Р. Коробов
И. Тромбицкий

# Водная безопасность в условиях изменения климата

Eco-TIRAS
Кишинёв * 2017

ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА * КИШИНЁВ * ECO-TIRAS * 2017

**Международная ассоциация хранителей реки**
***Eco-TIRAS***

**Р. Коробов, И. Тромбицкий**

# Водная безопасность в условиях изменения климата

**Кишинев * 2017**

# Признательность

Эта работа частично выполнена в рамках проекта «*Содействие устойчивому управлению р. Балцата – притоку Днестра*". Проект реализован Международной ассоциацией хранителей реки *Eco-TIRAS*, при партнерстве с Независимым институтом экологических проблем *(UFU*, Берлин*)* и финансовой поддержке Федерального министерства окружающей среды, охраны природы, строительства и ядерной безопасности Германии, через Программу содействия охране окружающей среды в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии *(ВЕКЦА)* и при техническом надзоре Немецкого федерального экологического агентства *(Umweltbundesamt, UBA).*

Работа издана в рамках Программы мер по укреплению доверия, внедряемой *ПРООН* в Молдове при финансовой поддержке Европейского Союза, как один из элементов проекта *Eco-TIRAS* по созданию экологической платформы сотрудничества между берегами Днестра.

Отдельная признательность Региональному экологическому центру для Центральной и Восточной Европы *(REC-CEE)* за любезно предоставленную авторам возможность участвовать в проведенном им тренинге «*Изменение климата и безопасность*» (31 января–2 февраля 2017 г, Будапешт), который явился определенным стимулом для дальнейшей разработки этой проблемы применительно к водным ресурсам.

# Содержание


*Часть 1* **Водная безопасность как глобальный экологический вызов**……..... *1*

**1.1 Реальность глобального водного кризиса**..... *1*

**1.2 Концепция и сущность водной безопасности**..... *5*

**1.3 Вызовы и угрозы водной безопасности**..... *8*

*Часть 2* **Водная безопасность и изменение климата**..... *10*

**2.1 Изменение климата и водные ресурсы**..... *10*

**2.2 Последствия изменения климата для водной безопасности**.. *13*

**2.3 Водная безопасность и гидроэнергетика в изменяющемся климате**……..... *16*

**2.4 Водная безопасность и адаптация к изменению климата**... *22*

*Часть 3* **Водная безопасность в речном бассейне**..... *26*

**3.1 Бассейн Днестра как пример крупной реки** ..... *26*

3.1.1 Краткая физико-географическая справка бассейна Днестра, экологическое состояние и проблемы..... *26*

3.1.2 Ожидаемое изменение климата в бассейне Днестра..... *30*

3.1.3 Влияние изменения климата на сток Днестра…..... *32*

3.1.4 Развитие гидроэнергетики на Днестре в аспекте водной безопасности региона
….....….....….....
*37*

**3.2 Состояние малых рек как угроза водной безопасности (на примере реки Балцата)** *45*

3.2.1 Краткая физико-географическая справка о бассейне р. Балцата *45*

3.2.2 Исторический сток р. Балцата….....….....….....
*47*

3.2.3 Гидрологическое моделирование водных ресурсов..... *53*

*3.2.3.1 Оценка антропогенной нагрузки на бассейн*…….... *54*

*3.2.3.2 Оценка наличия водных ресурсов и их вероятных изменений в ожидаемом климате*..... *59*

*ГЛАВА 4* **ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ** ..... *65*

**4.1 Ключевые показатели для оценки водной безопасности**..... *65*

**4.2 Трансграничные аспекты управления водными ресурсами** *68*

**4.3 Ключевые принципы устойчивости водной безопасности**.. *72*

**4.4 Некоторые практические рекомендации для местных сообществ**..... *76*

**ЛИТЕРАТУРА** ..... *81*

# Часть 1 Водная безопасность как глобальный экологический вызов

## 1.1 Реальность глобального водного кризиса

С древних времен вода формировала лицо Земли и не только как ее геологический агент, разрезая долины и каньоны и «вылепливая» скульптурные скальные образования, но также как главный фактор возникновения, роста и падения великих цивилизаций, как источник международных конфликтов и напряженности. Первые цивилизации возникли на великих реках: Нил – в Египте, Тигр и Евфрат – в Месопотамии, Инд – в Индии и Пакистане, Хуанхэ – в Китае; все они создали большие оросительные системы и сделали землю продуктивной. Но точно так же, эти цивилизации рухнули, когда воды стало недоставать, или когда системы водоснабжения стали плохо управляемы. Сегодняшние мысли о воде лежат в основе растущей мировой озабоченности здоровьем человека, состоянием окружающей среды и поисками путей устойчивого развития. Из всех природных ресурсов, необходимых для экономического развития, вода продолжает оставаться одним из самых важных, особенно в засушливых и полузасушливых регионах. В начале 21-го века человечество столкнулось с целым рядом новых и труднопреодолимых вызовов: неуправляемый рост народонаселения и его возрастающие потребности в воде при ухудшении ее качества, загрязнение окружающей среды и связанные с ним последствия для качества воды, международные конфликты за трансграничные водные ресурсы.

В настоящее время, объем глобальных ресурсов пресной воды оценивается примерно в 35 млн. км$^3$, или только порядка в 2.5% от их общего количества на Земле, составляющего порядка 1,4 млрд. км$^3$ (UNU, 2013).

Более того, 68,7% пресной воды содержится в полярных льдах и ледниках, 30,1% – в подземных водах и только 1,2% – в поверхностных водах и других источниках. При этом, годовое глобальное потребление воды составляет 4200 км$^3$, из которых на поверхностные воды приходится 3500 км$^3$ и на подземные воды – 700 км$^3$. Сегодня, 605 млн. населения не имеет надлежащего источника питьевой воды, а 2,5 млрд. человек – надлежащей санитарии. Дефицит воды сказывается более чем на 40% населения мира, а к 2050 г, согласно прогнозам Мирового Банка (WB, 2016), доступность воды в городах может снизиться на две трети в результате изменения климата и водной конкуренции со стороны производства электроэнергии и сельского хозяйства.

Современная мировая статистика (WEF, 2017) также констатирует, что 90% стихийных природных бедствий, сопровождаемых самыми тяжелыми экономическими потерями, приходится на наводнения, засухи, град, грозы и другие опасные гидрометеорологические явления, которые *практически все связаны с водой*. Ожидается, что в результате изменения климата эта цифра будет еще выше. Слияние рисков, связанных с глобальным потеплением, нехваткой воды, экстремальными погодными явлениями и миграцией населения, также отчасти вызванной этими факторами, остается мощным «коктейлем и мультипликатором угроз», особенно в случае хрупких экологических и политических сдерживателей мировой экономики (WB, 2016).

Дефицит пресной воды все более воспринимается как глобальный системный риск. Удовлетворение новых потребностей в воде и защите экосистем путем обеспечения их максимально устойчивых уровней на водосборе является наиболее сложным и, в то же время, наиболее важным вызовом нынешнего столетия (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Очевидно, что в силу стабильно возрастающих потребностей в пресной воде, ее дефицит становится угрозой устойчивому развитию. Ежегодный Мировой экономический форум в Давосе, в одном из своих последних годовых отчетов (WEF, 2015), рассматривает водный кризис как самую большую глобальную опасность с точки зрения потенциальных воздействий. Впервые водный кризис рассматривался также в качестве основной проблемы изменения климата на Конференции Сторон Рамочной конвенции по изменению климата ООН (РКИК ООН), состоявшейся в Марракеше в конце 2016 г.

Наряду с глобальным ростом народонаселения, повышением его уровня жизни и улучшением жизненных стандартов, в качестве основных движущих сил роста глобальных потребностей в воде рассматриваются также происходящие изменения в структуре потребления и расширение орошаемого земледелия. При ожидаемом достижении к 2050 году численности населения в мире 9 млрд. человек, спрос на воду, по имеющимся прогнозам, превысит предложение на 40% в 2030 г. и на 55% – к середине столетия. Такого рода ожидания явятся результатом глобальных климатических и не климатических трендов, включая быструю урбанизацию, экономический рост, новые уровни доходов и возрастающие потребности в энергии. Несмотря на это, как на мировом уровне, так и в годовом разрезе, имеющиеся ресурсы пресной воды достаточны для удовлетворения этих потребностей. Однако большая пространственная и временная изменчивость в потребностях в воде и ее доступности ведет к водному дефициту во многих регионах мира и в отдельные временные периоды. Иными словами, *суть глобального дефицита водных ресурсов – это географическое и временное несоответствие между потребностями в пресной воде и ее доступностью (Бокс 1).*

Так, например, во многих странах мира реальность состоит в том, что некоторые из местных общин не могут получить доступ к достаточному количеству воды хорошего качества, хотя на национальном уровне ее дефицита нет. Это связано с тем, что службы водоснабжения, необходимые для обеспечения доступа, хранения и транспортировки имеющейся в наличии воды, распределены неравномерно или должное управление ими отсутствует. Иными словами, это не только структурная проблема, которая может быть разрешена чисто техническим путем; она связана и с тем, как водные ресурсы и соответствующие службы управляются. Проблема обостряется также фактом, что водная инфраструктура во всем мире становится все более устаревшей и неэффективной. Даже в США вследствие этого фактора ежегодно теряется около 2,1 триллиона галлонов воды, или 1,7% от ее годового потребления. С точки зрения бизнеса, дефицит воды находится на нижнем уровне толерантности, и 405 мировых компаний уже в 2015 г сообщали о пагубных последствиях существующих водных проблем, оцениваемых в общей сложности в более чем 2,5 млрд. долларов.

***Бокс 1* Дефицит воды & водный стресс**

***Дефицит волы (физический или социально-экономический)*** описывает взаимосвязь между потребностями в воде и ее наличием. *Физический дефицит* существует тогда, когда спрос на воду превышает ее предложение; это происходит в случае чрезмерной эксплуатации водных ресурсов. *Социально-экономический дефицит* существует тогда, когда инвестиции, навыки или политическая воля недостаточны для того, чтобы идти в ногу с растущими потребностями в воде, тем самым препятствуя доступу к ее ресурсу. Обе формы дефицита проистекают из плохого управления водными ресурсами, а не из их абсолютного наличия, то есть «нехватка воды» не обязательно означает отсутствие адекватных водных ресурсов в определенном месте. *Дефицит воды* следует отличать от биологического понятия «*водный дефицит*», означающего недостаток насыщения водой растительных клеток, возникающий в результате интенсивной потери воды растением, не восполняемой поглощением её из почвы.

***Водный стресс*** является результатом дефицита воды и может проявляться как незащищенность питьевой воды, плохой доступ к воде или конфликт за неё, неурожай, нарушение продовольственной и/или энергетической безопасности.

