

ГЕОГРАФИЯ

*Владимир Матвеевич КАЛИНИН —
профессор кафедры экологического
мониторинга и земледения,
доктор географических наук*

*Татьяна Владимировна ВАРНИНА —
аспирант кафедры экологического
мониторинга и земледения*

УДК 551.58:556.512

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА МНОГОЛЕТНИЙ ХОД СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОДНОГО БАЛАНСА МАЛОГО ВОДОСБОРА

АННОТАЦИЯ. Выполнен расчет и анализ годовых значений осадков, испарения и стока ландшафтных комплексов в пределах малого водосбора за 50-летний период. Получены количественные параметры линейных трендов элементов гидрологического цикла геосистем, слагающих водосбор. Наибольшее влияние изменение климата оказывает на осадки, сток и испарение в пределах болотных ландшафтных комплексов.

Having calculated and analyzed the annual values of the precipitation, evaporation and run off landscapes complex within small watershed for 50-year term the authors received quantitative parameters of linear trends element hydrological ecosystems composing watershed that allowed them concluding that the climate change influences most of all upon precipitation, run off and marsh evaporation.

Современное потепление климата вызывает разнообразные эффекты во всех природных процессах и сферах человеческой деятельности. Указанное обстоятельство вызвало к жизни многочисленные исследования. Выполнены количественные оценки влияния изменения климата на эмиссию углекислого газа из пашни [1], водное хозяйство [2], агроклиматические условия и урожайность сельскохозяйственных культур [3,4], характеристики отопительного сезона [5] и т. д. Особенно многочисленными являются исследования по изменению гидрологических и метеорологических показателей. Изучается влияние современного потепления на продолжительность залегания, сроки установления и схода снежного покрова [6], ледовые явления на реках [7], гидрологический режим и водный баланс озер [8] и др. Особую актуальность представляют исследования по динамике элементов водного баланса речных бассейнов, так как именно структура водного баланса определяет водные ресурсы территории, следовательно, и потенциальные условия хозяйственной деятельности.

В этой связи большой интерес представляют работы [9, 10-12], где рассматривается влияние изменения климата на осадки, сток и испарение с различных угодий (пашня, луг, лес, болото и др.) применительно к бассейну Волги. Исследователи отмечают неоднозначный характер многолетних колебаний воднобалансовых элементов как по территории, так и по ландшафтам. В целом наблюдается уменьшение осадков, испарения и стока для северной части бассейна Волги и увеличение для южной.

Для Обь-Иртышского бассейна подобные исследования нам не известны. Поэтому представляется актуальной оценка многолетней динамики тепловых и водных ресурсов на этой территории, а также ход составляющих водного баланса различных ландшафтных комплексов, слагающих речной водосбор.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований был принят малый речной водосбор в бассейне Иртыша. Это водосбор его правого притока — р. Аремзянки, протекающей близ г. Тобольска. Выбор этого водосбора обусловлен тем, что для его территории имеется необходимый для анализа объем информации. Ряд наблюдений за стоком составляет более 50 лет (с 1946 г.) и метеоданными по ближайшей метеостанции Тобольск более 100 лет (с 1894 г.). Кроме того, бассейн р. Аремзянка входил в состав программы Международного гидрологического десятилетия, для его территории в 1998 г. нами был выполнен ландшафтно-гидрологический анализ [13].

Длина р. Аремзянка до створа д. Чукманка составляет 46 км, площадь водосбора 478 км². Территория водосбора в основном занята лесами (69%) и болотами (23%). Площадь пашни невелика и равна 33,8 км² или 7% территории. Среднегодовой расход равен 1,77, максимальный — 31,5 м³/с. Согласно работе [13], на территории водосбора выделяются 9 стокоформирующих комплексов (СФК) (табл. 1).

Для каждого такого выдела за период с 1946 по 1995 г. были рассчитаны ежегодные значения основных элементов водного баланса: осадков, стока и испарения.

Годовое количество осадков для каждого СФК рассчитывалось по формуле:

$$KX_{год} = S + X, \quad (1)$$

где S — запасы воды в снеге на конец зимы, X — величина исправленных жидких осадков за теплый период (апрель-октябрь).

Таблица 1

Количественные характеристики стокоформирующих комплексов водосбора р. Аремзянка

№ СФК	Угодье	Тип почвы	Мех состав почвы	Площадь, км ²	Уклон, %
1	Пашня	Подзолистые	Лег. суглинок	31,15	19,6
2		Луговые	Лег. суглинок	2,61	10,0
3	Луг пойменный	Луговые	Сред. суглинок	0,35	10,0
4	Луг суходольный	Подзолистые	Сред. суглинок	1,82	10,0
5		Подзолистые	Лег. суглинок	2,03	10,0
6	Лес	Луговые	Лег. суглинок	41,64	8,7
7		Подзолистые	Сред. суглинок	91,59	5,8
8		Подзолистые	Лег. суглинок	196,21	12,9
9	Болото	Болотные	Торфяник	110,6	5,3

Максимальные снегозапасы на конец зимы определялись для поля (пашня, луг суходольный, луг пойменный) и леса по данным стандартных снегосъемок, для болота рассчитывались по методике, приведенной в работе [14]. Жидкие осадки принимались для всех СФК одинаковыми.

