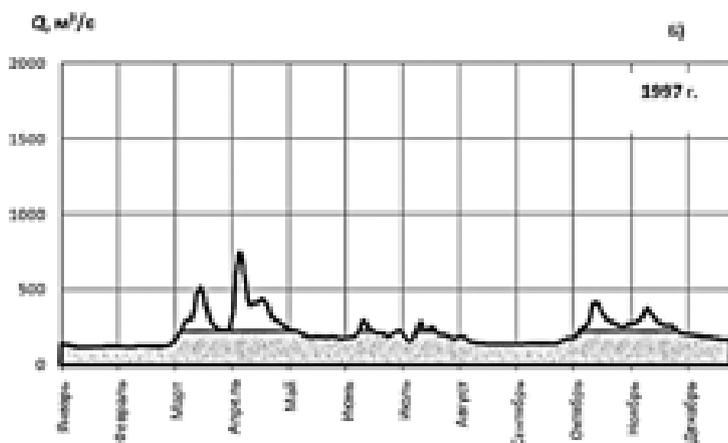
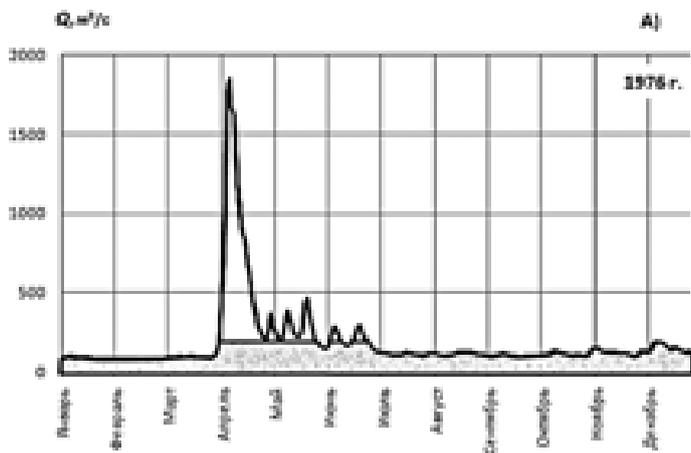


Рис. 13. Изменение расходов воды р. Оки (г. Калуга) в 1976 г. (а) и 1997 г. (б) (закрашен базисный сток).

менений являются неординарными и не имеют аналогов в XX столетии. Рост меженного стока обусловил в последние 30–35 лет увеличение водных ресурсов даже в бассейнах рек, где

произошло снижение стока весеннего половодья. На основе современной гидрометрической информации выполнена переоценка естественных ресурсов поверхностных и подземных вод бассейна Волги за период 1970–2005 гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №13-05-00113), гранта Правительства РФ для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых в российских ВУЗах (проект №11.G.34.31.0007), ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012-2020 годах».

Литература

1. Джамалов Р.Г. Формирование современных ресурсов поверхностных и подземных вод Европейской части России / Р.Г. Джамалов, Н.Л. Фролова, Г.Н. Кричевец, Т.И. Сафронова, М.Б. Киреева, М.И. Игонина // Водные ресурсы. Том 39. № 6. 2012. С. 571-589.
2. Водные ресурсы России и их использование / Под ред. И.А. Шикломанова. СПб: ГГИ, 2008. 600 с.
3. Жук В.А. Условия формирования и изменчивость годового стока рек бассейна Волги / В.А. Жук, И.В. Бовыкин, В.А. Скорняков, Е.А. Романова, Н.Л. Фролова // Труды 5 Всесоюз. гидрологич. съезда. Л.: Гидрометеиздат, 1987. Т. 6. С. 420-429.
4. Фролова Н.Л. Внутригодовое распределение стока рек России / Н.Л. Фролова, Д.П. Нестеренко, Н.В. Шенберг // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 8–16.

N.I. Alexeevsky, N.L. Frolova, M.M. Antonova, M.I. Igonina

CLIMATE CHANGES IMPACT ON REGIME AND RUNOFF OF VOLGA BASIN RIVERS

Joint analysis of statistical characteristics of air temperature, precipitation data and data on annual average, low and minimum runoff in the Volga basin was carried out for a whole observation period and equal periods 1935-1969 and 1970-2005. The estimation of different characteristics of runoff changes during the last 30 years was made. Rivers and groundwater resources in the Volga basin in 1970-2005 were reappraised and proper maps were plotted.

Key words: climate changes, rivers and groundwater resources, water regime