*Источник:* Адаптировано из WaterAid, 2012

В различных обсуждениях дефицита водных ресурсов ***глобальный водный кризис*** трактуется самыми различными способами: (1) абсолютная нехватка пресной воды; (2) достаточное количество воды имеется только для населения; и (3) потребности населения в воде не могут быть обеспечены существующими службами (WaterAid, 2012). В других терминах, Laušević *et al*. (2016) описывают такие ситуации как «*слишком малые*», «*слишком большие*» и «*заслуживающие большой озабоченности*» проблемы управления водными ресурсами. В последнем случае уже следует говорить об отсутствии *водной безопасности*.

Неэффективное управление так называемым «достоянием мира» *(global commons)*, к которому, несомненно, следует отнести глобальные водные ресурсы и климат (в его научном понимании как некая единая глобальная природная система), может иметь как локальные, так и мировые последствия. В частности, изменение погодных условий или водный кризис могут спровоцировать или усугубить геополитические и соци-

альные риски, такие, например, как внутренние или региональные конфликты и вынужденная миграция, особенно в геополитически неустойчивых районах (WEF, 2017).

Несомненно также, что растущая озабоченность различными аспектами водного кризиса представляет собой лишь один симптом гораздо большего глобального кризиса, с которым сталкиваются современные социальные, экономические и природные системы. В последующих разделах сделана попытка кратко рассмотреть характер и значение этих сложных и тесно взаимосвязанных вызовов, в целом формирующих проблему *водной безопасности*.

## 1.2 Концепция и сущность водной безопасности

Водная безопасность как концепция воплощает сложные и взаимосвязанные вызовы, подчеркивая центральную роль воды в достижении чувства большей безопасности, устойчивости развития и благосостояния людей. В то же время, нет единственного, широко признанного определения термина «*водная безопасность*»; обычно это зависит от его приложений, например, к человеку или окружающей среде. Из различных имеющихся определений для целей настоящей публикации наиболее приемлемым представляется следующее: «*Водная безопасность есть способность населения к безопасному и устойчивому доступу к адекватным количествам приемлемой по качеству воды, необходимой для поддержания его средств к существованию, благосостояния и социально-экономического развития, а также для обеспечения защиты от связанных с водой загрязнений и сохранения экосистем в условиях мира и политической стабильности*» (UNU, 2013). Это, своего рода «рабочее», определение обеспечивает общие рамки и платформу для сотрудничества по проблемам водной безопасности между регионами, странами и речными бассейнами.

Относительно полный лист других определений дан в WaterAid (2012). Так как основная миссия этой международной организации состоит в трансформировании жизни наиболее бедного и наиболее маргинального населения посредством улучшения его доступа к безопасной воде, санитарии и гигиене, то первичный фокус ее определения, как и деятельности в целом, направлен на обеспечение надежного доступа к качественной воде, достаточной для удовлетворения основных базовых потребностей человека.

Краткое изложение ключевых общих элементов, которые необходимы для достижения и поддержания водной безопасности, основанное на широком диапазоне опубликованных определений *(Бокс 2)*, демонстрирует ту очевидную реальность, что для этого требуется балансировать потребности в воде и ее доступность, наряду с развитием институтов, которые обеспечивают приемлемые уровни как самой водной безопасности, так и ее стоимости и рисков. Отсюда, для изучения и решения этой задачи необходимо понимать не только все элементы водной безопасности, но и их взаимосвязи и взаимодействии.

***Бокс 2:* Ключевые элементы водной безопасности**

- *Доступ к достаточному количеству безопасной и приемлемой по стоимости воды, необходимой для обеспечения базовых нужд населения, включая санитарно-гигиеническую защиту его здоровья и благополучия;*
- *Обеспечение прав человека на воду, а также культурных и рекреационных ценностей, предоставляемых водой;*
- *Защита и сохранение водных экосистем для поддержания их возможностей по предоставлению и поддержанию функционирования основных экосистемных услуг;*
- *Обеспечение водой социально-экономического развития и функционирования промышленности, энергетики, транспорта, туризма и т.п.;*
- *Сбор и обработка питьевой воды для защиты от загрязнения здоровья населения и окружающей среды;*
- *Совместные подходы к управлению трансграничными водными ресурсами внутри стран и между ними в целях обеспечения устойчивости и сотрудничества в области пресноводных ресурсов;*
- *Способность противостоять связанным с водой неопределенностям и рискам, таким как наводнения, засухи и опасные загрязнения;*
- *Надлежащее управление и отчетность, учитывающие интересы всех заинтересованных пользователей, осуществляемые через эффективные, транспарантные и подотчетные, в т.ч. и общественности, правовые режимы и институты, а также грамотно спланированную и действенную инфраструктуру.*

*Источник:* Адаптировано из UNU, 2013

Многие факторы способствуют обеспечению водной безопасности, от биофизических до инфраструктурных, институциональных, политических, социальных, финансовых и других, неразрывно связанных с водой. В результате, во избежание нехватки воды требуется междисциплинарное

сотрудничество между секторами, сообществами и пограничными странами. Только в этом случае конкуренция или потенциальные конфликты за водные ресурсы будут адекватно управляемы. Иными словами, водная безопасность, охватывающая все связанные с водой проблемы, заключается не только в том, «чтобы иметь достаточное количество воды».

Laušević et al. (2016) выделяют три ключевых аспекта в парадигме водной безопасности: социальное равенство, экологическая устойчивость и экономическая эффективность *(Бокс 3)*.[1]

***Бокс 3*** **Ключевые аспекты водной безопасности**

**Экономический аспект:**

- *Возрастающая продуктивность и сохранение воды во всех секторах водопотребления;*
- *Разделение (совместное использование) экономических, социальных и экологических выгод трансграничных рек, озер и водоносных горизонтов.*

**Социальный аспект:**

- *Гарантирование справедливого доступа к водным ресурсам и услугам через надлежащую политику и правовые рамки на всех уровнях;*
- *Наращивание устойчивости в сообществах перед лицом экстремальных погодных явлений путем жестких и мягких мер.*

**Экологический аспект**

- *Более устойчивое управление водой как часть зеленой экономики*[2]
- *Уменьшение угроз экосистемам и восстановление экосистемных услуг в речных бассейнах для оздоровления поверхностных и подземных вод.*

*Источник:* Адаптировано из Laušević *et al*., 2016

Следуя видению этих авторов, водная безопасность включает адаптацию к связанным с водой рискам, таким как наводнения и засухи, и их ослабление, разрешение конфликтов, возникающих вследствие совмест-

[1] WaterAid (2012) в качестве ключевых аспектов водной безопасности рассматривает надежный доступ к воде, ее количество и качество, а также риск связанных с водой бедствий.

[2] ***Зелёная экономика*** — направление в экономической науке, сформировавшееся в последние два десятилетия, в рамках которого считается, что экономика является зависимым компонентом природной среды, в пределах которой она существует, являясь её частью. Теория зелёной экономики базируется на 3-х аксиомах:

- невозможно бесконечно расширять сферу влияния в ограниченном пространстве;
- невозможно требовать удовлетворения бесконечно растущих потребностей в условиях ограниченности ресурсов;
- всё на поверхности Земли является взаимосвязанным.

ного использования водных ресурсов, а также напряженности между различными заинтересованными сторонами, которые конкурируют за эти, зачастую ограниченные, ресурсы. Такого рода функции водной безопасности требуют соответствующей инфраструктуры для использования водных ресурсов и водоснабжения, способности управлять и содержать эту инфраструктуру. В свою очередь, надежная доставка услуг зависит от удобства обслуживания и надежности объектов, а также от финансового, технического и человеческого потенциала сервисных организаций.

Защита водных ресурсов от связанных с водой опасностей – главный элемент водной безопасности – в значительной степени зависит и от политических факторов, сотрудничества внутри национальных и трансграничных бассейнов, мира и стабильности в регионе.

Исходя из такой предпосылки, формирование водной безопасности должно основываться на местной специфике и включать местные знания, местные подходы и местные решения, инкорпорированные в мировые знания, подходы и решения.

### 1.3 Вызовы и угрозы водной безопасности

Концепция водной безопасности, отражающая динамические аспекты водных и связанных с водой проблем, предлагает целостный взгляд на решение стоящих перед ней вызовов. В Министерской Декларации «Водная безопасность в XXI веке», принятой на Втором всемирном водном форуме (WWF, 2000), перечислены семь основных вызовов в достижении водной безопасности *(Рис. 1)*. Их содержание еще раз подчеркивает, что изучение этой проблемы означает, по своей сути, раскрытие причинно-следственных зависимостей и связей в проблеме безопасности. Так, в частности, вопросы, требующие решения для достижения водной безопасности, должны быть тесно увязаны с заботами о выживании и благосостоянии людей, о продовольственной безопасности и защите экосистем, а также с налаживанием и развитием различных систем управления на справедливой, эффективной и комплексной основе.

Таким образом, любой «диагноз» водной безопасности должен включать оценку сегодняшнего состояния, эволюции и уязвимостей по каждому из семи аспектов, формирующим вызовы ее достижению, а

также раскрывать причинно-следственные связи между антропогенными и природными драйверами этих угроз, и возможными их последствиями. Совершенно очевидно, что для обеспечения такого анализа в столь взаимозависимых и разномасштабных секторах требуется комплексный и целостный подход.

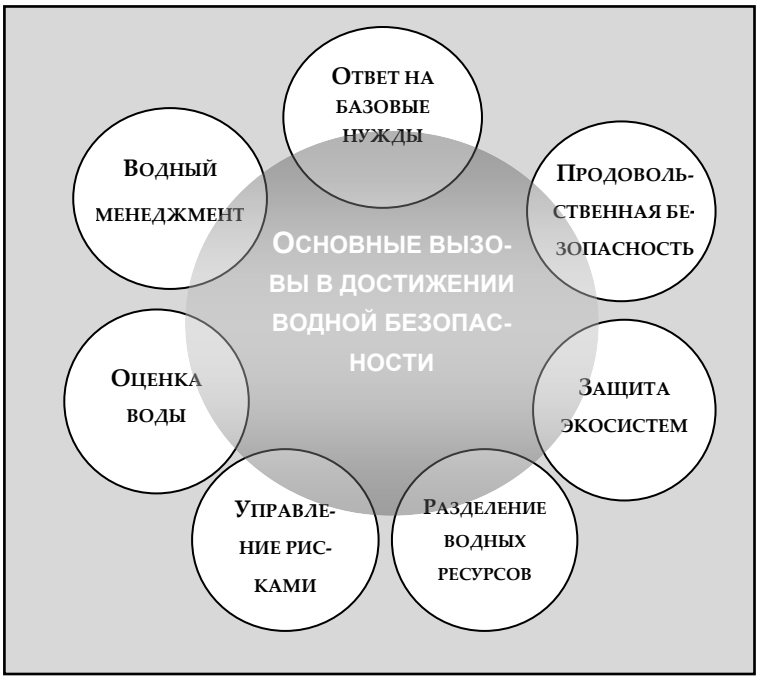



***Рис. 1*** Семь основных вызовов в достижении водной безопасности

*Source:* WWF, 2000

По оценке *WaterAid* (2012), основные угрозы водной безопасности включают следующую группу факторов:

- Слабая политическая воля и низкий институционный потенциал управления водными ресурсами и службами водоснабжения;
- Отсутствие всеобщего доступа к воде вследствие неспособности платить, социального или политического статуса, недееспособности, расы, возраста, пола или других причин;
- Бедность населения;
- Низкая устойчивость населения в противостоянии стрессам;
- Плохая санитария и гигиена систем водоснабжения;
- Быстрый рост народонаселения и урбанизация;
- ***Изменчивость и изменение климата***.