Величина годового стока рассчитывалась в два этапа. Сначала были определены значения слоя стока весеннего половодья. Использовались основные формулы [14]: для суходольных СФК

$$\eta_c = \frac{a}{\sqrt[3]{1 + \left[b \frac{W_c - MГ}{ПВ - MГ} \right]^{-3m}}}, \quad (1)$$

для заболоченных СФК

$$\eta_b = a - \frac{a - \eta_c}{\sqrt[3]{1 + (3,7/h_{кр})^5}}, \quad (2)$$

где η_c — коэффициент стока суходольных СФК; a — параметр, характеризующий поверхностную емкость водосбора; m, b — параметры, зависящие от глубины промерзания почвы. η_b — коэффициент стока заболоченных СФК, h — средний уровень грунтовых вод за период весеннего стока, м; $h_{кр}$ — критический уровень грунтовых вод, когда прекращается их заметное влияние на влагозапасы активного слоя почвы, м.

Значение параметра a в формулах (1-2) определяется по выражению:

$$a = 1 - \frac{q \exp[-0.027i]}{\sqrt[3]{1 + \left(\frac{30}{F} \right)^3}}, \quad (3)$$

где i — уклон СФК, д; F — площадь СФК, км².

Значения остальных числовых параметров, входящих в формулы (1-2) приведены в работе [13]. В этой же работе приведены данные по расчету слоя стока весеннего половодья с каждого СФК для среднемноголетних условий и определены коэффициенты фильтрации почв.

Используя основные формулы (1-3) и полученные в работе [13] коэффициенты фильтрации, выполнен расчет слоя весеннего стока конкретного года с каждого СФК. Затем был определен суммарный сток ρ . Аремзянка этого года в замыкающем створе путем средневзвешенного суммирования. Рассчитанная величина суммарного стока сравнивалась с фактической. Если она отличалась от измеренного фактического значения, то, меняя параметр q в формуле (3), добивались совпадения рассчитанных и фактических значений с точностью до 0,01 мм. В результате для каждого года всего 50-летнего ряда наблюдений были получены значения слоя стока весеннего половодья с каждого из 9 выделенных на водосборе СФК.

Для определения значений годового стока с каждого стокоформирующего комплекса была построена зависимость слоя годового стока в замыкающем створе от величины слоя весеннего стока. Связь характеризуется коэффициентом корреляции $r=0,89$ и выражается уравнением

$$h_{год} = 7,15 h_b^{0,68}, \quad (4)$$

где $h_{год}$ — слой годового стока; h_b — слой весеннего стока.

По уравнению (4) были рассчитаны значения годового стока для всех 9 стокоформирующих комплексов водосбора ρ . Аремзянка.

Годовое испарение с каждого СФК определялось по уравнению водного баланса

$$Z = KX - h_{\text{год}} \pm \Delta W, \quad (5)$$

где Z — суммарное испарение; ΔW — изменение влагозапасов активного слоя почвы.

Изменение влагозапасов ΔW рассчитывалось по методу ГКР В. С. Мезенцева [15]. При этом за начало расчетов принималось 1 ноября — начало холодного периода и установления устойчивого снежного покрова. Затем делался шаг до 1 мая и далее до 1 ноября следующего года расчет велся ежемесячно. Таким образом, изменение влагозапасов активного слоя почвы за каждый год каждого СФК определялось по уравнению

$$\Delta W = NB(V_{n(1.11)} - V_{n+1(1.11)}), \quad (6)$$

где NB — наименьшая влагоемкость активного слоя почвы; $V_{n(1.11)}$, $V_{n+1(1.11)}$ — влажность активного слоя почвы в долях наименьшей влагоемкости на 1 ноября текущего и следующего года.

При расчете годовой величины суммарного испарения по формуле (5) допускается, что значение влагозапасов на 1 ноября равно влажности почвы на начало года (1 января). Такое допущение следует считать правомерным, так как в зимний период изменение влагозапасов на данной территории за счет атмосферы незначительно.

Результаты и их обсуждение

Для оценки динамики изменения элементов водного баланса стокоформирующих комплексов водосбора р. Аремзянка сначала был выполнен анализ режима ресурсов тепла и влаги, как основных факторов формирования элементов гидрологического цикла.

