



УДК 551.583

Признаки и последствия усиления динамики крупномасштабных гидрологических процессов в связи с изменением климата

В. В. Шамов (vlshamov@yandex.ru)

Аннотация. Анализируются отмечаемые многими исследователями признаки роста интенсивности влагооборота в условиях изменяющегося климата. На основе концепции специфических пространственно-временных масштабов процессов влагооборота делается вывод о закономерном возрастании пространственных масштабов и амплитуды короткопериодических колебаний этих процессов при возрастании удельных объемов воды в звеньях влагооборота. Данное обстоятельство, в частности, проявляется в виде наблюдаемого на обширных территориях роста вероятности экстремальных гидрометеорологических событий*.

Ключевые слова: влагооборот, изменение климата, речные бассейны, пространственно-временные связи, водный баланс.

Постановка проблемы

Интенсификация глобального влагооборота, наблюдаемая в последние десятилетия в виде тенденции роста удельных количеств воды во всех его звеньях, – а именно испарения, дренируемого стока и осадков, – становится предметом пристального внимания и дискуссий в связи с анализом и прогнозом глобальных изменений [13, 17, 18, 24, 28, 31]. Вместе с тем, наряду с региональными гидрологическими оценками климатических изменений [например, 16], а также анализом объективных причин глобальных изменений [например, 7], остается без внимания вопрос о том, как рост влагосодержания в системе глобального влагооборота отражается на наблюдаемых характеристиках динамики данной системы. Пространственно-временной аспект роста интенсивности водного цикла анализируется в настоящей статье с привлечением опубликованных результатов целого ряда исследований. Уточним, во избежание разночтений, что удельное количество воды в заданном звене влагооборота понимается как объем (или масса) воды, приходящийся на единицу времени на единицу площади. При-

* Автор выражает благодарность д-ру геогр. наук Б. И. Гарцману и рецензентам за участие в обсуждении проблемы, затронутой в статье, и высказанные в ходе обсуждения критические замечания.

рост удельного количества воды в гидросфере может быть оценен, к примеру, по обобщенной оценке прироста суммарного годового речного стока за период с 1960 по 1994 гг. [18], а именно $0,25 \text{ мм/год}^2$. При этом ошибка этой оценки в доверительном интервале 90 % по отдельным регионам (Европа, Южная Америка), согласно [32, 44], может достигать 100 % и более, что указывает на повышение общей вариации стока в системе мониторинга, характеризующейся практически неизменной пространственной структурой.

Метод исследования

Автору неизвестны модели, связывающие уровень содержания воды в тех или иных звеньях влагооборота с величинами частот колебаний влагосодержания и характеристиками распределения воды в географическом пространстве. Вместе с тем, результаты разномасштабных исследований водного баланса на суше позволяют, на наш взгляд, сделать вывод о наличии такой связи [11, 12]. Для этого были приняты в расчет три основные генетические формы континентального влагооборота: паро-капельный обмен, цикл испарения (эвапотранспирационный цикл) и цикл стока, анализируемые в работе [2] в связи с последовательным насыщением водой системы <водные массы – тропосфера – зона выветривания>.

Кроме того, нами были введены понятия специфических (характерных), или оптимальных пространственных и временных интервалов замыкания водного баланса заданного фрагмента географической оболочки [12].

К примеру, для такого воднобалансового объекта как речной бассейн, граница которого на картах земной поверхности достаточно просто идентифицируется линией водораздела, можно определить характерный линейный размер как квадратный корень из площади его водосбора [41]. Характерным временным интервалом (циклом водности) в динамике речного бассейна в зависимости от пространственного масштаба влагооборота может быть дождевой паводочный цикл, гидрологический год, многолетний цикл водности.