# Часть 2 Водная безопасность и изменение климата

## 2.1 Изменение климата и водные ресурсы

Изменение климата вводит новый аспект в концепцию водной безопасности, который обусловлен отрицательными последствиями этого природного явления. Изменения в гидрологическом цикле вследствие изменения климата ведут к разнообразным воздействиям и рискам, вызванным взаимодействием климатических и не климатических стимулов изменений с ответами на них менеджмента водных ресурсов. Вода является агентом, который доставляет большинство воздействий изменения климата до общества, в частности, до его социальных, энергетических, сельскохозяйственных, транспортных и других отраслей. Хотя вода проходит через глобальный гидрологический цикл, она, тем не менее, является локально изменчивым природным ресурсом, вследствие чего уязвимости к связанным с ней опасностям, таким как наводнения и засухи, различаются между регионами в зависимости от местных не климатических антропогенных драйверов. Рост народонаселения, экономическое развитие, урбанизация, землепользование и природные геоморфологические трансформации также бросают вызов стабильности водных ресурсов, увеличивая потребности в них или сокращая предложение. В этом контексте нехватка воды в условиях глобального потепления вносит весомый вклад в доступность ее пресноводной составляющей.

В целом, Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) прогнозирует сокращение возобновляемых водных

ресурсов в отдельных регионах, хотя и возможный рост в других; однако этот прогноз дается с большой степенью неопределенности (Jiménez Cisneros *et al.*, 2014). В частности, уменьшение водных ресурсов ожидается в большинстве регионов средних широт Северного Полушария, наряду с их приростом в некоторых ныне влажных районах. Но даже и там, где ожидается увеличение объема водных ресурсов, может быть кратковременная нехватка воды вследствие возрастающей неустойчивости стока, обусловленной ростом изменчивости осадков и сокращением зимних накоплений снега и льда. На наличии чистой пресной воды могут также сказаться прямые и косвенные отрицательные последствия для ее качества от повышения температуры и сокращения стока.

Большая уязвимость пресноводных ресурсов к таким изменениям, с их суровыми последствиями для экономических, социальных и экологических систем, несомненно, провоцирует дополнительные вызовы водной безопасности. В прямом или косвенном виде эти вызовы будут варьировать в соответствии с географическим положением, различаясь регионально в зависимости от ряда факторов: физико-географической специфики местоположения, условий доступа к воде и ее использования, демографических изменений, существующего менеджмента, правовых рамок и структуры управления водными ресурсами, систем распределения воды и т.п.

На глобальном уровне, основные риски изменения климата, связанные с пресными водами, МГЭИК сформулировала следующим образом (Jiménez Cisneros *et al.*, 2014):

- Риски значительно возрастают с увеличением концентрации парниковых газов (ПГ). Модельные исследования демонстрируют четкие различия между глобальным будущим с более высокими выбросами ПГ (более сильные отрицательные воздействия) и будущим с их более низкими выбросами (меньше ущерба и меньшая стоимость адаптации). Ожидается, что с каждым градусом глобального потепления примерно 7% мирового населения будет подвергаться, по меньшей мере, 20%-му уменьшению возобновляемых водных ресурсов. Более того, прогнозируется, что к концу нынешнего столетия количество населения, ежегодно подвергающегося наводнениям, эквивалентным наводнениям с 1%-ой вероятностью в климате прошлого столетия, будет в три раза больше для очень высоких эмиссий ПГ, нежели для их низких значений.

- Хотя на сегодняшний день отсутствуют обширные наблюдения изменений магнитуды и частоты наводнений, вызванных *антропогенной* составляющей изменения климата, имеющиеся прогнозы предполагают наличие таких изменений и, при некотором среднем согласии, их глобальные риски вследствие этого фактора будут в будущем возрастать. Ныне же наблюдаемые (со средины 20-го столетия) социально-экономические потери от наводнений в основном возросли из-за большей экспозиции к наводнениям и, соответственно, уязвимости к ним, вызванным возрастающей заселенностью, строительством и развитием инфраструктуры в прибрежной зоне.
- Вполне вероятно, что к концу нынешнего столетия изменение климата приведет к увеличению частоты метеорологических засух (меньше осадков) и сельскохозяйственных засух (меньшая влажность почвы) в ныне засушливых регионах. Здесь также ожидается увеличение частоты коротких гидрологических засух (меньше поверхностных и грунтовых вод). Прогнозируемые изменения частоты засух продолжительностью свыше 12 месяцев менее определенные, поскольку они во многом зависят от ранее накопленных многолетних осадков. Воздействие засух увеличивается также из-за увеличения потребностей в воде.
- Глобальное потепление, изменяя речной сток и качество воды, отрицательно сказывается на пресноводных экосистемах. Ожидается, что за исключением регионов с интенсивным орошением экологическое воздействие изменения климата, опосредованное поверхностным стоком, будет сильнее, нежели исторические воздействия вследствие антропогенной трансформации режимов стока, вызванной усиленным забором воды и строительством водохранилищ.
- Изменение климата снижает качество пресной воды, создавая риски для питьевого водоснабжения в случае сохранения ее традиционной обработки. Источниками этих рисков являются повышенная температура и усиление интенсивности осадков, рост нагрузки питательных и загрязняющих веществ, вызванных ливневыми стоками, снижение степени разбавления загрязнителей в воде в периоды засух или разрушения очистных сооружений во время наводнений.
- В регионах с устойчивым снежным покровом изменение климата уже нарушило историческую сезонность речного стока и прогнозируются его усиливающиеся дальнейшие изменения. Зимнее потепление

уменьшает глубину снежного покрова и сдвигает к началу года максимум весеннего снеготаяния. В результате, наблюдаются более интенсивные паводки, вызванные весенним снеготаянием, возрастание зимнего и уменьшение летнего стоков.

- Рост ливневых осадков и повышение температур приведет к усилению почвенной эрозии и донных отложений, хотя масштаб этих изменений крайне неясен и зависит от сезонности осадков, состава и состояния наземного покрова и технологий обработки почвы.
- И наконец, изменения в гидрологическом цикле могут угрожать нынешней водной инфраструктуре, делая общество более уязвимым к экстремальным гидрологическим явлениям и, таким образом, – к возросшей потере его общей безопасности.

## 2.2 Последствия изменения климата для водной безопасности

Оценка последствий изменения климата для водной безопасности является, по существу, элементом оценки ее уязвимости; в свою очередь, оценка уязвимости, согласно Yan and Pottinger (2013), есть попытка идентифицировать ее корневые причины. Основной задачей процесса «идентификации» уязвимости водных ресурсов является определение того, как угрозы, обусловленные изменением климата, в сочетании с другими сопутствующими нагрузками, могут сказаться на экологических, социально-экономических и политических условиях региона или бассейна, и как последствия этих эффектов могут повлиять на их безопасность и стабильность. К критическим моментам оценки уязвимости относятся адаптационный потенциал и устойчивость к изменению климата, а также то, в какой степени они применимы к изучаемому сектору (в нашем случае, водному) на местном, национальном и региональном уровнях. Последствия для безопасности могут быть далеко идущими и усложненными рядом других факторов, которые могут быть как достаточно простыми, так и более сложными.

Диапазон обусловленных климатом угроз и опасностей очень широкий и включает явления, как с их быстрым началом, так и явления с медленным кумулятивным развитием во времени. В частности, наводнения и экстремальные погодные явления обычно представляют собой быстро возникающие и быстро развивающиеся события, в то время как измене-

ния в гидрологическом цикле и подъеме уровня моря являются угрозами, которые разворачиваются в течение периодов времени от нескольких месяцев до нескольких лет, что потенциально предоставляет достаточно времени для подготовки систем управления и предотвращения негативных последствий. Однако, будь то быстрое или медленное начало воздействий, анализ опасностей должен учитывать потенциальные экологические, социально-экономические и политические последствия.

Реки и речные экосистемы являются одними из наиболее подверженных угрозам систем в мире. Исторически, ключевые стрессы включали переизбыток воды, ее загрязнение, канализирование водотоков и т.п. Но за последние 50 лет количество поверхностного стока, попадающего в русло реки, существенно сократилось из-за совокупного эффекта более интенсивного изъятия воды, возведения плотин, обвалования берегов и изменения климата. Многолетнее интенсивное использование человеком озер, рек и водно-болотных угодий, с их соответствующей трансформацией, в сочетании с ускоряющимся глобальным потеплением, привело к многочисленным негативным последствиям.

Yan & Pottinger (2013) подчеркивают два четко выраженных воздействия изменения климата на водные системы, которые особенно важны с точки зрения их рассмотрения: (1) изменение климата может интенсифицировать существующие проблемы плохого менеджмента водных ресурсов, например, ухудшение качества воды и снижение ее доступности; (2) изменение климата может глубоко изменить их основные экологические и гидрологические свойства, например, изменив фундаментальные характеристики речного стока. Иными словами, изменение климата как природное явление теперь начинает переключаться от его нынешней роли «интенсификатора» различного рода изменений в водной среде к их превалирующему драйверу, с потенциалом сопутствующих экологических и экономических последствий, сопоставимым с наихудшими из предыдущих человеческих вмешательств.

В частности, в соответствии с некоторыми более ранними оценками (Fischer *et al*., 2002), изменения только лишь в осадках могут повергнуть в абсолютную нищету более 12 млн. человек, а непосредственно само изменение климата как таковое может повысить к 2080 г уровень недоедания в мире на 25%. Бедные и маргинальные сообщества будут особенно поражены вследствие намного меньшей способности адекватно противо-

стоять возрастающей потере безопасности в силу различных основополагающих факторов, таких как отсутствие надлежащего менеджмента окружающей среды, быстрой и неплановой урбанизации в угрожаемых районах или неграмотных действий в стрессовых ситуациях (UNU, 2013).

Это означает, что для эффективной адаптации к изменению климата потребуются новаторские подходы к управлению водными ресурсами, которые являются динамичными по самой своей природе и могут гибко реагировать на все типы событий.

Если суммировать принципиальные выводы уже цитируемой выше работы (Yan & Pottinger, 2013), то с некоторыми дополнениями основные эффекты изменения климата на водные ресурсы перечислены в Боксе 4.