Общее увлажнение территории согласно [15] может быть представлено в виде суммы годовых осадков и изменения влагозапасов активного слоя почвы

$$R = KX + W_1 - W_2 \quad (8)$$

Теплоэнергетические ресурсы климата характеризуются годовой величиной максимально возможного испарения (Z_m). Эти две гидролого-климатические характеристики определяют структуру водного баланса территории, водные ресурсы и условия функционирования природных и природно-хозяйственных комплексов.

Многолетний ход показателей ресурсов тепла и влаги представлен на рис. 1

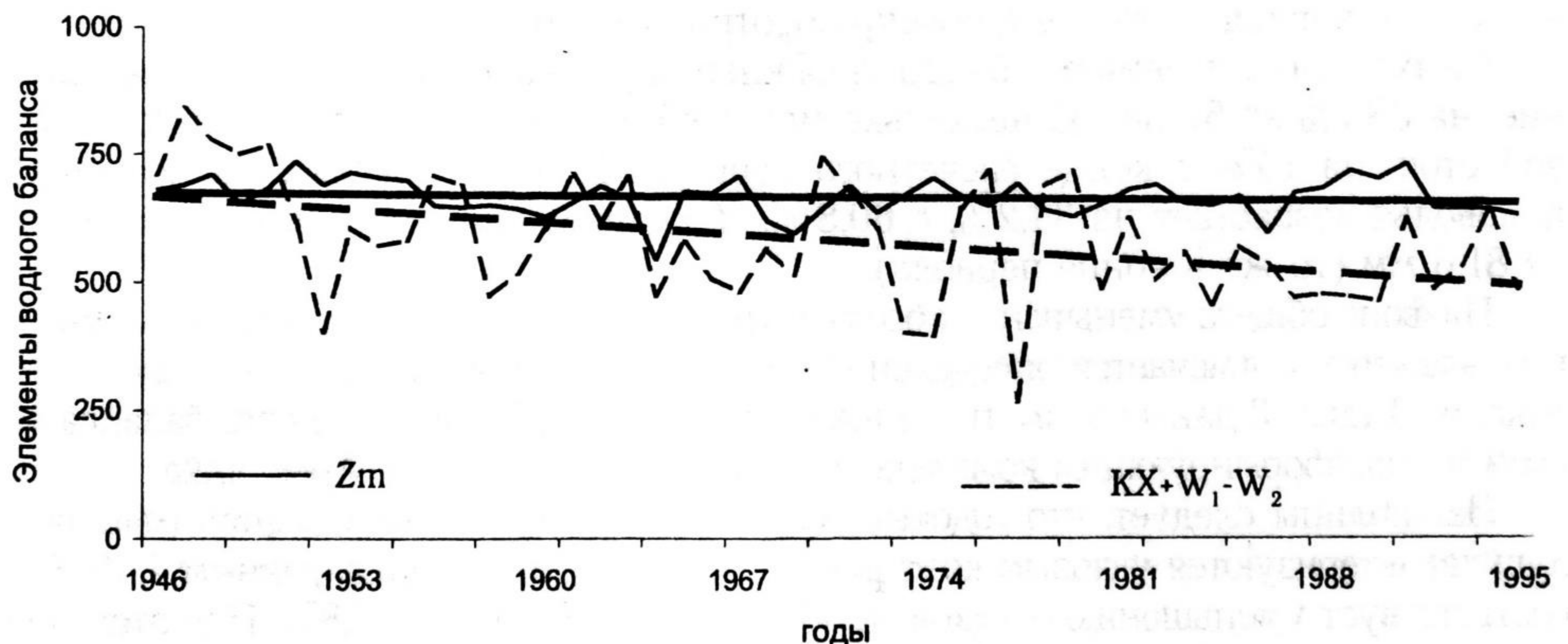


Рис. 1. Многолетний ход ресурсов тепла и влаги бассейна р. Аремзянка

Как следует из рис. 1, наблюдается отчетливый отрицательный тренд в ходе рассматриваемых показателей. Параметры линейного тренда сведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры линейного тренда ($y=ax+b$) ресурсов тепла и влаги, а также основных элементов водного баланса водосбора р. Аремзянка (1946-1995 гг.)

Показатель	a	b
Максимально возможное испарение, Z_m	-0,24	669
Общее увлажнение, R	-3,59	671
Годовые осадки, КХ	-3,69	676
Годовой сток, Y	-0,25	124
Изменение влагозапасов, ΔW	-0,26	7,06
Испарение, Z	-3,7	559

Из табл. 2 видно, что снижение уровня общего увлажнения является более значительным, чем максимально возможного испарения. Если за 10 лет тепло-энергетический эквивалент — максимально возможное испарение уменьшается в среднем на 2,4 мм, то общее увлажнение — на 35,9 мм. В целом за рассматриваемый период максимально возможное испарение снизилось в среднем на 1,8%, а общее увлажнение на 26,8%. Таким образом, изменения в структуре водного баланса рассматриваемого бассейна в основном связаны со значительным падением уровня общего увлажнения территории.