Условие *оптимальности* замыкания водного баланса означает минимальное значение переменного влагозапаса (остаточной емкости) в уравнении водного баланса, связывающего величины входных и выходных водных потоков на границах заданной области. Пространственная реализация оптимальности водного баланса при решении основных задач определяет устойчивую дифференциацию водных масс на суше – в виде иерархии речных бассейнов различного порядка и емкостей меньшего размера (табл.), а также, предположительно, в океане – систему устойчивых вихревых образований (циркуляций, gyres, modes), сравнительно однородных зон, регулярных течений. При этом каждому уровню бассейновой и суббассейновой иерархии соответствует «собственная», преимущественная пространственно-временная динамика, свои ритмы и симметрии.

Таблица

Типовые модели влагооборота в зоне достаточного увлажнения и интервалы оптимального замыкания водного баланса при исследовании различных воднобалансовых функций [11]

Исследуемая ВБ-функция	Ведущий процесс в системе		
	Паро-капельный обмен	Эвапотранспирация	Сток
Паро-капельный обмен	Гидрологический монолит Время: десятки минут (>> 1 мин) Расстояние: метры ÷ первые десятки метров (>> 1 см) нормально (1)	Сухой слой Время: секунды ÷ десятки секунд Расстояние: миллиметры ÷ сантиметры влажно (2)	Гидрофлуктуон Время: миллисекунды (<< 1 с) Расстояние: микрометры (<< 1 см) очень влажно (3)
Эвапо-транспирация	Сухой гидрологический склон Время: несколько суток ÷ первые десятки суток (>> 1 сут) Расстояние: первые тысячи метров (>> 500 м) сухо (4)	Гидрологический склон Время: около 1 суток Расстояние: сотни метров нормально (5)	Влажный гидрологический склон Время: первые часы (<< 1 сут) Расстояние: метры ÷ десятки метров (<< 500 м) влажно (6)
Сток	Большой речной бассейн Время: первые десятки лет (>> 1 года) Расстояние: сотни ÷ около тысячи километров (>> 100 км) очень сухо (7)	Средний речной бассейн Время: 0,5–3 года Расстояние: десятки ÷ первые сотни километров сухо (8)	Малый речной бассейн Время: несколько суток ÷ первые десятки суток (<< 1 года) Расстояние: километры ÷ первые десятки километров (<< 100 км) нормально (9)

На графике (рис. 1) дискретные серые пятна соответствуют системам влагооборота в бореальной зоне – зоне достаточного увлажнения (см. таблицу). Проекции этих пятен на оси графика представляют собой преимущественные, предпочтительные величины периодов (обратные значения наиболее вероятных частот) колебаний, T (с), и линейные размеры, X (м), ячеек влагооборота. Величины T и X характеризуют предпочтительную (наиболее вероятную) динамику этих систем и, очевидно, соответствуют различным уровням их водонасыщения, возрастающего в направлении слева направо вдоль линии графика до системы «малый речной бассейн» и далее убывающего в соответствии с географической зональностью. Промежуточные значения указанных переменных представляются нехарактер-

ными, маловероятными, размывающими естественные границы и циклическую структуру процессов влагооборота. Точки на графике – осредненные характерные интервалы замыкания водного баланса. Уравнение аппроксимации связи в заданном контексте можно записать как $\lg X \approx 0,004 \lg T$.

Мера тесноты связи $R^2 = 0,966$.

