

УДК 551.5

## ГЛОБАЛЬНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО АРМЕНИИ

**Т.Г. Варданян**

Ереванский государственный университет, г. Ереван

В статье даны анализ и оценка влияния изменения климата на уязвимость и адаптацию речного стока и отдельные отрасли водного хозяйства на территории Армении.

Анализ риска негативных изменений водного хозяйства Армении рассмотрен в трех аспектах: предупреждение риска наводнений и селей; уязвимость надежности орошения и уязвимость надежности работы ГЭС.

**Ключевые слова:** *изменения климата, уязвимость стока рек, прогноз стока рек, адаптация водного хозяйства, предупреждение риска наводнений, уязвимость орошения, уязвимость работы ГЭС.*

Факт глобального потепления уже не вызывает сомнений. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) многолетняя среднегодовая температура воздуха на земном шаре в последнее столетие возросла на 0,8<sup>0</sup>С и продолжает повышаться [10].

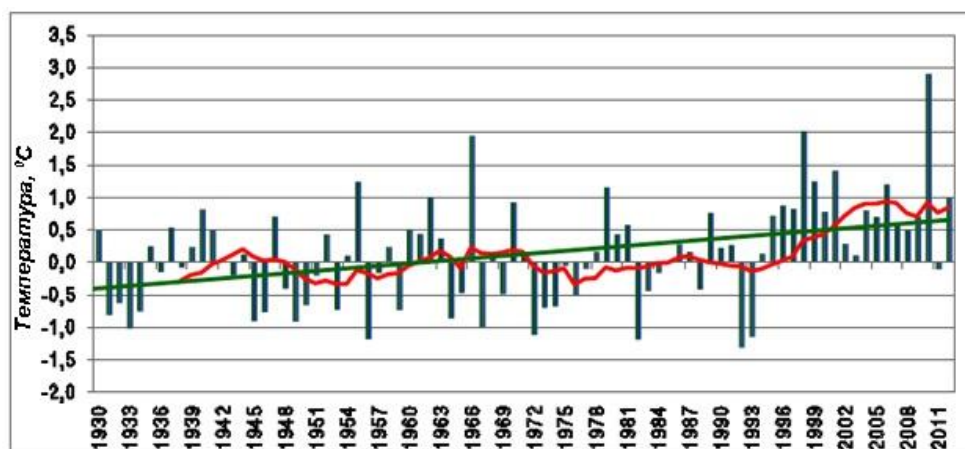
Изменения климата, в частности, влияют на величину и изменчивость водных ресурсов, качество воды. Количество и качество воды определяют возможность устойчивого развития любой страны, влияют на здоровье и уровень жизни населения. Их негативное изменение приводит к возрастанию уязвимости водных экосистем, к необходимости их адаптации к новым условиям существования, возрастанию затрат на защиту водных объектов от истощения, загрязнения и засорения.

Теперь, посмотрим каким изменениям подверглись температура воздуха и атмосферные осадки на территории Армении в последние 80 лет и как они повлияли на уязвимость речного стока.

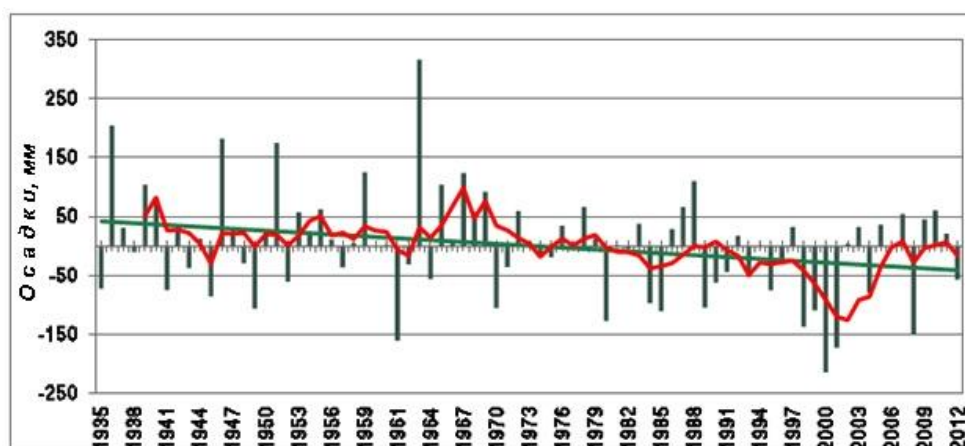
Согласно исследованиям [9], ход изменений температуры воздуха, который был составлен для 1935–1998 гг. на территории республики, наблюдалось повышение годовой температуры воздуха на 1,03<sup>0</sup>С (рис. 1) и уменьшение осадков на 10% (рис. 2).

Расчеты показали [1], что значения уязвимости стока рек Армении, полученные в результате применения трех типов моделей (осредненной, PRECIS, разработанной нами) существенно отличаются

друг от друга (табл. 1). В частности, значения уязвимости стока, рассчитанные по осредненной модели и модели PRECIS, намного ниже, чем при разработанной модели.



Р и с. 1. Отклонения среднегодовой температуры от нормы 1961–1990 гг. на территории Армении за период 1930–2012 гг.



Р и с. 2. Отклонения количества годовых осадков от нормы 1961–1990 гг. на территории Армении за период 1930–2012 гг.