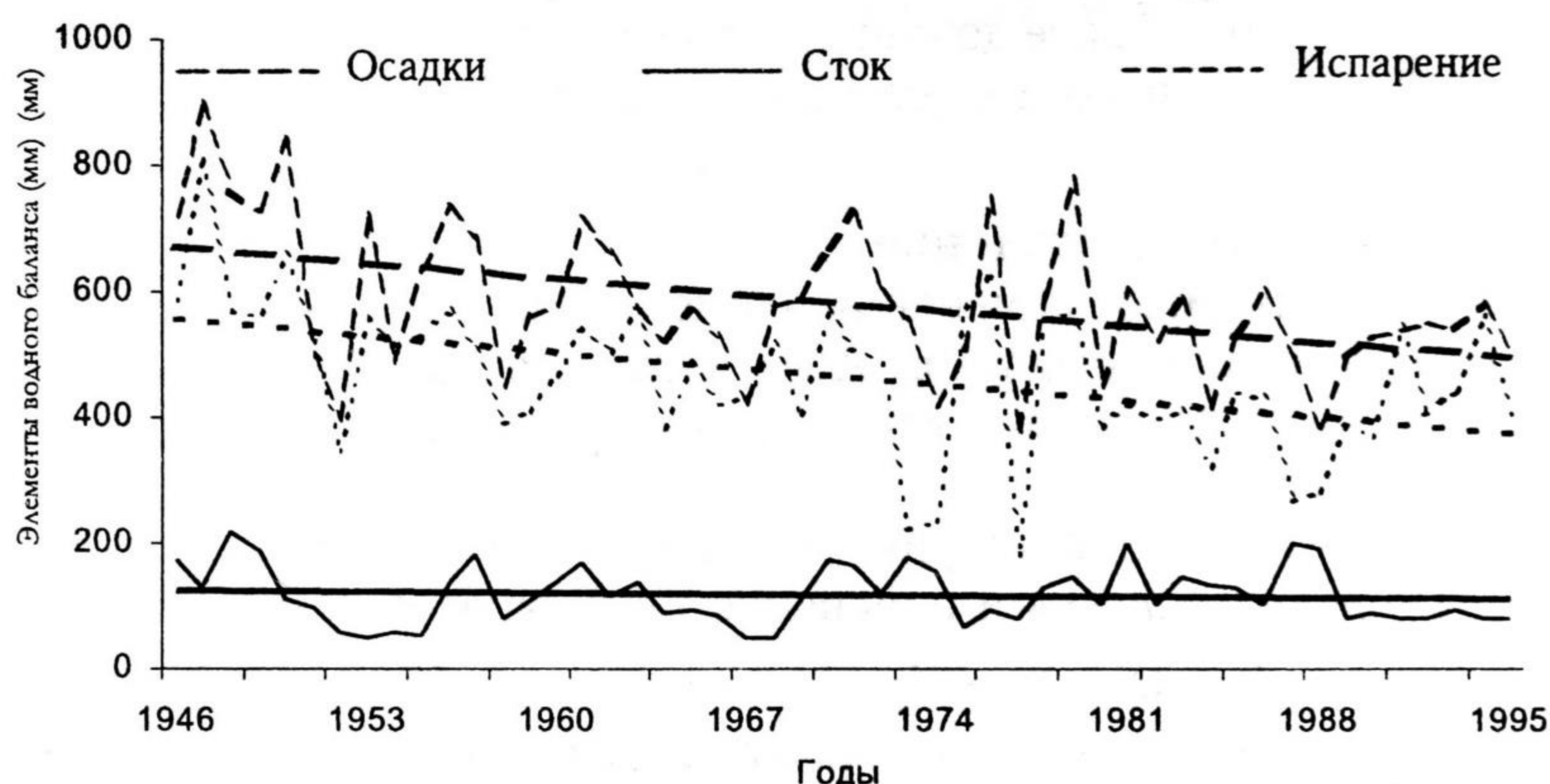


Рис. 2. Многолетний ход основных элементов водного баланса водосбора р. Аремзянка (1946-1995 гг.)

В ходе основных воднобалансовых элементов водосбора р. Аремзянка по всем составляющим также доминирует отрицательный тренд (рис. 2, табл. 2)

Синхронно с падением общего увлажнения уменьшается суммарное испарение: на 33,1% за 50 лет. С несколько меньшей интенсивностью снижается годовой сток: на 10% в конце расчетного периода. В то же время сток весеннего половодья возрастает на 34,2%, с 60,8 мм (среднее значение в начале периода) до 81,6 мм (то же в конце периода).