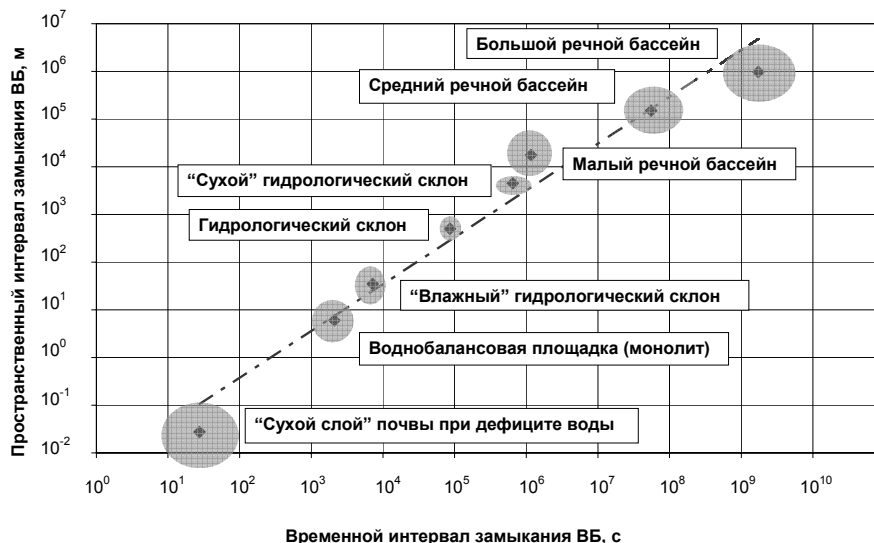


Рис. 1. Соотношение пространственных и временных интервалов замыкания водного баланса (ВБ) геосистем в зоне достаточного увлажнения

Очевидно, понятия предпочтительных, специфических интервалов замыкания водного баланса коррелируют с понятиями «горячих мест» (hot spots) и «горячих моментов» (hot moments), предложенные С. Уленбруком [47] для анализа гидрологических процессов на водосборах. И те и другие понятия связываются с сильно неоднородным распределением указанных процессов в пространстве и во времени. Это выражается в существовании «непропорционально активных» территорий (с линейными размерами X) и периодов времени (с размерами T) различного масштаба, в пределах которых данные процессы преимущественно протекают (*preferential flow behavior* – S. Uhlenbrook).

Типовые модели, обозначенные в таблице ячейками 1–3, характеризуют детальное описание гидрофизических процессов в почве, а также тонких (высокочастотных) процессов влагообмена в приземном слое воздуха.

Ряд типовых моделей в ячейках 4–6 и 9 в таблице соответствует связным однородным процессам формирования паводочного стока в рамках сравнительно небольших (малых) речных бассейнов – с площадью водосбора от нескольких до 1–2 тыс. км², а также с динамикой, отражающей смену синоптических циклов (в среднем 7–14 суток).

Типовые модели среднего и большого речных бассейнов могут быть использованы соответственно для оценок сезонного и климатического

водного баланса. Здесь на передний план выдвигаются крупномасштабные процессы паро-капельного обмена в тропосфере и в подстилающей толще зоны выветривания, сложенной породами различного возраста, пористости и водонасыщения.

В бассейнах великих рек (Амазонки, Енисея, Нила, Амура и др.) с линейными размерами площади водосбора порядка 1000 км и более гидрологические процессы представляются как дополнение к геологическим, геохимическим и биохимическим процессам субконтинентального и континентального масштаба [11]. Иными словами, потоки воды здесь следует рассматривать лишь наравне (в купе) с другими флюидами земных недр.

Результаты воднобалансовых исследований различного масштаба [11] позволяют принять существующую дискретную тесную связь $X \sim T$ (см. рис. 1). Эта связь отражает ковариантность пространственных и временных интервалов оптимального замыкания водного баланса для различных геосистем в зоне достаточного увлажнения, и, оказываясь близкой к линейной в логарифмических координатах, данная связь может быть аппроксимирована простым уравнением

$$X = T^\lambda, \quad (1)$$

где $\lambda \approx 0,004$.

Степенная функция соответствует модели параболического роста, когда скорость роста размеров X -системы оказывается обратно пропорциональной ее возрасту T [5], если принять уменьшение частоты влагооборота и нарастание линейных размеров систем влагооборота (например, речных бассейнов) как признак денудационного «старения» земной поверхности [например, 3]. Иначе это можно представить как процесс снижения удельного поступления влаги через поверхность некоего шара, условно моделирующего пространство, в котором происходит влагооборот. При этом данная поверхность нарастает по мере влагонасыщения объема шара. В пределах водообмена гидросферы с ближним космосом (как и с недрами планеты) пренебрежимо мал [8]. Признаком снижения удельного увлажнения по мере нарастания масштаба влагооборота является общее снижение модуля стока при переходе от малых речных бассейнов к большим.