## Прогноз стока рек Армении при разных моделях изменения климата

| Название модели      | Годы      | Сценарии изменения температуры, °С | Сценарии изменения осадков, мм | Сценарии изменения стока рек, % |
|----------------------|-----------|------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| <i>Осредненные</i>   | 2041-2070 | T + 2,4                            | 0,95P                          | -15,5                           |
| <i>PRECIS</i>        | 2041-2070 | T + 2,7                            | 0,94P                          | -16,8                           |
| <i>Разработанные</i> | 2050-2075 | T + 2,0                            | 0,9P                           | -18,9                           |
| <b>Среднее</b>       |           |                                    |                                | <b>-17,1</b>                    |

Таким образом, максимальное изменение стока воды (–18,9%) ожидается при третьем сценарии.

Водные ресурсы обладают высокой чувствительностью к изменению климата, поэтому необходимо произвести корректную оценку трансформации водных ресурсов в условиях изменяющегося климата, разработать соответствующие сценарии их уязвимости и меры по адаптации хозяйственной деятельности к новым гидрометеорологическим условиям.

Уязвимость той или иной системы характеризуется как внешними аспектами, которые находят отражение в ее подверженности изменению и изменчивости климата, так и внутренними аспектами, которые находят отражение в ее чувствительности к этим факторам и способности к адаптации. Высоко уязвимая система – это та система, которая весьма чувствительна к незначительным изменениям климата, где чувствительность включает потенциал для существенных негативных эффектов и способность которой справиться с ними ограниченная.

Стратегия адаптации, следовательно, направлена на снижение степени уязвимости, что включает повышение адаптивного потенциала.

Существует целый ряд определений термина «адаптация к изменению климата». Согласно принятой терминологии МГЭИК адаптация – это «приспособление естественных или антропогенных систем в ответ на фактическое или ожидаемое воздействие климата или его последствия, которое позволяет уменьшить вред или использовать благоприятные возможности». То есть меры по адаптации могут быть

направлены как на снижение климатических рисков, так и на извлечение потенциальных выгод от изменения климата.

Многие системы управления водными ресурсами могли бы извлечь выгоды из проведения мер адаптации, которые повышают их гибкость в отношении гидрологической изменчивости при современных климатических условиях. Планирование этих мер должно учитывать степень будущей уязвимости.

Меры, принятые в порядке повышения нынешней способности справиться с ситуацией, вероятно могут привести также и к снижению будущей уязвимости.

Уязвимость характеризуется не только физическими аспектами, но и географическими, социальными, экономическими, экологическими и психологическими факторами, которые необходимо принимать во внимание. Физическая уязвимость относится к данному уровню чувствительности окружающей среды и может быть описана термином «подверженность».

Природные системы различных бассейнов будут по-разному реагировать на одну и ту же степень изменения климата, что в значительной степени зависит от физико-географических, гидрологических и гидрогеологических характеристик, таких как запас воды в озере или в подземных водах трансграничного водосбора.

Таким образом, оценка уязвимости должна осуществляться на уровне бассейна. Многие трансграничные бассейны, которые уже находятся под воздействием не климатических факторов, скорее всего окажутся в состоянии еще большего стресса из-за их уязвимости к изменению климата. Особое значение имеет уязвимость к изменению климата дорогостоящих объектов инфраструктуры (таких как, например, дамбы, плотины, водозаборные сооружения и трубопроводы), которые должны служить в течение десятилетий, но проектировались исходя из предположения неизменяемых климатических условий. Экосистемы способны сами приспосабливаться к некоторому уровню изменения путем так называемого процесса автономной адаптации.

Вместе с тем ключевой проблемой является то, будет ли устойчивость экосистемы достаточной, чтобы выдержать очень быстрое будущее антропогенное изменение климата, сочетаемое с другими факторами стресса, такими как рост численности населения, изменения в моделях потребления, обнищание и т. д. Так или иначе, изменение климата изменит характер функционирования экосистем и их способность оказывать те услуги, от которых зависит общество.

Оценка уязвимости определяет конкретные места, группы людей, секторы и экосистемы, которые подвергаются наибольшему риску, источники их уязвимости и пути снижения или исключения риска. Следовательно, при проектировании и определении мер адаптации

исключительно важное значение приобретает работа по выявлению регионов и групп населения, которые подвергаются наибольшему риску, и работа по оценке источников и причин уязвимости. Это покажет приоритеты адаптации и поможет лицам, определяющим политику на различных уровнях, решить, где и когда осуществлять вмешательство.

Единой методологии оценки уязвимости «на все случаи жизни» не существует. Она должна быть приспособлена к задачам оценки и предназначаться для целей управления водными ресурсами и водохозяйственными услугами специфического бассейна.

Анализ риска негативных изменений водного хозяйства Армении рассмотрен в трех аспектах: *предупреждение риска наводнений и селей; уязвимость надежности орошения и уязвимость надежности работы ГЭС.*

***Предупреждение риска наводнений и селей.*** Разнообразные климатические и не климатические процессы способствуют наводнениям, результатом чего являются паводки на реках, внезапные паводки, наводнения в городах, разливы сточных вод, затопления после прорыва ледниковых озер и т. п.

К процессам, вызывающим наводнения, относятся интенсивные и/или продолжительные осадки, таяние снега, прорыв плотин, снижение пропускной способности русел из-за ледяных заторов или оползней, а также шторма. Наводнения зависят от интенсивности, количества, времени и формы выпадения (снег или дождь) осадков и предшествующих условий на реках и в их дренажных бассейнах (например, наличие снега и льда, характер и состояние почвы (мерзлая или не мерзлая, насыщенная или ненасыщенная), влажность, скорость и сроки таяния снега и льда, урбанизация, наличие дамб, плотин и водохранилищ).