На фоне общего уменьшения абсолютных величин всех основных воднобалансовых элементов отмечается определенная дифференциация по ландшафтным комплексам. В табл. 3 даны параметры линейных трендов элементов водного баланса по всем 9 стокоформирующим комплексам, слагающих водосбор р. Аремзянка.

Из таблицы следует, что годовые осадки для открытых ландшафтов (пашня и луг) характеризуются угловым коэффициентом линейного тренда, равным 2,55. Это соответствует уменьшению осадков за 50 лет на 127,5 мм или 23,8%. При этом для снегозапасов, являющихся составной частью годовых осадков, угловой коэффициент равен незначительной величине, соответствующей уменьшению снегозапасов всего на 4,5 мм (3,7%) за 50 лет. Иначе говоря, запасы воды в снеге в течение рассматриваемого периода практически не изменяются. Падение величины годовых осадков происходит за счет теплого периода, когда они выпадают в жидком виде.

Величина годового стока для открытых ландшафтных комплексов так же уменьшается, но интенсивность его снижения зависит от природных особенностей каждого СФК. Незначительно (всего на 3%) сток уменьшается для пашни на подзолистых почвах (СФК № 1) и луга пойменного. В то же время для остальных открытых СФК снижение годового стока составляет от 8,7% (пашня на луговых почвах) до 12,3% (луг суходольный на подзолистых почвах). Для всех открытых СФК отмечается так же снижение весеннего стока, но с меньшей интенсивностью. Абсолютно синхронно с падением величины жидких осадков отмечается снижение годовой величины суммарного испарения. По всем рассматриваемым ландшафтным комплексам (СФК №1-СФК №5) угловые коэффициенты линейного тренда испарения отличаются от таковых для осадков незначительно. В общем, снижение испарения изменяется от 36,4% (луг пойменный) до 31,4% (луг сухо-дольный на подзолистых почвах). В качестве примера на рис. 3 приведен ход основных элементов водного баланса стокоформирующего комплекса №1 (пашня на подзолистых легкосуглинистых почвах).

Что касается лесных ландшафтных комплексов (СФК № 6-8), занимающих 69% площади водосбора р. Аремзянки, то многолетний ход воднобалансовых элементов этих выделов несколько отличен от открытых СФК. Здесь так же отмечается значительное снижение годовой суммы осадков (до 27%), но в это уменьшение более заметный вклад вносят снегозапасы. В лесу снижение запасов воды в снеге за 50 лет составляет 25,5 мм или 18,9%. В то же время годовой сток с территории СФК № 6, 7 возрастает на 7,5-12 мм, а с площади стокоформирующего комплекса №8 (лес на подзолистых легкосуглинистых почвах) снижается на 14,5 мм (11,9%). В свою очередь аналогичные тенденции отмечаются для весеннего стока. Он возрастает на 7,5-9 мм (15,2-10,7%) для СФК № 6, 7 и снижается на 20% в лесу на подзолистых легкосуглинистых почвах.