Сказанное позволяет допускать величину скорости роста размеров системы зависимой от времени по закону, близкому к гиперболическому, когда скорость обратно пропорциональна возрасту T с коэффициентом пропорциональности λ .

В начальный момент времени $T = 1$ с скорость роста равна λ , при этом она близка к скорости вертикального переноса водяного пара в невозможной тропосфере (при минимальной адвекции тепла и влаги) [6, 10].

Кроме того, по данным о вертикальном распределении влагосодержания в атмосфере в слое 0–10 км [9] можно оценить среднюю многолетнюю скорость влагооборота атмосферных вод. С учетом того, что оценка влагосодержания земной атмосферы составляет 25 мм осаждаемой воды [4], а

средняя годовая сумма осадков для поверхности земного шара приближается к 1130 мм [1], то выходит, что влага в атмосфере в среднем обновляется 45 раз за 1 год. Это означает, что в 10-километровом слое атмосферы (проходя как минимум 20-километровый путь) вода циркулирует со скоростью 0,007 м/с. Данная приблизительная оценка близка к величине λ .

Далее, по мере «старения» земной поверхности и соответствующего усложнения структуры влагооборота, скорость роста пространства, в котором происходит оборот воды, снижается.

Результаты

Согласно кратко изложенной концепции устойчивое возрастание удельного количества воды в относительно замкнутой системе гидросферы должно привести в целом к сдвигу кривой, аппроксимирующей соотношение интервалов, в соответствии с ростом интенсивности влагооборота (рис. 2). Учитывая, что коэффициент пропорциональности λ характеризует тангенс угла наклона кривой, сдвиг в верхней ее части ожидается более значительным, чем в нижней.

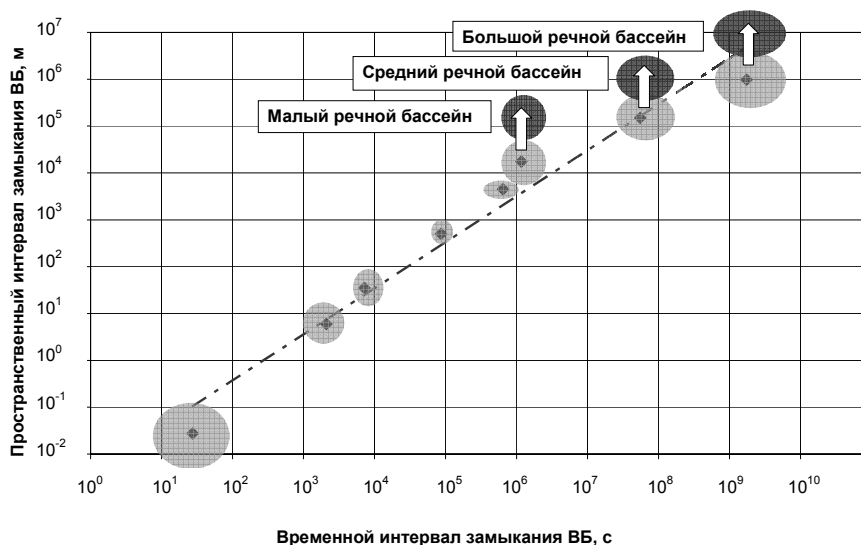


Рис. 2. Климатически обусловленный сдвиг соотношения оптимальных пространственных и временных интервалов замыкания водного баланса (ВБ) геосистем в зоне достаточного увлажнения

Темно-серые пятна (см. рис. 2) характеризуют предполагаемое соотношение интервалов в моделях речных бассейнов в условиях роста интенсивности влагооборота. Следует ожидать относительно резкое, скачкообразное расширение пространственных масштабов динамики возросшего количества воды при существенно меньших изменениях временных масштабов. При этом динамика элементов прежней бассейновой структуры земной поверхности характеризуется преимущественно меньшей частотой

и большей амплитудой колебаний удельной водности, в частности стока. Таким образом, нарушается условие стационарности разномасштабных процессов влагооборота.