Вторжение человека на территорию пойм и отсутствие планов реагирования на паводки увеличивают потенциальные возможности для ущерба. Наблюдаемый рост интенсивности осадков и другие наблюдаемые изменения климата, синоптические систематические ситуации в зимний период в Европе, ведущие к формированию очень дождливых областей низкого давления, которые часто становятся причиной наводнений [11], показывают, что, возможно, изменение климата уже оказало влияние на интенсивность и частоту наводнений.

В Резюме для политиков «Четвертый доклад об оценке (ДО4) Рабочей группы I» [2] сделан вывод, что, вероятно, частота выпадения сильных осадков в конце XX века возросла в большинстве районов и что, скорее вероятно, чем нет, на этот тренд оказывает влияние антропогенный фактор.

В глобальном масштабе число крупных внутриконтинентальных катастрофических наводнений в течение десяти лет (1996-2005 гг.) возросло, в расчете за десятилетие, более чем в два раза по сравнению с периодом 1950-1980 гг., в то время как причиненный экономический ущерб вырос в пять раз [11].

Доминирующими факторами, определяющими тенденцию увеличения ущерба от наводнений, являются социально-экономические факторы, такие, как экономический рост, рост населения и его благосостояние на уязвимых территориях и изменения в землепользовании.

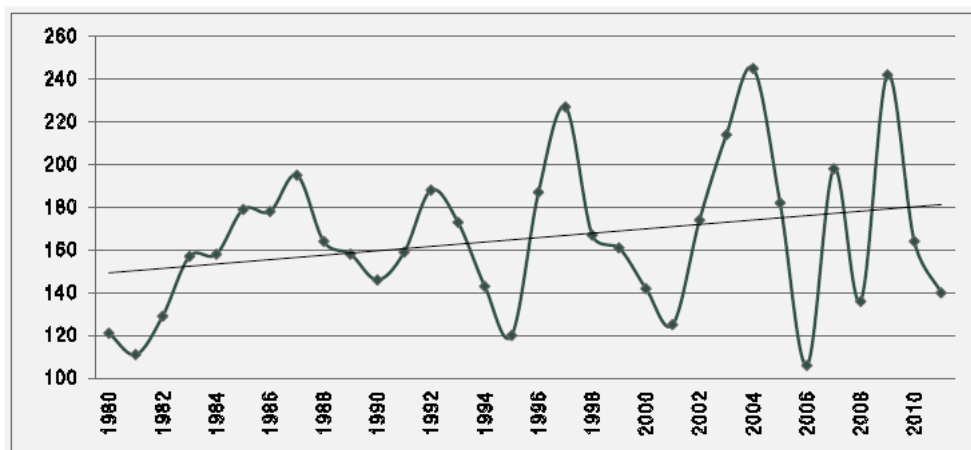
Наводнения явились самыми частыми стихийными бедствиями, которые затрагивают в среднем 140 млн. человек в год [2]. В Бангладеш во время наводнения 1998 г. было затоплено 70% территории страны (по сравнению со средней величиной, составляющей 20–25%) [14]. Так как ущерб от наводнений вырос быстрее, чем рост населения или экономический рост, то необходимо рассматривать другие факторы, включая изменение климата.

Совокупность данных наблюдений указывает на непрерывное ускорение водного цикла. Частота выпадения сильных осадков увеличилась, что согласуется как с потеплением, так и наблюдаемым увеличением содержания водяного пара в атмосфере. Однако, исходя из документально зарегистрированных трендов, повсеместного повышения объемов максимального стока не наблюдается.

Несмотря на то, что на основании анализа данных, полученных Милли и др. по крупным речным бассейнам [13] определили очевидное увеличение частоты «крупных» наводнений (период повторяемости больше 100 лет) на большей части земного шара, последующие исследования предоставили не столь обширные свидетельства. Кундцевич и др. [12] выявили увеличение (в 27 местах) и уменьшение (в 31 месте) и отсутствие каких-либо трендов в оставшихся 137 из 197 водосборных бассейнах, исследованных по всему миру.

При изменении климата хозяйству Армении большой ущерб нанесут опасные гидрометеорологические явления – засухи, ранние весенние заморозки, наводнения, сели, град, обильные осадки, сильные ветры, туман и т. д.

В течение последних лет увеличилось число и интенсивность опасных гидрометеорологических явлений, причем тенденция увеличения сохраняется (рис. 3).



Р и с. 3. Суммарное число опасных гидрометеорологических явлений (заморозки, град, ливневый дождь, сильный ветер) на территории Армении за 1980–2011 гг. [9]

В течение последних 30 лет суммарное число опасных гидрометеорологических явлений увеличилось на 1,2 случая в год, а в течение последних 20 лет – на 1,8 случаев в год.

Максимальное число опасных гидрометеорологических явлений наблюдалось в 2004г. – 245, а минимальный в 2006г. – 106 случая в год [9].

Среди гидрологических явлений при изменении климата наибольшие ущербы связаны с затоплением освоенной местности, с наводнениями. Кроме того, на территории Армении высока вероятность формирования катастрофических селей, увеличения частоты и интенсивности которых можно ожидать в условиях изменения климата.