***Бокс 4:* Главные последствия изменения климата для водной безопасности**

- *сдвиг от твердых осадков в виде снега к дождевым осадкам и изменения в сроках таяния снежного покрова;*
- *изменение параметров поверхностного стока и «перезарядки» подземных вод;*
- *более частые и более интенсивные паводки со сдвигом сроков и максимумов их прохождения;*
- *увеличение испарения, особенно из мелких водоемов и водохранилищ;*
- *более интенсивные ливни, приводящие к увеличению нагрузок загрязнения и отложений в русле реки и водоемах;*
- *повышенные температура воды и ее экстремумов;*
- *более интенсивные и/или частые засухи;*
- *вторжение соленых вод в прибрежные зоны и речные дельты от повышающегося уровня моря;*
- *серьезные риски для энергетической безопасности и национальной экономики в результате чрезмерной зависимости от гидроэнергетики при непредсказуемости осадков, сочетаемой с экстремальными явлениями.*

*Источник:* Адаптировано из Yan & Pottinger, 2013

Сосредоточение такого рода последствий создает, так условно называемые, ***«горячие точки»*** водной безопасности, под которыми обычно понимаются области или места с различного рода непрекращающейся напряженностью или проблемами. Ожидается, что в такого рода «горя-

чих точках» последствия изменения климата для водных ресурсов нарушают социальную или экономическую стабильность, угрожают инфраструктуре или средствам к существованию и тем самым могут подорвать общую безопасность, усугубляя политическую и социальную напряженность, конфликты и существующую нестабильность. Особенно уязвимы районы со слабыми институтами или отсутствием эффективных механизмов трансграничного сотрудничества в области окружающей среды и безопасности.

«Горячие точки», включаемые в региональные оценки, как правило, базируются на мнениях экспертов и заинтересованных сторон и основаны на следующих соображениях:

- Существующая или потенциальная уязвимость к изменению климата;
- Существующие нестабильности и риски для безопасности;
- Наличие аналитических выводов о связях между изменением климата и безопасностью;
- Другие существующие политические, социально-экономические и экологические факторы.

## 2.3 Водная безопасность и гидроэнергетика в изменяющемся климате

Гидроэнергетика является одним из антропогенных факторов воздействия на поверхностные водные ресурсы и, следовательно, – на водную безопасность, связь ее с которой приобрела новые оттенки на фоне изменяющегося климата. Парижское соглашение по изменению климата, вступившее в силу в ноябре 2016 г, является по своей сути энергетическим соглашением, для реализации которого преобразование энергетического сектора как источника двух третей выбросов парниковых газов имеет чрезвычайно большое значение.

С этой точки зрения, гидроэнергетика – один из важнейших источников электроэнергии, который обеспечивает порядка 16% ее мирового потребления. Согласно прогнозам Международной энергетической ассоциации[3], в период с 2010 г по 2035 г она будет обеспечивать примерно

[3] *World Energy Outlook*, 2012, International Energy Agency. http://www.worldenergyoutlook.org/weo2012/

половину от почти трехкратного производства электроэнергии из возобновляемых источников (ВИЭ). Благодаря созданию локальных и, как правило, относительно недорогих ВИЭ, гидроэнергетика поддерживает устойчивое развитие, снижая зависимость стран от импортируемого топлива с риском волатильности его цен, неопределенностей в предложениях и необходимости в иностранной валюте. Гидроэнергетические комплексы предполагают также многочисленные сопутствующие выгоды, в т.ч. накопление воды для бытовых, коммунальных и сельскохозяйственных нужд, обеспечение водой в период засух, предотвращение наводнений, расширение рекреационного потенциала и т.д.

Сегодня во всем мире ГЭС, в первую очередь гидроаккумулирующие электростанции (ГАЭС), служат также гарантом технологической безопасности эксплуатации атомных электростанций (АЭС). Благодаря своим маневренным возможностям они обеспечивают штатные режимы эксплуатации энергоблоков АЭС, выполняя функции регулирования минимальных и максимальных электрических нагрузок в энергосистеме с использованием преимуществ в быстродействии и высокой готовности к пуску. Ограниченный диапазон регулирования крупноблочных агрегатов АЭС и невозможность их частых пусков и остановов без резкого снижения надежности и экономичности работы затрудняет самостоятельное покрытие ими графиков электрических нагрузок.

Отсюда, по образному выражению Международного Энергетического Агентства (IEA, 2016), «энергия и вода не могут быть друг без друга». И эта взаимозависимость в ближайшие годы будет только усиливаться, поскольку потребности в воде для развития энергетики, равно как и потребности в энергии для водоснабжения, постоянно растут. Вода имеет важнейшее значение на всех этапах производства энергии. На энергетический сектор приходится 10% глобального водозабора, в основном для обеспечения работы электростанций, а также для добычи ископаемого топлива, и эти потребности возрастают, особенно в отношении потребленной воды. В частности, широкое развертывание широко обсуждаемой атомной энергетики увеличивает, как забор воды, так и ее потребление. С другой стороны, в 2014 г около 4% мирового потребления электроэнергии было использовано для извлечения, распределения и очистки воды и сточных вод, наряду с 50 млн. тонн нефтяного эквивалента тепловой

энергии, в основном дизельного топлива, необходимой для работы ирригационных насосов, и природного газа – для работы водоопреснительных установок. Прогнозируется, что в период до 2040 г количество энергии, потребленной в секторе водоснабжения, более чем удвоится; к примеру, на Ближнем Востоке с водоснабжением будет связано 16% потребляемой электроэнергии (IEA, 2016).

Как результат, в условиях изменения климата отслеживание взаимозависимости энергии и воды имеет решающее значение для перспектив успешной реализации ряда целей в области устойчивого развития. Меры по борьбе с глобальным потеплением и его последствиями в некоторых случаях могут обострить проблемы с дефицитом воды, но в то же время, могут быть сами ограничены доступностью водных ресурсов. Если для некоторых ВИЭ, таких как ветровая и солнечная энергетика, требуется очень мало воды, то чем больше процесс декарбонизации полагается на биотопливо, атомную энергетику и особенно – на гидроэнергетику, тем больше воды он потребляет.

Гидроэнергетические проекты зачастую пропагандируются национальными правительствами и другими субъектами как «чистый и зеленый» источник электроэнергии, а также выигрывают в проектах и грантах международной финансовой поддержки как одно из средств сокращения выбросов парниковых газов. Именно с этой точки зрения многие страны наращивают свою гидроэнергетическую экспансию; многочисленные ГЭС существуют или планируются для строительства и на большинстве крупных рек Черноморского бассейна. О ситуации в этом вопросе на Днестре будет сказано в последующих разделах.

Однако взаимосвязь гидроэнергетики, изменения климата и водной безопасности является не столь однозначной.

Прежде всего, любая ГЭС требует перекрытия реки для создания хранилища для накопления воды. Из построенных в мире 50 тысяч крупных дамб около 5 тысяч предназначены исключительно для производства гидроэлектроэнергии. В то же время, последствия для окружающей среды от такого накопления воды менее известны, хотя река намного более серьезная природная система, нежели просто источник пресной воды. Со своими берегами, поймами, ямами или бродами реки являются одними из самых богатых по своему биологическому разнообразию экологических систем, и как таковые они подвержены серьезному разрушению

гидроэнергетикой. Некоторые наиболее принципиальные экологические последствия эксплуатации плотин и ГЭС, включая и те, что уже выявлены в Черноморском бассейне, можно суммировать следующим образом:

- Гидроморфологические изменения русла и поймы реки, которые вызывают изменения в ее естественной структуре, включая глубину, ширину и режим стока; расчленение водно-болотных угодий, пойм и мест обитания, а также прерывание естественного переноса отложений, имеющих решающее значение для поддержания здоровья биоты реки; аккумуляция горных пород, песка и других природных материалов в водохранилищах, а не их диспергирование через меандры реки. Изучая это явление, Г.И. Швебс (1974) отметил, что водохранилища, построенные на больших реках, могут в 2-2,5 раза уменьшать сток наносов на расстоянии до 20 км от плотины, при этом путь, на протяжении которого происходит восстановление естественного стока наносов, зависит от уклона реки: чем он больше, тем больше расстояние, требуемое для восстановления;
- Прерывание стока рек изменяет гидрологию их бассейнов, ибо в результате возведения плотины в определенной части реки фактически создается слабопроточный пруд, где полностью меняются физические и химические характеристики воды. Как полагают некоторые исследователи, например, Станкевич-Волосянчук (2017), «вода, вытекающая из водохранилища – это уже не речная вода, а озерная». Это значит, что она скуднее на взвесь, которая осталась в водохранилище, и поэтому обладает большей кинетической энергией и сильнее пробивает дно реки. В качестве примера цитируемый автор приводит р. Висла в Польше на ее выходе из Влоцлавекского водохранилища, дно которой опустилось после строительства дамбы более чем на 10 м. Это приводит к сильнейшему дренажу грунтовых вод и повышенному осушению долины вниз по течению. Судя по всему, этот фактор является отчасти причиной исчезновения воды в колодцах сельских дворов, уровень воды в которых тесно связан с уровнем воды в реках;
- Нарушение правил эксплуатации водохранилищ подчас провоцирует «рукотворные» паводки и наводнения или локальную нехватку воды. Например, наводнения в Молдове и Украине в августе 2010 г были вызваны резким сбросом воды из Днестровского водохранилища, а гидрологическая засуха в водно-болотных угодьях Нижнего Днестра в 2012 г – наоборот, ее недостаточным весенним попуском;

- Перекрытие рек плотинами сказывается на разнообразии видов рыб (особенно редких) и на традиционных путях их миграции к местам кормления и нерестилищам, что может привести к прекращению их дальнейшего размножения и даже исчезновению;
- В теплое время года водохранилища ГЭС подвергаются термической стратификации с более высоким уровнем растворенного кислорода в верхних слоях воды и его низким уровнем – на дне водохранилища, главным образом, из-за накопления здесь органических осадков. Повышенная нагрузка питательных веществ приводит к снижению содержания кислорода в воде, поскольку разложение органических веществ ведет к его более высокому потреблению. Но так как вода для турбин обычно берется из нижних слоев водохранилища, то низкое здесь содержание кислорода влияет на ее качество вниз по течению. Более того, стратификация температур в водохранилищах усложняет выживание водного разнообразия, возникающего при естественном температурном цикле, способствуя развитию эвтрофикации;
- Строительство гидроэлектростанций и плотин для «покорения» рек сопровождается рядом косвенных последствий, вызванных затоплением сельскохозяйственных земель и охраняемых территорий, строительством линий электропередач и подъездных путей, а также другими инженерными работами, которые объективно представляют собой опасное вторжение в окружающую среду и гидрологию водосборов;
- Развитие гидроэнергетики на трансграничных реках может вызвать конфликты между странами, в которых находятся источники гидроэнергетики, и странами, расположенными ниже по течению, или соседними прибрежными странами. Такого рода конфликтные ситуации находятся в стадии постоянного обсуждения, например, между Словакией и Венгрией, Монголией и Россией, Молдовой и Украиной, и создают потенциальную опасность для водной безопасности этих стран.