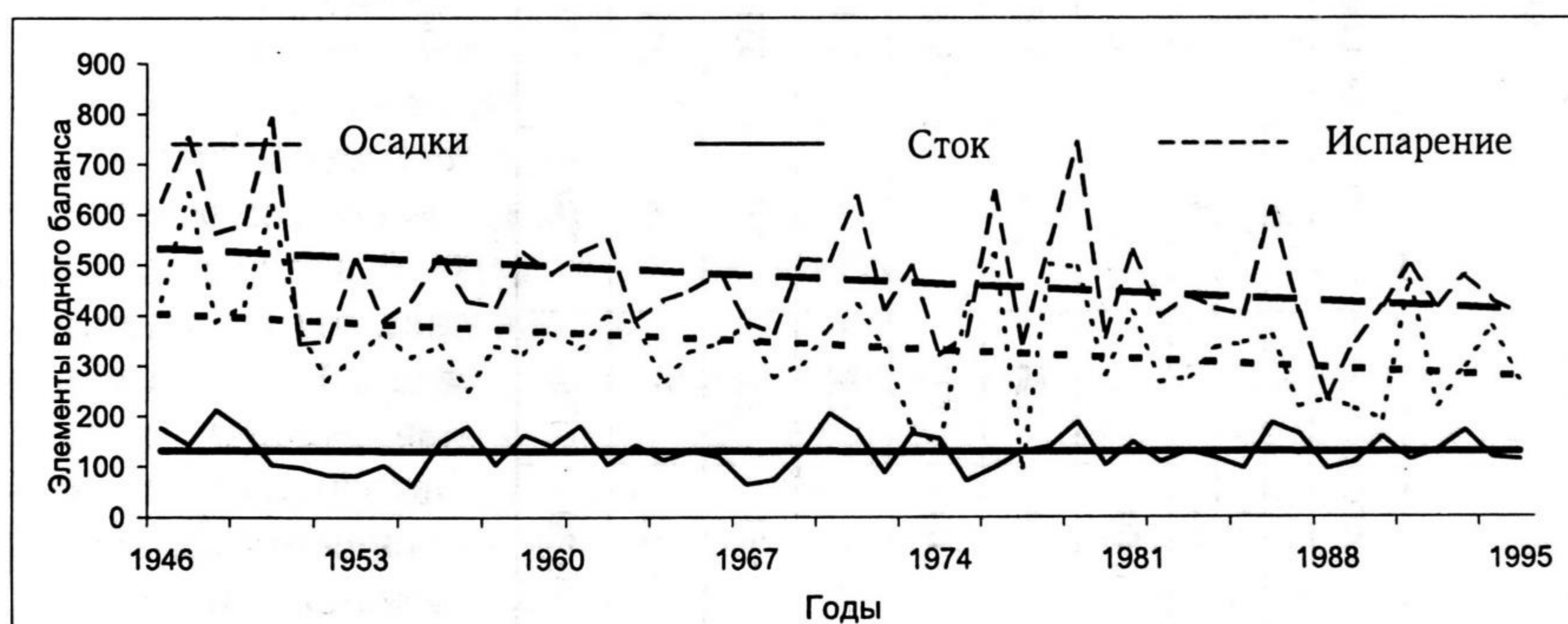


Рис. 3. Ход элементов водного баланса СФК 1 (пашня)

Испарение с лесных СФК снижается на более значительную величину, чем с открытых ландшафтов. В среднем в конце расчетного периода это снижение составляет 146,5-173,5 мм (33,7-38,4%).

Стокоформирующий комплекс № 9, представленный болотными микроландшафтами является вторым по площади выделом изучаемого водосбора. Он занимает 110,6 км², или 23,1%. В динамике годовых осадков и снегозапасов здесь сохраняются те же тенденции, что и для вышерассмотренных ландшафтных комплексов. Снижение снегозапасов составляет 15 мм (9%), а годовых осадков 14,3 мм (24,4%). Наряду с этим отмечается значительное возрастание годового и весеннего стока. Увеличение годового стока равно 39,5 мм (43,4%), а весеннего 28,5 мм (59,7%). Однако, суммарное испарение снижается к концу расчетного периода на 39%. Ход воднобалансовых элементов болота представлен на рис. 4.

Таблица 3

Параметры линейного тренда ($y=ax+b$) элементов водного баланса стокоформирующих комплексов водосбора р. Аремзянка 1946-1995 г.

№ п/п	Стокоформирующие комплексы	Снегозапасы		Годовые осадки		Годовой сток		Весенний сток		Изменение влагозапасов		Испарение	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1	Пашня (подзолистые)	-0,09	121	-2,55	536	-0,08	132	-0,06	72	-0,25	6,71	-2,57	406
2	Пашня (лугов. лег.сугл.)	-0,09	121	-2,55	536	-0,29	166	-0,27	110	-0,26	6,90	-2,51	377
3	Луг пойменный (лугов. среднесуглинистые.)	-0,09	121	-2,55	536	-0,08	172	-0,05	116	-0,23	6,08	-2,70	371
4	Луг суходольный (подзолистые сред.сугл.)	-0,09	121	-2,55	536	-0,30	167	-0,27	112	-0,23	6,46	-2,54	378
5	Луг суходольный (подзолистые легк.сугл.)	-0,09	121	-2,55	536	-0,41	166	-0,38	110	-0,25	6,71	-2,37	377
6	Лес (луговые легкосуглинистые)	-0,51	135	-2,97	551	0,15	122	0,15	70	-0,26	6,90	-3,38	435
7	Лес (подзолистые средне-суглинистые)	-0,51	135	-2,97	551	0,24	107	0,18	60	-0,26	7,06	-3,47	451
8	Лес (подзолистые легко-суглинистые)	-0,51	135	-2,97	551	-0,29	122	-0,25	71	-0,25	6,71	-2,93	435
9	Болото (болотные, торфяник)	-0,30	167	-2,86	587	0,79	91	0,57	48	-0,29	7,8	-3,94	504