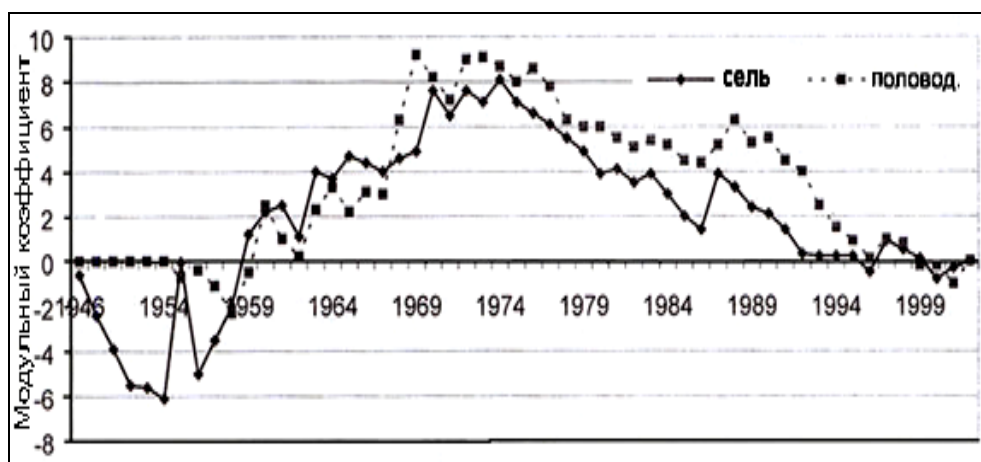
Широкое использование пойменных территорий под сельскохозяйственные культуры и поселения, строительство транспортных коммуникаций, оросительных систем и др. способствуют росту среднесрочных ущербов от их затопления. Возможны постоянные ущербы в связи с выведением из оборота (вследствие высокой вероятности затопления) высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий.

Аридизация климата, увеличение интенсивности ливневых дождей и возрастающая антропогенная нагрузка на ландшафты, создают благоприятные условия для повышения опасности селевых явлений. Это подтверждают исследования в селеопасных районах Армении [5]. Анализ карт селеносности и селеопасности территории республики по состоянию на 50–е и 90–е гг. прошлого века показал, что за 40–50 лет в пределах Амасийской котловины, в бассейне р. Гаварагет, в окрестностях сел Еранос, Вардазор, Золакар Мартунийского региона, на левобережном отрезке верхнего течения р.

Масрик, в верхней части бассейна р. Арпа многие (ранее потенциально селеносные) зоны приобрели статус действующих селеносных участков. Одновременно появились новые потенциально селеносные участки речных бассейнов [5].

По времени эти явления совпали с периодом увеличения стока воды на участках рек Ахурян, Алвар, Гаварагет, Мартуни, Аргичи, Масрик, Арпа [1]. Одновременно с увеличением мощности селей и числа селевых бассейнов наблюдается уменьшение числа селей. Это коррелируется с аналогичным изменением числа весенних паводков [8].

Из анализа интегральных кривых модульных коэффициентов активности селей и весенних паводков на территории Армении (рис. 4) следует, что больше селей возникало до 1974 г., а весенние паводки в основном формировались до 1973 г.



Р и с. 4. Интегральная кривая модульных коэффициентов числа селей и весенних паводков на территории Армении [8]

Они стали формироваться гораздо реже в 1974–2001 гг., что обусловлено увеличением засушливости климата. Из-за уменьшения осадков и аридизации климата в будущем уменьшится число селей со слабой насыщенностью наносами и увеличится число селей с высокой насыщенностью минеральными частицами. Это означает усиление эрозионной деятельности селевых явлений [8].

Для смягчения или предотвращения опасности, возникающей при формировании селей и в условиях затопления местности при максимальных расходах воды необходима реализация комплекса противоселевых, противопаводковых и противозрозионных мероприятий. К их числу относятся строительство водохранилищ для временной аккумуляции стока в период выпадения ливней, селевой массы, создание поперечных террас в руслах селевых рек, спрямление отдельных участков русел, укрепление берегов, осуществление



фитомелиорационных работ на горных склонах, рационализация использования пастбищ, внедрение в практику сельского хозяйства соответствующих агротехнических правил [5]. Если эти мероприятия не будут реализовываться, то на ликвидацию последствий этих опасных процессов потребуется гораздо больше средств из бюджета страны, что негативно повлияет на осуществление актуальных социально-экономических программ правительства Армении.

Инженерные мероприятия, направленные на предупреждение ущербов от стихийных бедствий, требуют больших капитальных вложений. В ряде случаев менее затратными могут оказаться методы предотвращения таких бедствий [15, 17, 18]. Однако и их использование требует необходимого финансирования.

Важным и первостепенным источником финансирования инженерно-технических мероприятий подобного рода может являться социальное страхование. К сожалению, в условиях Армении оно не практикуется, хотя во многих странах мира является основным источником финансирования проектов защиты населения и хозяйства от негативного влияния опасных природных процессов.

**Уязвимость надежности орошения.** Быстрый рост населения планеты, развитие промышленного производства и сельского хозяйства объясняют возрастающие темпы водопотребления, которое уже составляет около 4 тыс. км<sup>3</sup>/год. Восемьдесят процентов используемой пресной воды связано с сельским хозяйством и, в частности, с орошением сельскохозяйственных угодий на площади около 3 млн. км<sup>2</sup>. Такие масштабы использования речных вод на орошение вызывают усиление процессов испарения и эрозии [3].