И, наконец, с точки зрения изменения климата, все большее число научных исследований показывает, что водохранилища, особенно в жарких странах, являются значительным источником глобального загрязнения атмосферы парниковыми газами. Хотя гидроэнергетика рассматривается как один из факторов смягчения последствий изменения климата, в реальности же водохранилища выделяют громадные количества угле-

кислого газа ($CO_2$) и метана ($CH_4$), образующегося при гниении и разложении растительных остатков без участия кислорода.

Так, по оценкам бразильских исследователей, в 2007 г метан из водохранилищ крупных ГЭС отвечал за примерно 4% антропогенных изменений климата (Yan & Pottinger, 2013). Парниковые газы выбрасываются с поверхности водохранилищ, на их водосбросах и десятках километров реки вниз по течению. Эти выбросы возрастают по мере потепления климата. Так, ГЭС с большими водохранилищами в тропиках могут оказывать гораздо большее влияние на глобальное потепление, нежели установки на ископаемом топливе, вырабатывающие эквивалентное количество электроэнергии.

«Топливом» для эмиссий ПГ является также гниение органического вещества из растительности и почв, затопляемых при заполнении водохранилища. Углерод в планктоне и растениях, которые живут и погибают в водохранилище, детрит, вымытый из водораздела выше, и сезонное паводковое затопление растений вдоль балок и берегов водохранилища – все это способствует тому, что выбросы продолжаются в течение всего срока службы водохранилища. Уровни выбросов широко варьируют между различными водохранилищами в зависимости от региона и типа затопленных экосистем, глубины и формы водохранилища, локального климата и того, как эксплуатируется плотина. Кроме того, легальные и незаконные рубки при строительстве плотин для очистки территории под затопление удаляют важные поглотители углерода.

Поэтому, всесторонние исследования по анализу выбросов жизненного цикла плотины сегодня важнее, чем когда-либо прежде, отчасти потому, что миллионы долларов в углеродных кредитах ищутся для поддержки проектов гидроэнергетики. Нынешние, все новые конструкции плотин требуют тщательной оценки выбросов ПГ и выбора проектов с низким уровнем выбросов. Как полагают многие ученые, например, Yan & Pottinger (2013), плотины, которые могут выделять столько же парниковых газов, что и обычная установка для ископаемого топлива, не должны разрабатываться в принципе.

Более того, изменение климата означает, что чрезмерная зависимость от гидроэнергетики может привести к серьезным рискам не только для водной безопасности, но и для энергетической безопасности как таковой, поскольку непредсказуемость осадков в сочетании с экстремаль-

ными погодными явлениями делает гидроэнергетику все более рискованным бизнесом. В последние десятилетия засуха уже оказала значительное влияние на производство энергии во многих регионах, где доминирует большая гидроэнергетика, и в некоторых местах производство электроэнергии сократилось наполовину (*ibid)*. Эти изменения иллюстрируют ошибочность важной концепции проектирования гидроэнергетики, известной как *стационарность*, которая исходит из того, что будущая гидрология является предсказуемой и может основываться на прошлых гидрологических данных, и что проекты, зависящие от воды, могут быть спроектированы так, чтобы быть надежными. Но изменение климата и вызванные им изменения в гидрологическом цикле привели к «гибели стационарности» и практической невозможности надежных прогнозов будущих режимов стока.

Механизм обратных связей в климатической системе и оценка их возможного нарушения в результате строительства и эксплуатации плотинных ГЭС, в связи с антропогенной трансформацией подстилающей поверхности на водосборных территориях зарегулированных речных экосистем, детально обсуждаются в монографии С.Г Шапхаева (2015). Ценность этой работы состоит в том, что учет изменения климата при проектировании и эксплуатации ГЭС рассматривается на основе природоохранных требований и законодательства по этому вопросу.

Таким образом, интенсивное развитие гидроэнергетики, даже с потенциалом генерации новых электрических мощностей, создает многочисленные вызовы водной безопасности, и возникающие экологические риски зачастую превышают вероятные выгоды. Исходя из этих соображений, всегда важно разумно взвешивать и контролировать все «за и против» этой формы энергии. При этом, несмотря на некоторые общие черты, в каждом речном бассейне существуют свои ощутимые различия, требующие внимательного и тщательного изучения и учета в процессе организации системы управления региональной водной безопасностью.

### 2.4 Водная безопасность и адаптация к изменению климата

Изменения в климате, в сочетании с социальными, политическими и управленческими последствиями, создают новые или усугубляют существующие проблемы с обеспечением водной безопасности, что генериру-

ет новые вызовы для адаптации к этим изменениям и смягчению их последствий. МГЭИК выделяет четыре ключевых момента в этой ситуации (Jiménez Cisneros *el al.,* 2014):

1) Основная часть глобальных расходов на адаптацию в водном секторе необходима для развивающихся стран и на местном уровне;

2) Адаптивный подход к водному менеджменту может в определенной степени «компенсировать» неопределенности в этом процессе, обусловленные изменением климата, но барьеры на пути прогресса включают отсутствие должного человеческого и институционного потенциала, финансовых ресурсов, общественной осведомленности и информации;

3) Надежность водоснабжения, которая, как ожидается, будет страдать от повышенной изменчивости доступных поверхностных вод, может быть усилена за счет использования подземных вод;

4) Некоторые принимаемые или предлагаемые меры, направленные на сокращение выбросов ПГ, предполагают риски для пресноводных систем. Здесь можно еще раз назвать негативные воздействия на пресноводные экосистемы, провоцируемые обсуждаемым выше необоснованным развитием гидроэнергетики.

Для усиления водной безопасности также необходимы инновационные адаптационные опции и мышление, при широком использовании традиционных знаний. Некоторые рекомендации в этом направлении *(Бокс 5)* были предложены в (UN-Water, 2010).

В качестве примера можно рассмотреть городские районы, где водная безопасность рассматривается как способность населения сохранить и защитить устойчивый доступ к адекватному обеспечению доброкачественной водой (Brears, 2016).

В последние годы в странах Восточной Европы и бывшего Советского Союза (впрочем, как и в остальном мире) наблюдается беспрецедентная миграция населения из сельских районов в городские. Учитывая, что в ближайшие десятилетия спрос на воду будет превышать ее предложение, а также в результате повышения температуры воздуха, крупные города, вероятнее всего, неизбежно столкнутся с проблемой нехватки воды. Традиционно, в случае повышения потребностей к воде, городские власти опирались на новые масштабные инфраструктурные проекты, такие как плотины и водохранилища – так называемая политика или экономика наращивания *('supply-side'management)*. Однако такое управление и та-

кие проекты являются экономически, экологически и политически дорогостоящими.

***Бокс 5*** **Некоторые рекомендации по улучшению водной безопасности путем адаптации к изменению климата**

- Включить адаптацию водных ресурсов в приоритеты более широкого контекста развития;
- Усилить управление и улучшить менеджмент воды и сточных вод;
- Совершенствовать и обмениваться знаниями и информацией об изменении климата и адаптационных мероприятиях, и инвестировать в сбор данных;
- Создать долгосрочную устойчивость водоснабжения через более сильные институты и инвестирование в инфраструктуру и хорошо функционирующие экосистемы;
- Инвестировать в экономически эффективное и адаптивное управление поверхностными, подземными и сточными водами, а также в передачу технологий;
- Использовать дополнительные фонды, как за счет увеличения национальных бюджетных ассигнований, так и за счет инновационных механизмов финансирования.

*Source:* Adapted from UN-Water, 2010.

*Экономически*, потому что вода зачастую должна перебрасываться на большие расстояния, что не только дорого, но и требует ее дополнительной очистки для пищевого потребления.

*Экологически*, поскольку крупномасштабная утечка воды, присущая такой переброске, нарушает общее состояние и жизнеспособность водных путей, поддерживающих водные экосистемы.

*Политически*, поскольку подавляющее большинство вод, как уже отмечалось, являются трансграничными, и «импорт» воды создает политическую напряженность с другими пользователями, независимо от того, находятся ли они в одной и той же стране или в других трансграничных странах. Недостаток воды может создавать и внутреннее политическое напряжение.

Поэтому, по мнению цитируемого автора (Brears, 2016), для достижения городской водохозяйственной безопасности необходимо переходить от политики наращивания предложения воды к менеджменту спроса на воду. Здесь, он видит 2 типа инструментов для достижения цели: (1)

экономические и нормативные, и (2) коммуникационные и информационные.

*Экономические и нормативные инструменты* включают: ценообразование на воду, стимулирующее снижение уровня потребления; субсидии и скидки на использование водосберегающих технологий; установка новых или модернизация существующих разработок, оборудованных водомерами и водосберегающими устройствами; воспрещение и контроль использования неучтенных бытовых водопотребляющих устройств.

*Коммуникационные и информационные* инструменты включают в себя просвещение населения о необходимости сбережения воды посредством разработки соответствующих программ и социально-ориентированной пропаганды, а также через внедрение школьных учебных программ, направленных на повышение с самого раннего возраста осведомленности населения о гидрологическом цикле и водной безопасности.

Таким образом, климатические угрозы, сообща с другими угрозами, или действуя в отдельности, сказываются на доступе к воде, а также качественной и количественной обеспеченности ею базовых потребностей населения, производственной сферы и экосистем. В результате, водная безопасность требует широкого согласования адаптационных усилий между различными категориями пользователей, совместно использующих водные ресурсы. Такое сотрудничество может быть достигнуто лишь в том случае, если политики и руководители всех уровней реально лидируют в этом процессе, принимают жесткие решения, осуществляемые в рамках, обеспечивающих защиту и сохранение жизненно важных экосистем, и следуют им, обеспечивая при этом их необходимое финансирование и реализацию.

# Часть 3 Водная безопасность в речном бассейне

## 3.1 Бассейн Днестра как пример крупной реки[4]

### 3.1.1 Краткая физико-географическая справка бассейна Днестра, экологическое состояние и проблемы

Днестр – одна из крупных рек Украины и крупнейшая река Молдовы, которая берет свое начало в Карпатах на высоте 911 м над уровнем моря и впадает в Днестровский лиман – залив Черного моря, отделенный от него узкой косой. Общая длина реки – 1350 км, площадь бассейна – более 72 тыс. км$^2$ (Рис. 2).

Характерная особенность гидрографической сети Днестра – отсутствие больших притоков при наличии большого количества малых (более 14 тыс. притоков длиной до 10 км). В бассейне реки также насчитывается 65 водохранилищ и более трех тысяч прудов. В число водохранилищ входят Дубоссарское в Молдове и расположенный в Украине на границе с Молдовой гидроэнергетический комплекс, состоящий из основного и буферного водохранилищ, ГЭС-1 и ГЭС-2, а также гидроаккумуляционной станции ГАЭС с водохранилищем. Как будет показано ниже, строительство этого комплекса существенно изменило экологическую ситуацию и водную безопасность в бассейне реки.