Сформулированный вывод подтверждается целым рядом современных наблюдений и модельных расчетов.

Во-первых, частицы воды в изменившихся условиях должны в среднем проделать более длинный путь (передать более далекий сигнал) за прежнее время, сделав водный мир планеты (гидросферу) более тесно взаимосвязанным и взаимообусловленным. Усиление крупномасштабной атмосферной циркуляции, наблюдаемое после 1976 г. [46], а также формирование крупномасштабных атмосферно-океанических «мостов» [20] могут служить важными проявлениями этого процесса, по ряду признаков, уже неоднократно имевшего место в прошлом [14, 21].

Во-вторых, активный влагооборот захватывает (активирует) в среднем более глубокие слои земной коры и океана и более высокие слои атмосферы. Признаками этого могут, к примеру, являться зарегистрированный подъем тропопаузы в среднем по планете на 200 м над планетарной поверхностью за период с 1979 по 2001 г. [26], рост содержания водяного пара в стратосфере со скоростью 1 %/год за период 1954–2000 гг. [43], а также возрастающая роль глубинных океанических масс в меридиональной термохалинной циркуляции, поведение которой связывается с процессами в тропосфере (так называемые осцилляции) и стратосфере [37, 38, 45, 49] и с ростом объема притока пресных вод [42]. С другой стороны, приходят в движение «законсервированные» в толще мерзлотных пород и континентальных льдов источники воды, которые вовлекаются в современный глобальный влагооборот [25, 35], будучи сравнительно недавно, до «парниковой эпохи», говоря языком физики, за горизонтом глобальных гидрологических событий. При этом наблюдается тенденция нарастания толщины деятельного почвенно-грунтового слоя в приполярных областях северного полушария [33, 39].

В-третьих, по отношению к уже сформировавшимся пространственным структурам человеческого расселения и режимам хозяйствования становятся в целом более значимыми (интенсивными, обширными, длительными, вероятными) крупномасштабные гидрометеорологические процессы, которые приобретают характер катастрофических, что означает, иными словами, повышение вероятности ранее маловероятных экстремальных гидрологических событий. Это проявляется следующим образом:

а) наблюдается в среднем тенденция увеличения длительности, площади и глубины затопления пойм рек во время дождевых паводков, что вызвано преимущественно как ростом интенсивности глобального атмосферного увлажнения в целом, так и ростом интенсивности отдельных дождей/снегопадов [13, 15, 27, 29, 34]. Так, например, за счет нарушения стационарности процессов стока для 7 из 8 паводковых событий на шестнадцати крупных внетропических реках прежде (до 1975 г.) однопроцентная вероятность наступления этих событий к концу XX в. достигла 3,5 %. Для

рек с более короткими периодами наблюдений (т. е. для более недавних событий) расчеты показали «значительный рост» частоты паводков, характеризующихся «стационарной» обеспеченностью 0,5 % [27];

б) с другой стороны, с 1970-х гг. во многих регионах – особенно в Африке, Северной Америке, Европе, Центральной и Восточной Азии, восточной части Австралии – выявлено нарастание в среднем длительности и площади засух, которые приобретают сезонный и даже многолетний характер, на фоне роста амплитуды их временной изменчивости [17, 23, 34, 48];

в) одновременно увеличивается в среднем длительность лимитирующих (меженных, маловодных) периодов на реках, безусловно повышая риск загрязнения/отравления пресноводных и окраинно-морских экосистем и обостряя проблемы речного транспорта, водоснабжения и продовольственного снабжения;

г) в связи со всем этим для обеспечения водной безопасности населения принципиально и остро повышается необходимость создания многоцелевых водохозяйственных систем с более высокой степенью регулирования стока (степенью надежности), что в принципе требует значительных капиталовложений.