В ближайшие десятилетия мировое сельское хозяйство столкнется с дополнительными проблемами. Деградация почвенных и водных ресурсов значительно затруднит обеспечение продовольственной безопасности населения планеты, численность которого неуклонно растет. Проблемы сельского хозяйства могут обостриться вследствие потепления климата.

Для некоторых сельскохозяйственных регионов мира изменение климата будет представлять реальную опасность. Для других регионов – оно, возможно, окажется даже полезным. Увеличение продолжительности теплого сезона года может способствовать росту растений, а повышенное количество осадков – повышать их урожайность, если в ряде аридных регионов возникнут признаки умеренного климата.

Вода играет решающую роль в производстве продовольствия как в отдельных регионах, так и во всем мире. С одной стороны, более 80% всех сельскохозяйственных земель в мире являются неорошаемыми, и в этих районах продуктивность культур зависит исключительно от того,

достаточно ли количество осадков, чтобы соответствовать величине испаряемости и обеспечить соответствующее распределение почвенной влаги [16]. В тех местах, где величина этих переменных ограничена климатом, таких как засушливые и полузасушливые районы тропиков и субтропиков, а также районы средиземноморского типа в Европе, Австралии и Южной Америке, сельскохозяйственное производство очень уязвимо при изменении климата [16]. С другой стороны, глобальное производство продовольствия зависит не только от воды в виде осадков, но также и сильно зависит от воды в виде водных ресурсов для орошения.

Фактически, орошаемые земли, составляющие всего 18% от общей площади сельскохозяйственных земель, дают 1 млрд. т зерна ежегодно или около половины мирового совокупного урожая. Это объясняется тем, что урожайность на орошаемых землях в среднем в 2-3 раза выше урожайности на неорошаемых землях [16]. В то время как слишком малые запасы воды ведут к уязвимости производства, чрезмерное количество воды также может оказывать пагубное воздействие на продуктивность культур либо непосредственно, например, в результате неблагоприятного воздействия на характеристики почвы и нарушения процесса роста растений, либо косвенно, например, в результате создания помех и задержек необходимым сельскохозяйственным работам.

Сильные осадки, чрезмерное содержание влаги в почве и наводнения мешают производству продовольствия и ухудшают экономическое положение населения сельских районов во всем мире.

Оказывая весьма пагубное воздействие на продуктивность культур и производство продовольствия и, являясь, к тому же, необходимым компонентом в процессах приготовления пищи, вода играет жизненно важную роль в обеспечении продовольственной безопасности.

В настоящее время 850 млн. людей в мире все еще не получают достаточного питания [16]. Социально-экономические стрессы в следующие несколько десятилетий приведут к росту конкуренции между потребностями в воде для орошения и потребностями несельскохозяйственных секторов, потенциально сокращая наличие и снижая качество водных ресурсов, используемых для производства продовольствия.

Оценки последствий изменения климата на производство продовольствия в целом сильно зависят от особенностей используемых проекций количества осадков, полученных на основе модели общей циркуляции (МОЦ). В целом, оценки на основе сценариев, предполагающих уменьшение осадков на региональном уровне, дают обычно отрицательные сигналы в отношении продукции растениеводства, и, наоборот, оценки на основе сценариев,

предполагающих увеличение количества осадков, дают положительные сигналы.

Проекция усиления засушливости в нескольких регионах с экологическими условиями средиземноморского типа (Европа, Австралия и Южная Америка), а также в малопродуктивных засушливых и полузасушливых районах, особенно в районах Африки, расположенных к югу от Сахары, являются устойчивыми согласно всем моделям. Эти регионы сталкиваются с повышенной уязвимостью в условиях изменения климата.

Поскольку Армения расположена в северной части пояса континентального сухого субтропического климата, то наиболее уязвимой отраслью хозяйства страны в условиях потепления климата окажется сельское хозяйство. Сельское хозяйство непосредственно зависит от степени увлажнения территории и ее обеспеченности водой.

В Армении больше всего воды расходуется на орошение полей. В целом для сельского хозяйства необходимо 3,0 млрд. м<sup>3</sup> (или 80% объема всей изъятой воды), а только на нужды орошения требуется 2,8 млрд. м<sup>3</sup> (или около 74%).

Однако в годы экономического кризиса водопотребление в орошении резко сократилось, и составило 1,5 млрд. м<sup>3</sup>. В настоящее время заметна тенденция его возрастания – 2,5 млрд. м<sup>3</sup>.

Вследствие изменения климата уязвимость водных запасов Армении будет иметь также социально-экономические последствия (Социально-экономические последствия изменения климата в Армении, программа 00049248 развития ООН).

- Сельское хозяйство, которое обеспечивает 20% внутренней валовой продукции непосредственно от сельскохозяйственного производства и еще 10% в виде пищевой промышленности, преимущественно зависит от осадков и получаемой от поверхностного стока орошаемой воды.
- Уменьшение речного стока на 24% приведет к сокращению продуктивности орошаемых посевных площадей в среднем на 15-34%.
- Сельскохозяйственные культуры, сильно нуждающиеся в орошаемой воде, составляют 14% от ВВП.
- Общие потери сельскохозяйственного сектора приведут к сокращению ВВП на 3%.
- Если потери сельскохозяйственного урожая приведут к потерям в пищевой промышленности в том же объеме, то дополнительные потери ВВП составят 1,5–3,4%.