[4] Содержание этого раздела в основном базируется на *«Стратегических направлениях адаптации к изменению климата в бассейне Днестра»* (ENVSEC, 2015) – результате совместной работы международных специалистов и организаций, прежде всего, Европейской экономической комиссии ООН и Организации по безопасности и сотрудничеству в Европе, со специалистами и организациями Молдовы и Украины, заинтересованными в охране и рациональном использовании природных ресурсов бассейна реки Днестр в условиях изменяющегося климата. Цитируемый документ опирается как на многочисленные национальные и зарубежные публикации, так и на специально организованные исследования в рамках выполнения соответствующего проекта и регулярные консультации специалистов двух стран и международных организаций.

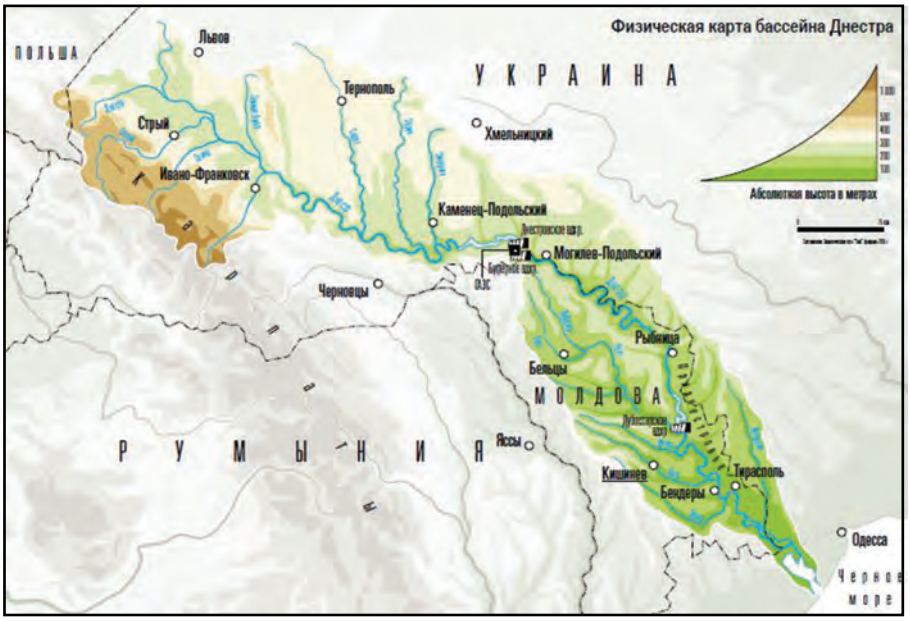



***Рис. 2*** Физическая карта бассейна реки Днестр[5]

По условиям питания, водного режима и физико-географическим особенностям русло Днестра делят на три части: *горную карпатскую* (формирующую около двух третей годового стока реки); *подольскую*, в среднем течении, с крутыми каньоно-подобными склонами и развитыми меандрами, и равнинную *причерноморскую*, с ее рукавами, озерами и обширными массивами регулярно затапливаемых плавней, представляющих большую природную и водоохранную ценность.

Средний объем годового стока Днестра – около 10 км$^3$. Около 60% годового стока приходится на летне-осенний период, 25% – на весенний период за счет снеготаяния; 15% составляет сток зимнего периода, формирующийся преимущественно за счет грунтового питания реки. Ежегодно на Днестре наблюдается до 5 паводков, при которых уровень воды может подниматься на 3-4 метра, а иногда и больше. Наибольшая амплитуда колебаний уровня (до 9-10 м) наблюдается на посту Залещики, выше Днестровского водохранилища. Максимальные расходы воды проходят как весной, так и летом, при этом паводковые расходы значительно вы-

[5] Этот и последующий иллюстрационный материал Раздела 3.1 цитируются по EnvSec *et al.* (2015)

ше, чем половодные. Минимальные расходы характерны для зимней межени и сентября-октября.

Естественные экосистемы бассейна Днестра представлены лесными и степными комплексами. Наземная растительность лучше всего сохранилась в Карпатах, где в горной части преобладают еловые и смешанные, а в предгорьях – лиственные леса. В остальной, преимущественно равнинной части бассейна природная растительность сохранилась лишь частично. Средняя лесистость бассейна достигает 14% на территории Украины (в Черновицкой области – около 30%) и 9% в Молдове (в Кодрах – до 24%), при наименьшей лесистости в Бельской степи и на южном левобережьи реки. Серьезную опасность для лесов, выполняющих важную роль регуляторов стока и качества воды, представляют продолжающиеся незаконные рубки, выпас скота и их загрязнение бытовыми, строительными и другими отходами. В среднем и нижнем течениях отмечается существенная фрагментация лесных массивов и других, еще сохранившихся природных участков (лугов, болот, степей).

Наибольшее ландшафтное и природное многообразие, а также высокая биологическая продуктивность характерны для приустьевой равнинной части бассейна. Днестровские плавни являются местом обитания значительного количества редких и исчезающих видов растений и животных, из которых наиболее ценными считаются птицы. С учетом роли поймы реки для гнездования, пролета и зимовки птиц, большая часть дельты Днестра, а также водно-болотный участок «Унгурь-Холошница» внесены в список водно-болотных угодий международного значения.

Днестр и его притоки являются основным источником водных ресурсов в регионе, обеспечивая водой сельское хозяйство, промышленность и многие населенные пункты, включая областные центры и крупные города Молдовы и Украины. В настоящее время нет оснований говорить о серьезной водной безопасности в бассейне Днестра в целом, однако сохранение такого положения на длительный срок в большой степени зависит от будущих изменений в водном режиме реки и развития экономической ситуации в обеих странах. Также пока нет оснований для утверждения о необратимости изменений во всем природном комплексе бассейна, так как сохраняются естественные для уникальных водно-болотных угодий и поймы Днестра состав растительного и животного мира, соотношения разных биогеографических комплексов и экологическая зональность. Тем

не менее, их дальнейшая устойчивость в условиях изменяющегося климата возможна лишь при условии экологически обоснованного режима управления водными ресурсами реки и бассейна в целом, снижения уровня загрязнения окружающей среды и антропогенного воздействия на нее.

К настоящему времени значительная часть территории бассейна распахана (сельскохозяйственные угодья занимают около 70% его площади), что помимо изменения природных ландшафтов приводит к деградации и эрозии почв с последующим загрязнением поверхностных и подземных вод продуктами смыва. Свой «вклад» в загрязнение вод вносят и точечные источники – предприятия животноводства, коммунального хозяйства и промышленности. Основная часть систем очистки сточных вод физически и морально устарела, эксплуатируется без реконструкции более 25-30 лет и не соответствует технологическим требованиям. Несмотря на это, практически повсеместно, за исключением устьевого участка, качество днестровской воды пока удовлетворяет требованиям практически всех водопользователей. Иная ситуация наблюдается на притоках реки, особенно в среднем и нижнем течении Днестра; их маловодность в сочетании с интенсивным загрязнением и антропогенной трансформацией делает многие из них непригодными для любого вида водопользования, включая массовый отдых.

Структурные подходы к ослаблению отрицательных последствий наводнений и засух, в частности, строительство в 1954-1983 годах комплекса русловых водохранилищ, частично смягчили остроту этой проблемы, но, в свою очередь, создали новые. Так, специалисты отмечают влияние водохранилищ на сезонный и суточный режимы стока Днестра, его температурный и кислородный режим, прозрачность и состав воды вниз по течению. Наблюдаемые изменения серьезно повлияли на экосистему реки, ухудшив условия обитания, миграции и нереста рыб, препятствуя нормальному воспроизводству планктона и нанося значительный ущерб природным сообществам днестровских плавней. Отмечается также усиление эвтрофикации реки, в том числе повсеместное зарастание Днестра водной растительностью, ранее характерной только для приустьевой части. Возведение Днестровских плотин практически полностью прервало естественное пополнение твердого стока (песка и гравия) ниже плотин, в результате чего снижается способность реки к самоочи-

щению, нарушается стабильность русла и берегов, разрушаются еще сохранившиеся нерестилища рыб, использующих песок и гальку в качестве субстрата. Дополнительными факторами ухудшения состояния рыбных сообществ стали осушение обширных площадей поймы Днестра и его притоков в 1950-1965 годах, массовое строительство прудов и водохранилищ на малых реках и браконьерство. Лишь Днестровский лиман в целом сохранил высокую продуктивность и видовое многообразие рыбных сообществ, однако и здесь ряд видов практически исчез, а их место заняли другие, в том числе, виды-вселенцы.

Основная часть экологических проблем Днестра имеет трансграничный характер и может быть успешно решена лишь с использованием механизмов трансграничного сотрудничества.

### 3.1.2 Ожидаемое изменение климата в бассейне Днестра

Прогноз возможного изменения климата в бассейне Днестра на период 2021-2050 годов, выполненный под руководством Украинского гидрометеорологического института (УкрГМИ), выявил тенденции, в целом аналогичные общеевропейским (Балабух, 2014). Проекции изменения температуры воздуха по ансамблю региональных климатических моделей *REMO-ECHAM5*, исходящих из сценария «умеренных» выбросов парниковых газов *(A1B)*, показал, что по сравнению с 1981-2010 годами к середине нынешнего столетия можно ожидать рост среднегодовой температуры, в зависимости от участка реки, на 1,0-1,2°С *(Табл. 1)*. При этом, повышение минимальных температур будет превышать рост максимальных, что приведет к уменьшению суточных амплитуд температуры. Наибольшее потепление следует ожидать в холодный период года, особенно в зимние месяцы.

Одновременно с ростом температуры воздуха ожидается изменение и режима увлажнения, так как общее количество суммарных годовых осадков существенно не изменится, лишь при их возможном некотором перераспределении между сезонами и месяцами (рост зимних осадков и их небольшое снижение в остальные сезоны). Вполне вероятно удлинение бездождных периодов, но при этом возрастут интенсивность и повторяемость сильных осадков (особенно ливней) и неравномерность их распределения по территории. Таким образом, в целом по бассейну

можно ожидать более мягкую и влажную зиму, но более жаркое и сухое лето, теплый и влажный сентябрь, но более засушливую и в целом теплую осень.