В-четвертых, как закономерное следствие активизации глобального влагоэнергооборота, следует ожидать возрастания вероятности существенных пространственных сдвигов в крупных наземных и морских экосистемах. Сложно вычленив эту связь из множества обусловленных глобальными изменениями сложных отношений в экосистемах – в первую очередь вызванных изменениями биогеохимических циклов, но, тем не менее, наблюдаются и прогнозируются крупномасштабные изменения типа растительного покрова на фоне роста продуктивности фитосистем [22, 40]. Имеются также убедительные результаты исследований крупномасштабных (макрорегиональных) изменений сообществ растений и животных, фенологические сдвиги и инвазии, связанные с глобальными климатическими изменениями [49]. Кроме того, прогнозируется климатически обусловленное пространственное перераспределение и сокращение численности видов у большого числа позвоночных и беспозвоночных животных в ряде регионов [19].

Выводы

Итак, можно говорить о существенном возрастании в целом пространственного масштаба и периодов колебаний значимых (экстремальных) гидрометеорологических явлений по отношению к унаследованным ландшафтными структурами и экосистемами. Это проявляется в виде роста неустойчивости и существенного изменения этих структур, сильной нелинейности процессов формирования жидкого и твердого стока и, следовательно, выражается в повышении природных и техногенных рисков в устоявшейся практике природопользования (включая строительство и эксплуатацию инженерных сооружений, сельское и лесное хозяйство, энергетику, транспорт).

Последнее обстоятельство имеет чрезвычайное значение с точки зрения обеспечения безопасности населения во многих аспектах и заслуживает специального анализа и серьезной постановки комплексных теоретических и экспериментальных исследований нестационарности и нелинейности гидроклиматических и геодинамических процессов.

Учитывая сказанное, уже недостаточным, хотя и не менее актуальным, представляется одна из общих рекомендаций, высказанная на международном симпозиуме «Вода и улучшение жизни человека в будущем» в адрес лиц, принимающих решения, – нужно быть готовым к росту колебаний гидрометеорологических характеристик в коротких и средних масштабах времени [30].

Список литературы

1. Будыко М. И. Водный баланс земного шара / М. И. Будыко, А. А. Соколов // Мировой водный баланс и водные ресурсы Земного шара. – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 638 с.
2. Гарцман И. Н. Некоторые проблемы системного подхода в гидрометеорологии // Тр. ДВНИГМИ. – Л. : Гидрометеоздат, 1976. – Вып. 54. – С. 3–47.
3. Докучаев В. В. Способы образования речных долин Европейской России // Докучаев В. В. Избр. тр. – М. : Изд-во АН СССР, 1949. – С. 6–248.
4. Дроздов О. А. Влагооборот в атмосфере / О. А. Дроздов, А. С. Григорьева. – Л. : Гидрометеоздат, 1963. – 314 с.
5. Жирмунский А. В. Критические уровни в развитии природных систем / А. В. Жирмунский, В. И. Кузьмин. – Л. : Наука, 1990. – 223 с.
6. Куликов Г. И. Влияние теплового потока на вертикальную скорость // Уч. зап. Перм. гос. ун-та. Гидрология и метеорология. – 1968. – Вып. 3. – С. 157–162.
7. Найденов В. И. Земные причины водных циклов / В. И. Найденов, В. И. Швейкина // Природа. – 1997. – № 5. – С. 19–30.
8. Орленок В. В. К расчету баланса эндогенных поступлений и фотолитических потерь земной гидросферы // Докл. АН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1191–1194.
9. Тимофеев Н. А. О вертикальном распределении абсолютной влажности воздуха и влагосодержания в атмосфере над океанами // Метеорология и гидрология. – 1979. – № 8. – С. 55–62.
10. Третьяков А. С. К расчету тепло- и влагообмена в приземном слое воздуха // Проблемы водных ресурсов Дальневосточного экономического региона и Забайкалья : всесоюз. науч.-практ. конф. : материалы. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – С. 222–227.
11. Шамоу В. В. Влагооборот на суше: системно-методологический и физико-геометрический анализ / В. В. Шамоу. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – 172 с.
12. Шамоу В. В. Связь функциональной и пространственно-временной структур влагооборота на суше // География и природные ресурсы. – 2002. – № 1. – С. 34–41.
13. Allen M. R. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle / M. R. Allen, W. J. Ingram // Nature. – 2002. – Vol. 419. – P. 224–232.
14. An Z. S. The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate // Quatern. Sci. Rev. – 2000. – Vol. 19. – P. 171–187.
15. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters / B. Wisner [et al.]. – Trowbridge, Wiltshire : Cromwell Press, 2004. – 471 p.