Уменьшение водных ресурсов приведет к нарушению надежности работы оросительных систем республики. Степень уменьшения стока воды зависит от сценария изменения климата. Важно, что для любых

рассмотренных сценариев речной сток уменьшается. На территории республики он за период 2050–2075 гг. при повышении температуры воздуха на 2<sup>0</sup>С и уменьшении атмосферных осадков на 10% водные ресурсы сократятся в среднем на 18,9% (табл. 1).

Напряженность водохозяйственного баланса будет максимальной в маловодных районах республики (Арагатская долина и прилегающие к ней районы), а также в речных бассейнах, где изменение климата при «жестком» сценарии вызовет наибольшее уменьшение водности рек.

К ним относятся бассейны рек Дебед (сток уменьшится до 58,8%), Агстев (до 48,8%), Мегригет (до 41,1%), Дзорагет–Катнарат (до 41,5%), Памбак – Туманян (до 38,4%), Мармарик–Анкаван (до 38,8%). Наиболее сложная водохозяйственная обстановка ожидается в бассейне р. Алвар, где ожидается уменьшение стока воды примерно на 66,7% [1]. В условиях потепления климата увеличится частота засух на территории Армении, что еще больше обострит проблемы обеспечения водой участников водохозяйственного комплекса страны.

Изменение климата может привести к необходимости развития нерегулярного орошения. Это повлечет за собой снижение среднесезонного водорегулирующего эффекта оросительных систем на мелиорированных землях. Одновременно уменьшатся водные ресурсы источников, которые используются для вынужденной подачи влаги на поля. Следовательно, для повышения надежности работы оросительных и осушительно-увлажнительных систем потребуются капиталоемкие мероприятия, связанные с регулированием поверхностного стока, подачей воды из других бассейнов, повторным использованием дренажных вод.

Вследствие потепления увеличится частота орошения полей, что приведет к изменению механического состава и плодородия почв, т. е. к их деградации, опустыниванию ландшафтов.

Для обеспечения надежности орошения и адаптации всего водохозяйственного комплекса страны к условиям возможного потепления климата необходима реализация комплекса мер. Он включает:

- строительство новых или восстановление разрушенных водохранилищ, в т. ч. относительно крупных Егвардского и Мармарикского;
- осуществление перехвата воды на высоких гипсометрических отметках (1000-2000 м) древних русел, погребенных под лавами Арагатской равнины и ее использование для орошения. Заметим, что в результате этого уровень грунтовых вод в пределах Арагатской равнины понизится на 1,5 м;

- совершенствование оросительных сетей, уменьшение потерь, повышение коэффициента полезного действия систем с применением новейших технологий;
- снижение нормы орошения за счет использования новых агротехнических и гидромелиоративных методов;
- повторное использование очищенных промышленных и бытовых сточных вод для орошения;
- усовершенствование и уточнение правил управления орошением, а также разработка гибкой политики ценообразования на воду, используемую для орошения;
- развитие системы раннего предупреждения гидрологической засухи.

**Уязвимость надежности работы ГЭС.** Прогнозируемые в связи с потеплением изменения стока и еще более значительные изменения в его внутригодовом распределении существенным образом отразятся на водно-энергетических показателях, эксплуатируемых и проектируемых ГЭС. Из них важнейшими являются нормальный подпорный уровень, полезный объем водохранилища, установленная мощность и выработка энергии, характеристики водопропускных сооружений и др. По разным оценкам при росте стока следует ожидать прирост выработки энергии на ГЭС России и стран СНГ к 2020 г. в целом на 12-16% [4].

В условиях потепления климата и изменений речного стока потребуются корректировка в использовании увеличивающегося зимнего стока ряда рек (а значит, выработки энергии на ГЭС) наряду с проблемами снижения летних расходов. То есть потребуются изменение принципов регулирования стока водохранилищами, особенно функционирующими в каскаде плотин, и диспетчерских правил управления режимом водохранилищ.

Трансформация стока рек может привести к изменению функции ГЭС и возможностям удовлетворения требований неэнергетических потребителей водных ресурсов. Так, при повышении температуры воздуха увеличится расход воды на водоснабжение, при увеличении стока уменьшатся его затраты на ирригацию, при уменьшении стока могут возникнуть проблемы с удовлетворением запросов водных гидроузлов, и это отразится на использовании ГЭС в энергосистемах.

Наиболее важный аспект влияния изменения климата на гидроэнергетику - это проблема сохранности гидротехнических сооружений в связи с ростом максимальных расходов и объемов экстремальных половодий и паводков, для которых будет недостаточна пропускная способность действующих и запроектированных гидроузлов [4]. Дело в том, что наиболее сложен прогноз экстремальных характеристик стока, надежность установления которых особенно важна при перерасчете размеров водосбросов. Это связано с тем, что

величина максимального стока определяется интенсивностью и продолжительностью выпадения осадков за отдельные сильные дожди или интенсивностью снеготаяния в период половодий. Также и минимальные величины стока зависят от наступления периодов без осадков.

В конечном итоге трансформация водного режима рек может привести к изменению функций ГЭС в каскаде и эффективности их объединения по территории, а неодинаковые изменения стока на реках потребовать оптимизации их совместной работы, в т. ч. многоступенчатых каскадов ГЭС в энерго- и водохозяйственных системах.

Системы энергоснабжения весьма уязвимы к изменениям, вызванным глобальным потеплением. Увеличение дефицита водных ресурсов негативно скажется на производственной мощности гидроэнергетической отрасли.