***Таблица 1*** Ожидаемое изменение средней температуры воздуха *(T)* и осадков *(P)* в бассейне Днестра в 2021-2050 годах по сравнению с 1981-2010 годами

| Сезон | Участок бассейна | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***Бассейн в целом*** | | ***Верхнее течение*** | | ***Среднее течение*** | | ***Нижнее течение*** | |
| | T, °C | P, % | T, °C | P, % | T, °C | P, % | T, °C | P, % |
| *Зима* | +1,2 | +9 | +1,1 | +10,0 | +1,2 | +6-7 | +1,2 | +8-11 |
| *Весна* | +0,7 | -0,6 | +0,7 | +0 – 1,5 | +0,7 | -1,0 | +0,8 | -3,0 |
| *Лето* | +1,0 | -1,0 | +1,0 | -1,0 | +1,0 | -1– 0,2 | +1,2 | -7 – 4 |
| *Осень* | +1,3 | -5,0 | -1,3 | -2,8 – 1,5 | +1,3 | -10 – 7 | +1,4 | -11 – 6 |
| ***Год*** | ***+1,1*** | ***+0,2*** | ***+1,0*** | ***+1,1 – 1,8*** | ***+1,1*** | ***-0,9*** | ***+1,2*** | ***-2,8 – 1,7*** |

Различия в ожидаемых изменениях температуры воздуха на различных участках бассейна незначительные *(Рис. 3)*; наиболее заметным будет ее повышение в нижнем течении. Обращает также на себя внимание уменьшение количества осадков летом в нижнем течении (на 4-7%) и осенью в нижнем и среднем течениях Днестра (на 6-11%). При этом возможно существенное (до 20%) увеличение максимальной интенсивности осадков.

Анализ развития экстремальных погодных явлений показал, что увеличение максимальной и особенно – минимальной температуры воздуха, уменьшение числа дней с морозами и с очень низкими ночными температурами, увеличение числа жарких дней, а также количества и неравномерности распределения экстремальных осадков, которые отмечались в бассейне Днестра с конца прошлого столетия, весьма вероятно, будут наблюдаться и к средине нынешнего. При этом возрастет и повторяемость таких явлений. Можно ожидать увеличение числа дождливых дней в верхнем и среднем течении, но засушливых – в нижнем, увеличение суточного количества осадков и их среднесуточного максимума. Наибольшие изменения ожидаются в теплый период, особенно в летние месяцы, в нижнем течении Днестра; здесь же ожидается наибольшее увеличение повторяемости интенсивных осадков. В осенние месяцы наиболее значимое увеличение среднего и максимального суточного количества осадков ожидается в верховье реки.

***Рис. 3*** Пространственное распределение ожидаемого изменения температуры воздуха и осадков в бассейне Днестра

### 3.1.3 Влияние изменения климата на сток Днестра

Несомненно, что при оценке водной безопасности ожидаемое изменение объема и сезонного распределения стока выделяется как одно из наиболее критических последствий изменения климата. С ожидаемыми изменениями стока связано возможное ухудшение качества воды и ряд других последствий для природных и социальных систем, в той или иной степени связанных с водопотреблением и водной средой в целом *(Табл. 2)*.

Проведенные расчеты указывают на вероятное снижение к 2050 году среднего и минимального стока в среднем и нижнем течении Днестра, при его некотором увеличении в верхней части бассейна *(Рис. 4)*. Поэтому, общий сток реки должен сохраниться. На территориях, зависящих от местного стока (в том числе, потребляющих воду из притоков, а не из основного русла Днестра), уменьшение среднего и особенно летнего минимального стока создаст дополнительную нагрузку на водоснабжение сельского хозяйства и населенных пунктов вследствие дальнейшего сни-

жения уровня поверхностных и подземных вод и ухудшения качества воды. От снижения уровня и качества воды пострадают также водные и околоводные экосистемы и ихтиофауна, существование которых непосредственно связано с гидрологическим режимом водотоков и водоемов; снижение уровня подземных вод повысит уязвимость лесных экосистем.

***Таблица 2*** Влияние изменений в водной среде на различные отрасли и ресурсы в бассейне Днестра

| **Отрасль** | **Много воды** *(паводки и наводнения)* | **Мало воды** *(снижение стока, засухи)* | **Качество воды** | **Воздействия, не связанные с водной средой** |
|---|---|---|---|---|
| ***Сельское хозяйство*** | •• | ••• | •• | ••• |
| ***Водоснабжение*** | •• | ••• | ••• | • |
| ***Инфраструктура*** | ••• | • | • | ••• |
| ***Здоровье*** | ••• | • | ••• | ••• |
| ***Экосистемы*** | •• | ••• | •• | ••• |

*Примечание:* • слабая связь •• средняя связь ••• сильная связь

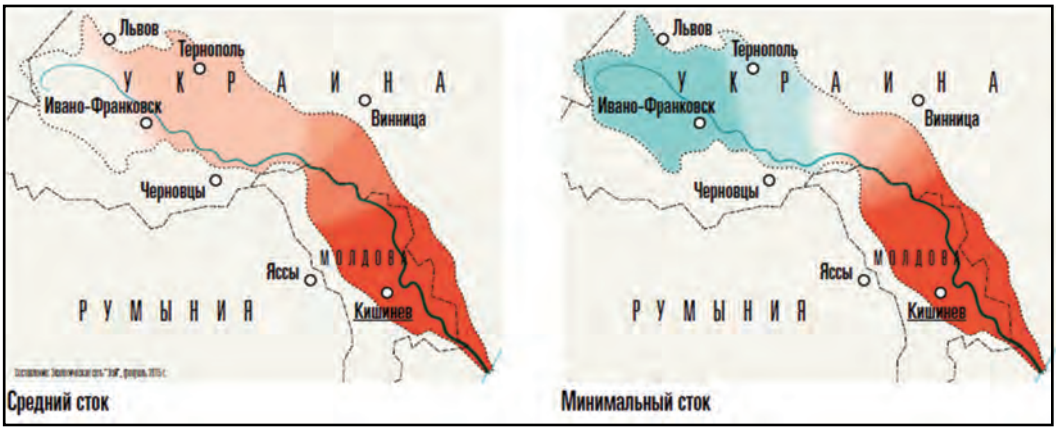



***Рис. 4*** Ожидаемое изменение водного стока Днестра в 2021-2050 годах по сравнению с 1971-2000 годами

Более того, даже при отсутствии в будущем значимого изменения общего объема стока, ожидаемое повышение летних температур и учащение периодов засушливости неизбежно скажутся на потребностях в

воде как природных, так и социально-экономических систем. Это обострит ситуацию в засушливые годы и наряду с ожидаемым в целом долгосрочным перераспределением стока Днестра в пользу верхнего течения еще больше повысит зависимость природы и экономико-социальной сферы в нижнем течении реки от режима работы комплекса днестровских водохранилищ.

При снижении среднего и минимального стока следует ожидать общего ухудшения качества воды вследствие снижения ее разбавляющей способности, особенно на малых реках и притоках Днестра. Более того, рост температуры воды, снижение скорости течения и водообмена неизбежно приведут к падению содержания кислорода и активизации сопутствующих неблагоприятных процессов (например, эвтрофикации водохранилищ). Интенсификация осадков и паводков и повышение зимних температур также могут привести к дополнительному поступлению в воду загрязнителей с дождевым и снеговым стоком.

Изменение климата в бассейне Днестра неизбежно обострит дилемму «много воды – мало воды».

В контексте данной работы условное понятие «*много воды*» подразумевает паводки и наводнения как экстремальное проявление водности Днестра, хотя, строго говоря, «воды много не бывает», особенно на фоне широко обсуждаемого ее приближающегося дефицита. Проблема заключается в том, как справиться с этим временным избытком, или как его грамотно использовать. Ведь паводки как естественное природное явление имели место всегда, не могут быть исключены в будущем и, в принципе, благотворны для «здоровья» реки и экосистем поймы. Но вследствие антропогенной трансформации русел рек и нередко избыточной хозяйственной деятельности в их поймах, а также подчас неграмотного управления сбросом излишков воды с водохранилищ, такого рода «рукотворные» наводнения нередко приводят к громадным убыткам хозяйству и населению Молдовы и Украины, подчас унося жизни десятков людей, как это, например, имело место в 2008 и 2010 годах.

Проведенные оценки показывают (Краковская и др., 2012), что хотя в целом за год число дней с паводками на водосборах Днестра и его притоков к середине нынешнего века может уменьшиться, в теплый период оно может вырасти на 20-30% в верхнем и на 10-20% в среднем течении, а летом – до 40% в верхнем, 20-30% в среднем и 10-20% в нижнем течении.

При этом, практически на всей территории бассейна можно ожидать существенного увеличения интенсивности паводков в теплый период, особенно значимого в верхнем (30-40%) и нижнем течении (до 65%). В среднем течении возможно значительное (до 80%) увеличение интенсивности паводков летом; самые большие изменения можно ожидать в сентябре, когда на отдельных притоках интенсивность локальных паводков может возрасти в 2-3 раза *(Рис. 5).*

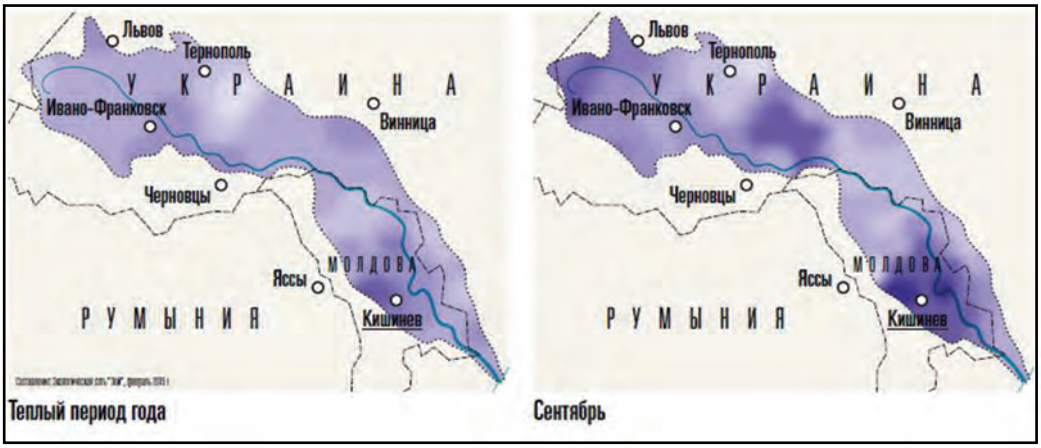



***Рис. 5*** Ожидаемое изменение средней водности паводков в бассейне Днестра в 2021-2050 годах по сравнению с 1971-2000 годами

С другой стороны, южные районы Украины и Молдовы традиционно страдают от нехватки воды, вследствие чего относятся к области «рискованного земледелия». Местные водотоки склонны к истощению, вплоть до их полного обмеления в засушливые годы, как это наблюдалось, например, в 2007 г, когда по оценке Мирового банка засуха в Молдове охватила территорию с населением более миллиона человек. В пределах бассейна Днестра граница территории с дефицитом водных ресурсов уже к концу прошлого столетия достигла наиболее густонаселенных районов, в т.ч. городов Тирасполь и Бендеры (Sîrodoev & Knight, 2007). Дальнейшее потепление сдвинет границу этой зоны еще дальше к северу.