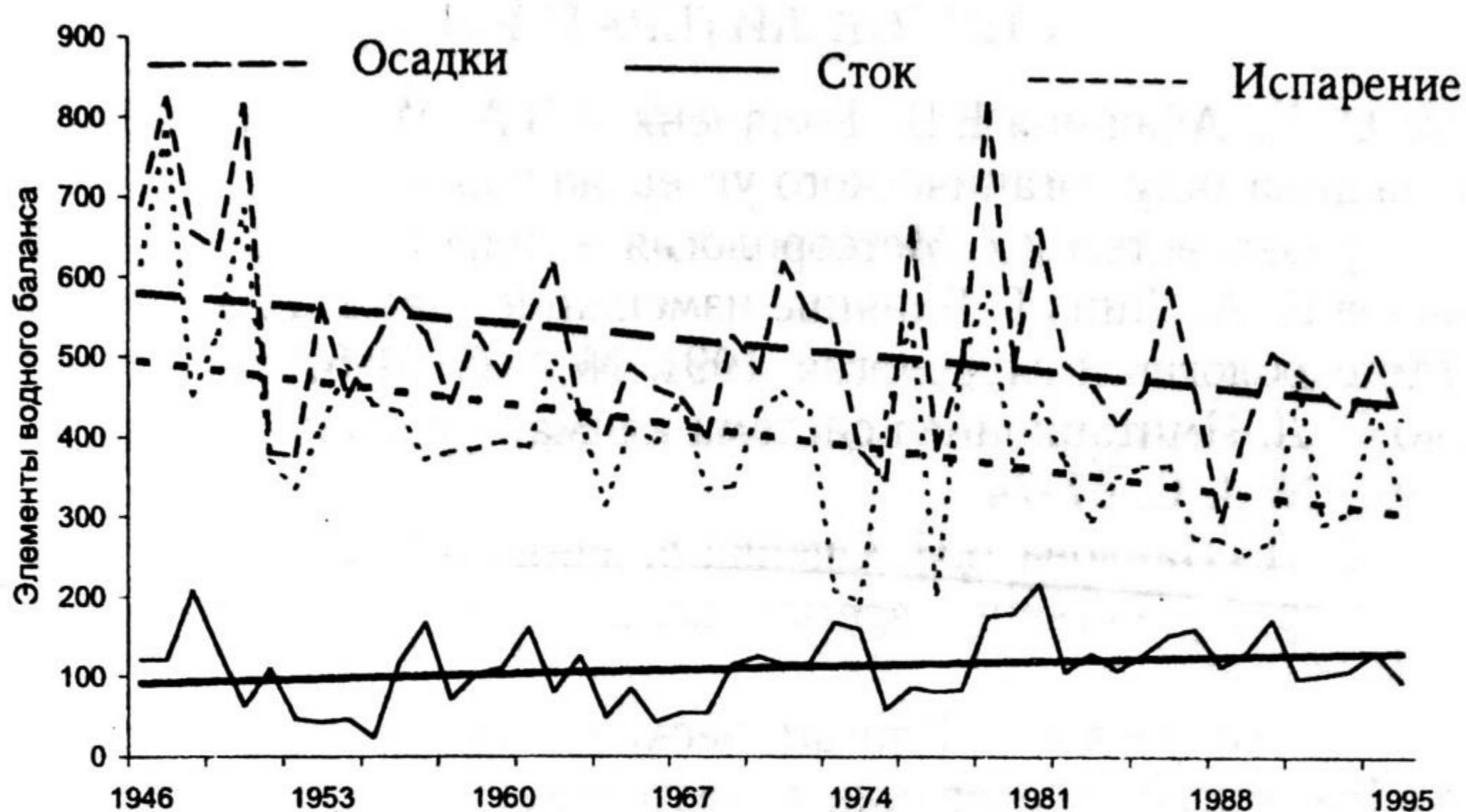


Рис. 4. Ход элементов водного баланса СФК 9 (болото)

Лесные ландшафтные комплексы, а также болото занимают основную часть (92%) водосбора р. Аремзянка. Вследствие этого именно эти выделы определяют интегральные (в замыкающем створе) гидролого-климатические характеристики. В целом для водосбора р. Аремзянка, по данным наблюдений Росгидромета и приведенному выше анализу, влияние глобального потепления климата проявляется в значительном снижении годовых осадков, незначительном уменьшении годового стока и в существенном увеличении стока весеннего половодья. Распределение суммарных показателей по водосбору показывает неоднозначный характер многолетнего изменения этих характеристик, определяемый особенностями каждого стокоформирующего комплекса, которые слагают исследуемый водосбор.

Выводы

1. Глобальное потепление климата оказывает влияние на основные элементы водного баланса малого водосбора. В течение 50-летнего периода (1946-1995 гг.) годовые осадки в бассейне р. Аремзянка снизились на 27,3%, годовой сток на 10%, суммарное испарение на 33,1%. В то же время сток весеннего половодья увеличился на 34,2% при общем снижении снеготпасов в поле на 3,7%, в лесу на 18,9%.

2. Общее снижение годовых величин всех основных составляющих водного баланса водосбора р. Аремзянка неоднозначно проявлялось в динамике этих показателей по его ландшафтным комплексам. Для открытых стокоформирующих комплексов (пашня, луг) снижение величины годовых осадков (на 23,8%) несколько меньше, чем в целом по водосбору. Годовой сток уменьшается с разной интенсивностью в зависимости от ландшафта. Наименьшее снижение (не более 3%) отмечается для пашни на подзолистых почвах и луга пойменного. Более интенсивное падение стока (8,7-12,3%) характерно для пашни на луговых почвах и луга суходольного на подзолистых. Для всех открытых геосистем отмечается существенное снижение суммарного испарения (31,4-36,4%).