Все действующие ГЭС Армянской гидросистемы относятся к категории «малых», для которых гарантированная мощность определяется по водному стоку за декабрь маловодного года с расчетной обеспеченностью не менее 95%.

Гидроэнергетическая система Армении включает электростанции, находящиеся в основном на двух реках – Раздан и Воротан. В энергетическом балансе страны удельный вес гидроэнергетики составляет около 25% общих суммарных мощностей и 10-12% вырабатываемой электроэнергии.

Исследования, проведенные в бассейне р. Воротан, показали, что при разных сценариях глобального изменения климата сток реки изменится незначительно. Если температура воздуха повысится на 1–2<sup>0</sup>С, а осадки уменьшатся на 10%, то водные ресурсы уменьшатся на 4,1–15,6%. При повышении температуры воздуха на 2<sup>0</sup>С и увеличении осадков на 10% сток воды, наоборот, возрастет на 2,6%. В этих условиях количество вырабатываемой электроэнергии в ожидаемых климатических условиях вряд ли изменится.

Исследования отдельных элементов баланса оз. Севан, откуда вытекает р. Раздан, показывают, что в условиях глобального потепления климата испарение с поверхности озера может достичь до 145 млн. м<sup>3</sup>/год [6]. Это означает, что водохозяйственная ситуация существенно изменится, поскольку осложнится решение проблемы поддержания в нормальном состоянии экосистемы озера. Для их решения потребуется увеличение объема перебрасываемой воды по туннелю Воротан–Арпа–Севан. В результате негативно изменится надежность работы гидроэнергетики.

Что касается каскада электростанций на р. Раздан, то изменение условий их работы в условиях возможного потепления климата можно рассматривать с двух точек зрения. Во-первых, при разных сценариях

изменения климата средний годовой уровень воды в озере понизится на 4-5 см (без учета искусственной переброски воды через туннель Арпа–Севан и забора воды через деривационный канал Гегамаван) [7], а свободный сток сократится в два раза [6]. В этом случае уменьшится количество выработанной электроэнергии.

С другой стороны, потепление климата приведет к увеличению попусков из озера. Это будет означать, что необходимость возмещающего дефицит попуска из озера увеличится в размере суммы дополнительных потребностей увлажнения почв и уменьшения местного питающего стока. В этом случае, количество выработанной электроэнергии может возрасти по сравнению с современными условиями.

Выполненный анализ основных результатов исследований влияния изменения климата на водные ресурсы и гидроэнергетику позволяет подвести некоторые итоги.

Воздействие на водные ресурсы является наиболее важным последствием климатических изменений. Но прогноз этого воздействия наиболее труден, можно лишь в общих чертах судить о том, как ГЭС могут реагировать на тот или иной сценарий потепления климата. Связано это с тем, что, как было отмечено выше, воздействие на водные ресурсы определяется многими разнонаправленными процессами и их итог практически невозможно прогнозировать.

Во многих странах выполнялась оценка влияния глобальных изменений климата на ГЭС, но полученные выводы очень противоречивы из-за различий применявшихся методик прогноза, разных сценариев климатических изменений, разнонаправленности влияющих на водные ресурсы процессов, различной их изученности и т. д.

#### **Выводы:**

Таким образом, уменьшение возобновляемых водных ресурсов приведет к негативным изменениям водных экосистем. Одновременно следует учитывать возможность социальных и экономических ущербов в связи с нарушением надежности работы отраслей водного хозяйства. В частности, она будет сопровождаться:

- понижением минимальных уровней воды в руслах рек, что затруднит эксплуатацию водозаборов без дополнительного регулирования стока плотин;
- снижением уровня подземных вод вследствие увеличения глубины и продолжительности сработки подземных водоносных горизонтов;
- сокращением глубины регулирования стока водохранилищами;

- ухудшением качества речных вод за счет увеличения минерализации, уменьшения их разбавляющей и самоочищающей способности;
- трансформацией гидробиологического режима рек в условиях увеличения «тепловой нагрузки» на поверхностные воды и снижения качества воды;
- уменьшением выработки электроэнергии на ГЭС (в среднем на 8–10%);
- сокращением объемов водопотребления; наиболее уязвимыми окажутся отрасли хозяйства, ориентированные на самотечное водоснабжение;
- снижением показателей здоровья населения;
- появлением межгосударственного и внутригосударственного напряжения в связи с дефицитом воды.

Для рационального использования и охраны водных ресурсов, повышения надежности работы отраслей хозяйства, адаптации водных экосистем к условиям возможного изменения климата необходимо:

- закрепить юридическими и законодательными актами подходы к управлению водными ресурсами, которые уменьшат уязвимость отраслей хозяйства страны и повысят адаптационный потенциал водных объектов;
- планомерно осуществлять программы обучения в области рационального использования и охраны водных ресурсов для специалистов и населения;
- при введении в строй новых водохранилищ проектировать относительно небольшие по объему, с минимальными потерями воды, безопасные в отношении заиления и предупреждения наводнений искусственные водоемы;
- в условиях засушливого климата использовать малые подземные водохранилища, которые в условиях изменения климата могут оказаться более эффективными;
- искусственно пополнять запасы подземных вод для их расширенного использования в лимитирующие сезоны года;
- внедрять системы оборотного и повторного водопользования, позволяющие уменьшить водоемкость различных производств и нагрузки на реки вследствие водоотведения;
- уменьшить потери воды в производстве промышленной продукции, коммунальном хозяйстве на основе применения новых технологий и повышения коэффициента полезного действия технических систем;
- использовать дифференцированные градации стоимости используемой воды для организации экономного



водопользования и повышения надежности отраслей водного хозяйства в условиях нарастания дефицита водных ресурсов;

- совершенствовать системы учета стока и развивать мониторинг водных ресурсов (национальный и трансграничный); усилить гидрометеорологический мониторинг с целью учета и прогноза водных ресурсов в перспективе;
- повысить знания и навыки по устойчивому управлению водными ресурсами;
- развить системы гидрологического прогнозирования.