16. *Bradley A. A.* Regional frequency analysis methods for evaluating changes in hydrologic extremes // *Wat. Res. Res.* – 1998. – Vol. 34, N 4. – P. 741–750.
17. *Dai A.* Global variations in draughts and wet spells: 1900–1995 / A. Dai, K. E. Trenberth, T. R. Karl // *Geophys. Res. Lett.* – 1998. – Vol. 25, N 17. – P. 3367–3370.
18. Detection of a direct carbon dioxide effect in continental river runoff records / N. Gedney [et al.] // *Nature.* – 2006. – Vol. 439. – P. 835–838.
19. *Erasmus B. F. N.* Vulnerability of South African animal taxa to climate change / B. F. N. Erasmus, A. S. Van Jaarsveld, S. L. Chown // *Global Change Biology.* – 2002. – Vol. 8, Is. 7. – P. 679–693.
20. Extratropical control of recent tropical Pacific decadal climate variability: a relay teleconnection / L. X. Wu [et al.] // *Clim. Dynamics.* – 2007. – Vol. 28. – P. 99–112.
21. *Gasse F.* Hydrological changes in the African tropics since the Last Glacial Maximum // *Quatern. Sci. Rev.* – 2000. – Vol. 19. – P. 189–211.
22. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models / W. Cramer [et al.] // *Global Change Biology.* – 2001. – Vol. 7, Is. 4. – P. 357–373.
23. *Gregory G. M.* Summer drought in northern midlatitudes in a time-dependent CO₂ climate experiment / G. M. Gregory, J. F. B. Mitchell, A. J. Brady // *J. Climate.* – 1997. – Vol. 10. – P. 662–686.
24. *Huntington T. G.* CO₂-induced suppression of transpiration cannot explain increasing runoff // *Hydrol. Process.* – 2008. – Vol. 22. – P. 311–314.
25. Ice-sheet and sea-level changes / R. B. Alley [et al.] // *Science.* – 2005. – Vol. 310. – P. 456–460.
26. Identification of anthropogenic climate change using a second-generation re-analysis / B. D. Santer [et al.] // *J. Geophys. Res.* – 2004. – Vol. 109. – D21104.
27. Increasing risk of great floods in a changing climate / P. C. D. Milly [et al.] // *Nature.* – 2002. – Vol. 415. – P. 514–517.
28. Intensity of hydrological cycles in warmer climates / F. L. Yang [et al.] // *J. Climate.* – 2003. – Vol. 16. – P. 2419–2423.
29. *Knox J. C.* Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change // *Quatern. Sci. Rev.* – 2000. – Vol. 19. – P. 439–457.
30. *Lawford R.* Changes in water cycle associated with global change // *Water and Better Human Life in the Future. Proc. RIHN 1st Int. Sym., Nov. 6–8, 2006.* – Kyoto : RIHN Publ., 2006. – P. 17–28.
31. *Li Zh.* Impact of doubled CO₂ on the interaction between the global and regional water cycles in four study regions / Zh. Li, U. S. Bhatt, N. Mölders // *Clim. Dynamics.* – 2008. – Vol. 30. – P. 255–275.
32. *Milly P. C. D.* Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate / P. C. D. Milly, K. A. Dunne, A. V. Vecchia // *Nature.* – 2005. – Vol. 438. – P. 347–350.
33. *Nelson F. E.* Subsidence risk from thawing permafrost / F. E. Nelson, O. A. Anisimov, N. I. Shiklomanov // *Nature.* – 2001. – Vol. 410. – P. 889–890.
34. Observations: Surface and Atmospheric Climate Change / K. E. Trenberth [et al.] // *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* – Cambridge, N. Y. : Cambridge University Press, 2007. – P. 299–316.
35. *Oerlemans J.* Extracting a climate signal from 169 glacier records // *Science.* – 2005. – Vol. 308. – P. 675–677.
36. *Parmesan C.* A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems / C. Parmesan, G. Yohe // *Nature.* – 2003. – Vol. 421. – P. 37–42.
37. *Pierrehumbert R. T.* The hydrologic cycle in deep-time climate problems / R. T. Pierrehumbert // *Nature.* – 2002. – Vol. 419. – P. 191–198.