3. В лесных геосистемах существенный вклад в уменьшение количества годовых осадков (на 27%) вносят снеготпасы, величина которых к концу расчетного периода падает на 18,9%. В то же время с территории СФК № 6, 7 на 7,5-12 мм возрастает годовой сток и соответственно на 7,5-9 мм — весенний. С площади, занятой лесом, на подзолистых легкосуглинистых почвах годовой и весенний сток снижаются на 11,9 и 20% соответственно. Суммарное испарение с лесных ландшафтных комплексов снижается более значительно (на 33,7-38,4%), чем с открытых геосистем.

4. Наиболее существенное влияние потепление климата оказывает на воднобалансовые характеристики болотных комплексов. Здесь годовой сток к концу расчетного периода возрастает на 43,4%, а весенний — на 59,7%. Снижение суммарного испарения достигает 197 мм (39%). Уменьшение годовых осадков и снеготпасов здесь менее значительно (24,4% и 9% соответственно), чем в лесных геосистемах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сиротенко О. Д., Абашина Е.В., Романенков В.А. Моделирование влияния изменений климата на динамику органического углерода в пахотных почвах, эмиссию CO₂ и продуктивность агроэкосистем // Метеорология и гидрология. 2005. № 8. С. 83-96.
2. Шикломанов И. А., Линз Г. Влияние изменений климата на гидрологию и водное хозяйство // Метеорология и гидрология. 1991. № 4. С. 51-67.
3. Сиротенко О. Д. Имитационная система климат-урожай СССР // Метеорология и гидрология. 1991, № 4. С. 67-74.
4. Сиротенко О. Д., Павлова В.Н. Оценка влияния изменения климата на сельское хозяйство методом пространственно-временных аналогов // Метеорология и гидрология. 2003. № 8. С. 89-99.
5. Андреев С. С., Андреев Е.С. Климатические характеристики отопительного периода в субъектах Российской Федерации в настоящем и будущем // Метеорология и гидрология. 2004. № 8. С. 46-53.
6. Локащенко М. А. Снежный покров и его современные изменения в Москве // Метеорология и гидрология. 2005. № 6. С. 71-83.
7. Гинзбург Г. М., Полякова К. Н., Солдатова И. И. Вековые изменения сроков появления льда на реках и их связь с изменениями климата // Метеорология и гидрология. 1992, № 12. С. 7-79.
8. Кондратьев С. А., Бовыкин И. В. Влияние возможных климатических изменений на гидрологический режим системы водосбор-озеро // Метеорология и гидрология. 2003, № 10. С. 86-97.
9. Борзенкова И. И., Лемешко Н. А. Водный баланс бассейна Волги в начале XXI века (на основе палеоклиматических сценариев) // Метеорология и гидрология. 2005. № 7. С. 52-61.
10. Голубев В. С., Сперанская Н. А., Цыценко К. В. К оценке суммарного испарения в бассейне Волги по данным режимных наблюдений на сети водно- и почвенноиспарительных станций // Метеорология и гидрология. 2002, № 4. С. 74-85.
11. Голубев В. С., Сперанская Н. А., Цыценко К. В. Суммарное испарение в бассейне Волги и его изменчивость // Метеорология и гидрология. 2003. № 7. С. 89-100.
12. Локащенко М. А. Климатические закономерности испарения в Москве // Метеорология и гидрология. 2005. № 4. С. 30-40.
13. Калинин В. М., Ларин С.И., Романова И. М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия (на примере Восточного Зауралья). Тюмень: Изд-во Тюменского ун-та, 1998. 220 с.
14. Калинин В. М. Ландшафтно-гидрологический анализ малых водосборов. Учебно-методические указания для студентов 2-5 курсов дневного отделения по специальности «Геоэкология». Тюмень: Изд-во Тюменского ун-та, 1999. 30 с.
15. Мезенцев В. С., Карнацевич И. В. Увлажненность Западно-Сибирской равнины. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 168 с.

*Александр Владимирович МАРШИНИН —
доцент кафедры социально-экономической
географии и природопользования,
кандидат географических наук*

УДК 911.5

ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИНСУЛЯРНЫХ ГЕОСИСТЕМ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ*

АННОТАЦИЯ. В статье охарактеризовано значение инсулярных геосистем для ландшафтно-экологической структуры и экологического каркаса территорий, рассмотрены типы инсулярных геосистем Тюменской области, факторы их дифференциации, ареалы распространения и типичные примеры.

* Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ МК-3036.2005.5)