Отмеченные предложения вполне осуществимы. В их реализации заинтересованы все участники водохозяйственного комплекса страны. Они регулируются Водным кодексом Армении и другими законодательными актами.

### **Список литературы:**

1. Варданян Т. Г. Колебания стока рек Армении и его прогноз при глобальном изменении климата, диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, Ереван, 2013. 266 с.
2. Доклад о мировом развитии 2004 года. Как повысить эффективность услуг для бедного населения. М.: Весь Мир, 2004. 352 с
3. Клиге Р. К. Глобальные изменения в гидросфере. В кн.: Глобальные изменения природной среды (климат и водный режим). М.: Научный мир, 2000. С. 171–182.
4. Малик Л. К. Принципы и последствия наводнений// Безопасность энергетических сооружений. Вып. 11, 2003. С. 50–75.
5. Назарян Х. Е. Активизация селевых явлений на территории Республики Армения как индикатор изменения климата// Армения: Проблемы изменения климата. Сборник статей, вып. 2 /под ред. А. Г. Gabrielyan – Ереван, 2003. С. 314–318 (на армянском языке).
6. Никогосян Г. Т. Оценка уязвимости испарения с поверхности озера Севан в зависимости от изменения климата//Армения: Проблемы изменения климата. Сборник статей, вып. 1 /Под ред. А. Г. Gabrielyan – Ереван, 1999. С. 153–167.
7. Саркисян В. О. Оценка влияния глобального изменения климата на водные ресурсы Армении//Армения: Проблемы изменения климата. Сборник статей, вып. 1 /Под ред. А. Г. Gabrielyan. Ереван, 1999, с. 148–152.
8. Тер-Минасян Р. Г. Активность водных бедствий на территории РА в условиях изменения климата//Армения: Проблемы изменения климата. Сборник статей, вып. 2 /Под ред. А. Г. Gabrielyan. Ереван, 2003. С. 277–283 (на армянском языке).

9. Armenia's Third National Communication on Climate Change Yerevan (2015), "Lusabats" Publishing House. 165 p.

10. IPCC: 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 University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. 996 p.

11. Kron W. and Berz G. Flood Disasters and Climate Change: Trends and Options In: Global Change: Enough Water for All? (J. L. Lozán, H. Graßl, P. Hupfer, L. Menzel and C. D. Schönwiese, eds.), University of Hamburg, Hamburg, 2007, pp. 268–273

12. Kundzewicz Z. W., Ulbrich U., Brücher T., Graczyk D., Krüger A., Leckebusch G., Menzel L., Pińskwar I., Radziejewski M. and Szwed M. Summer Floods in Central Europe Climate Change Track? //Nat. Hazards, 36 (1/2), 2005, pp. 165–189

13. Milly P. C. D., Wetherald R. T., Dunne K. A. and Delworth T. L. Increasing Risk of Great Floods in a Changing Climate //Nature, 415, 2002, pp. 514–517

14. Mirza M. M. Q. Three Recent Extreme Floods in Bangladesh: a Hydro-Meteorological Analysis //Nat. Hazards, 28, 2003, pp. 35–64

15. Transboundary Floods: Reducing Risks and Enhancing Security through Improved Flood Management Planning. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Oradea (Baile Felix), Romania, 2005, 492 p.

16. The State of Food Insecurity in the World. Monitoring progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals. Published in 2003 by the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO, 2003), 40 p.

17. Vardanian T. G. The Application of Mathematical Methods for Flood Forecasting. In: Transboundary Floods: Reducing Risks and Enhancing Security through Improved Flood Management Planning. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop, Oradea (Baile Felix), Romania, 2005, pp. 250–257.

18. Vardanian T. G. Water Disasters in the Territory of Armenia. In: Threats to Global Water Security. Edited by J. A. A. Jones, Trahel G. Vardanian, Christina Hakopian. NATO Science for Peace Security Series – C: Environmental Security, The Netherlands: Springer, 2009, pp. 215–224.

## **GLOBAL CLIMATE CHANGE AND WATER ECONOMY OF ARMENIA**

**T. G. VARDANYAN**

Yerevan State University, Yerevan

In the article it is analyzed and evaluated the climate change impact on the vulnerability and adaptation of river flow and different sectors of water economy in the territory of Armenia.

The risk analysis of negative changes in Water Economy of Armenia was made in three aspects: floods and mudflows risk warning, vulnerability of irrigation reliability and vulnerability of the working system reliability of "Hydropower plant".

**Keywords:** *climate change, warning of river runoff, forecast of river runoff, adaptation of water economy, warning of flood risk, warning of irrigation, warning of Hydropower plant.*

*Об авторе:*

ВАРДАНИЯН Траел Герасимович - доктор географических наук, профессор, зав. кафедрой физической географии и гидрометеорологии Ереванского государственного университета, e-mail: tvardanian@ysu.am