38. *Rahmstorf S.* Ocean circulation and climate during the past 120,000 years / S. Rahmstorf // *Nature*. – 2002. – Vol. 419. – P. 207–214.
39. Siberian Lena River hydrological regime and recent change / D. Yang [et al.] // *J. Geophys. Res.* – 2002. – Vol. 107, N D23, 4694. – P. 14–1 – 14–10.
40. Simulated and observed preindustrial to modern vegetation and climate changes / M. Notaro [et al.] // *J. Climate*. – 2005. – Vol. 18. – P. 3650–3671.
41. *Skøen J. O.* Catchments as space-time filters – a joint spatio-temporal geostatistical analysis of runoff and precipitation / J. O. Skøen, G. Blöschl // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* – 2006. – Vol. 10. – P. 645–662.
42. *Stocker T. F.* Rapid transitions of the ocean's deep circulation induced by changes in surface water fluxes / T. F. Stocker, D. G. Wright // *Nature*. – 1991. – Vol. 351. – P. 729–732.
43. Stratospheric water vapour increases over the past half-century / K. H. Rosenlof [et al.] // *Geophys. Res. Lett.* – 2001. – Vol. 28, N 7. – P. 1195–1198.
44. The impact of natural and anthropogenic forcings on climate and hydrology since 1550 / S. F. B. Tett [et al.] // *Clim. Dynamics*. – 2007. – Vol. 28. – P. 3–34.
45. The role of the thermohaline circulation in abrupt climate change / P. U. Clark [et al.] // *Nature*. – 2002. – Vol. 415. – P. 863–869.
46. *Trenberth K. E.* Interannual variability of the patterns of atmospheric mass distribution / K. E. Trenberth, D. P. Stepanyak, L. Smith // *J. Climatology*. – 2005. – Vol. 18. – P. 2812–2825.
47. *Uhlenbrook S.* Catchment hydrology – a science in which all processes are preferential // *Hydrol. Process.* – 2006. – Vol. 20. – P. 3581–3585.
48. *Verschuren D.* Rainfall and drought in equatorial east Africa during the past 1,100 years / D. Verschuren, K. R. Laird, B. F. Cumming // *Nature*. – 2000. – Vol. 403. – P. 410–414.
49. Warming of the World Ocean / S. Levitus [et al.] // *Science*. – 2000. – Vol. 287. – P. 2225–2229.

Features and effects of large-scale hydrological processes dynamics amplification due to a changing climate

V. V. Shamov

Abstract. The signs of magnification of the water cycle rate detected by numerous researchers are analyzed here in relation with a climate change. On the basis of concept of characteristic spatiotemporal scales for hydrological processes, there is concluded that, with climate-caused water content increase, in water cycle links the large-scale hydrological processes are to be more frequent and range-increased. Particularly, the latter appears as the large-scale extreme hydrometeorological events probability growth observed over vast areas.

Key words: water cycle, climate change, river basins, spatial-temporal relations, water budget.

Шамов Владимир Владимирович

кандидат географических наук

старший научный сотрудник

Институт водных и экологических проблем (ИВЭП) ДВО РАН

лаборатория гидрологии и гидрогеологии

680000, г. Хабаровск, ул. Ким-Ю-Чена, 65

тел.: (4212) 21-08-46