По некоторым оценкам, с точки зрения бассейна в целом, в настоящее время нет оснований говорить о дефиците водных ресурсов, так как при любом реалистичном экономическом прогнозе до середины XXI ве-

ка, за исключением острозасушливых лет, общие потребности в воде должны обеспечиваться существующим стоком Днестра. Тем не менее, вследствие огромного воздействия на использование водных ресурсов состояния производства, экономические тренды сказываются на устойчивости обеспечения водой, как одном из элементов водной безопасности, намного сильнее, нежели колебания в объеме потребления, вызываемые изменчивостью и изменением климата. Далеко не однозначна и ситуация для отдельных регионов.

В частности, хотя крупные реки являются основным источником воды, не все население имеет к ним равный доступ – *еще один элемент водной безопасности*. Так, в Молдове наибольшее расстояние между населенным пунктом и ближайшим водоемом составляет порядка 6 км. Если эту цифру принять в качестве некоего порога, то окажется, что в 6-км зоне Днестра проживало (по состоянию на 2009 г; Sîrodoev, 2009) 930 тыс. человек, или порядка 30% населения Молдавской части бассейна реки. Остальное население было вынуждено полагаться на различные системы водоснабжения, предназначенные для транспортировки воды от крупных рек, или на местные водные ресурсы, зачастую более плохого качества, или полностью непригодного для питья (Коробов и др, 2014). В засушливые годы по-прежнему не гарантировано водоснабжение потребителей, зависящих от стока малых рек, который на юге Молдовы и Украины в засушливые годы практически исчезает, и от уровня и состояния грунтовых вод. В Молдове около 50% населения используют неглубоко залегающие водоносные горизонты, поэтому засухи 2007 и 2012 годов привели к массовому обмелению колодцев.

В качестве одного из наиболее свежих примеров можно привести село Биличений Векь Сынжерейского района Молдовы, где вследствие засух за последние годы высохло 220 колодцев и родников, а в некоторых других уровень воды не превышает 70 см, или вода в них непригодна для употребления, что оставило многих жителей села практически без воды (*publika.md* от 21 июля 2017 г). Доступ к питьевой воде имеет лишь четверть сельчан, при этом местные власти обещают решить проблему только через три года, когда село подключат к водопроводу Сорока-Бельцы. Даже ремонт своими силами имеющейся в селе артезианской скважины, необходимой для обеспечения водой школы и детского сада, требует порядка 200 тыс. леев, что является немалой финансовой нагруз-

кой для этого небольшого населённого пункта (около 3 тыс. жителей). Из-за дефицита воды многим жителям села пришлось отказаться от разведения домашнего скота, за исключением птиц, а местные аграрии жалуются на низкий и не пригодный для продажи урожай овощей. Большинство сельчан не может также пользоваться современными коммунальными услугами. Иными словами, можно вполне констатировать угрозу потери селом водной безопасности по всем ее критериям.

### 3.1.4 Развитие гидроэнергетики на Днестре в аспекте водной безопасности региона

В настоящее время, на Днестре функционируют два крупных гидроэнергетических комплекса: Дубоссарская ГЭС – первенец большой электрификации Молдавии, сданная в эксплуатацию в 1955 г, и Днестровский гидроэнергетический узел вблизи Молдо-Украинской границы, который включает ГЭС-1, с Днестровским водохранилищем глубиной у плотины более 55 метров, и ГЭС-2, расположенную в 20 км ниже по течению и питающуюся водой из буферного водохранилища (Рис. 6).

***Рис. 6*** Днестровский гидроэнергетический узел

*Источник:* Хильчевский и Гребня, 2014

Строительство ГЭС-1 началось в 1973 г, а последний, шестой агрегат был поставлен под промышленную нагрузку в декабре 1983 г. Строительство ГЭС-2 было начато в 1982 г, в августе 1999 г был пущен первый агрегат и в декабре 2002 г – последний, третий агрегат. Первоначально планируемое и начатое в 1983 г сооружение гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС), ввиду отсутствия средств и политической нестабильности, было затем заброшено, и к нему вновь приступили значительно позже, уже в независимой Украине[6].

**ГЭС и плотины Днестровского гидроэнергетического узла**

***Слева вверху:*** Главный корпус ГЭС-1

***Справа вверху:*** Днестровская ГЭС-2

***Слева внизу:*** Буферное водохранилище – источник воды для Днестровской ГАЭС

*Фото:* И. Тромбицкий и И. Русев

В результате строительства Днестровского гидроэнергоузла, значительная часть среднего течения реки была преобразована в водохранилища, что вызвало ряд неизбежных и не до конца предусмотренных при проектировании экологических и иных проблем, непосредственно сказывающихся на водной безопасности в бассейне Днестра в целом.

[6] Более детальное описание Днестровского гидроэнергоузла и истории его создания можно найти в Zubcov *et al.* (2017) и Хильчевский и Гребня (2014).

В соответствии с первоначальным проектом, основное назначение Днестровского водохранилища состояло в регулировании стока для нужд водоснабжения, орошения и судоходства, а также для выработки электроэнергии и борьбы с паводками. Для обеспечения запланированных в проекте функций предусматривалось, что в обычных условиях противопаводкая емкость водохранилища должна быть свободна и находиться в готовности к приему дополнительного стока. Однако в начале 1990-х годов буферная плотина энергокомплекса, изначально задуманная как механизм сглаживания и регулирования поступления воды в нижний бьеф реки во избежание высоких ежесуточных амплитуд уровня, была перестроена в ГЭС-2, с установкой трех гидрогенераторов и соответствующим изменением режима эксплуатации, уже нацеленного на решение исключительно энергетических задач. Тем самым, первоначальный режим работы ГЭС-2, направленный на снижение суточных колебаний пропуска воды, был изменен на другой режим, целью которого стала исключительно выработка гидроэлектроэнергии в периоды суток, когда потребность в ней наибольшая. В результате, произошли глубочайшие, преимущественно негативные, изменения экосистем нижележащей части бассейна Днестра, а функция выработки электроэнергии стала *де факто* доминировать над всеми остальными. Это поставило под вопрос учет интересов всех заинтересованных сторон, а также нижележащих экосистем, в т.ч. и в трансграничном контексте.

Прежде всего, перекрытие Днестра нарушило режим его естественного годового стока и, как следствие, изменило гидрологический режим реки. Прежде всего, был нарушен режим поступления воды в ее нижний створ ниже плотины ГЭС-2 – основополагающий аспект проблемы экологического состояния и функционирования экосистемы реки. Так, если согласно проектным документам минимальный постоянный санитарный (или критический) попуск воды должен быть здесь не менее 75 м$^3$/с даже в период аномально высокой засухи, то в первой половине 2016 и 2017 годов холостой попуск (мимо турбин) на протяжении 120 дней был около 0 м$^3$/с, 79 дней – 2-54 м$^3$/с, и только 1 день – 100 м$^3$/с (Zubcov *et al.*, 2017).

В результате зарегулирования Днестра, в последние годы на его среднем и нижнем участках практически исчезли характерные для реки весенние паводки, необходимые для нормального функционирования речной экосистемы и воспроизводства рыб, а в последние засушливые годы

возникли проблемы и с водоснабжением населения питьевой водой из Днестра. В то же время, был заполнен новый аккумулирующий водоем ГАЭС и созданы запасы в так называемом буферном технологическом водоеме ГЭС-2 за счет его существенного расширения и углубления. Иными словами, Днестр из горно-равнинной реки превращается в водоем озерного типа со всеми вытекающими отсюда последствиями. Так, уровень воды на среднем и нижнем участках Днестра формируется теперь не за счет воды из его верхнего горного участка, а за счет небольших притоков и подземных вод, которые в большинстве своем относятся к водам третьего типа. Это, естественно, сказывается и на самих подземных водах и притоках Днестра, что при сложившихся климатических изменениях в Причерноморье чревато неблагоприятными последствиями для водного баланса региона в целом.

Аккумуляция в Днестровском водохранилище весеннего паводка также отрицательно влияет на способность реки к самоочищению, убивая организмы, которые в естественном и полуестественном состоянии занимаются этой очисткой. Если раньше среднегодовые величины концентраций взвешенных веществ в Днестре составляли 70-100 мг/л, а в период весенних половодий – до 250-300 мг/л, то в настоящее время более чем в 80% случаев их количество не превышает 10 мг/л, с колебаниями в диапазоне 0,8-32 мг/л. При столь низком количестве естественных минеральных взвесей физико-абсорбционные процессы самоочищения воды были сведены к минимуму или снизились в десятки раз; одновременно, усилились процессы вторичного загрязнения.

Температура воды в Днестре весной и осенью, как правило, стала на 5-6 °С выше среднемноголетней, а летом – наоборот, ниже. В последние годы на подплотинном трансграничном участке реки Наславча-Атаки она практически варьирует в интервале 11-14 °С, не повышаясь выше 15-16 °С, и только в августе 2017 г, при температуре воздуха 37-38 °С и очень низком уровне воды, температура воды здесь достигла 19 °С у с. Унгры. В результате того, что ГЭС-1 забирает воду из нижних придонных слоев Днестровского водохранилища, имеющих стабильную в течение года температуру воды около 6 °С, в зимние месяцы ее поступление в нижний бьеф приводит к сохранению большого участка реки в незамерзающем состоянии. И, наоборот, в теплый период года поступающая в нижний бьеф вода имеет температуру ниже ее прежней естественной, что вызы-

вает задержку на 1,5–2 месяца нереста местных видов рыб и коренное изменение видового состава доминирующих рыб в пользу холодноводных видов, зачастую инородных и характерных для более северных широт.

Другим свойством воды, поступающей из придонного слоя, является ее высокая прозрачность. Холодная прозрачная вода в условиях большого количества солнечных дней содействует бурному развитию высшей водной растительности и водорослей на обширном нижерасположенном участке реки, что затрудняет доступ к субстрату для нереста и питания рыб литофильных видов. Отмирая, растительные остатки поступают с течением в Дубоссарское водохранилище, интенсивно формируя новые слои ила. Ежесуточные колебания уровня воды на этом участке реки вызывают регулярное обмеление литорали и отмирание бентосных организмов и отложенной икры рыб. Помимо этого, более холодная речная вода, по сравнению с ее естественными температурами, вызывает формирование в долине специфического микроклимата (Zubcov, 2012).

И, наконец, в настоящее время русло реки интенсивно зарастает высшей водной растительностью, а уровень воды падает до оголения дна реки (см. фото). Поступление холодной воды в летнее время и резкие перепады ее уровня приводят к усилению процессов гниения водной растительности и перифитона, что в конечном итоге ведет к вторичному загрязнению воды органическими веществами и понижению количества растворенного в ней кислорода.

Зарастание Днестра высшей водной растительностью и обмеление русла (с. Унгры)
*Источник:* Zubcov *et al.*, 2017

К сожалению, проблемы, вызванные гидростроительством на Днестре, не только не разрешаются, но демонстрируют предпосылки к дальнейшему углублению. В частности, несмотря на достаточно критические заключения различных научных институтов Украины и Молдовы, а также

многочисленные протесты общественных организаций, начиная с 2012 г, в Украине дан старт достаточно активно лоббируемой бизнесом политики массового развития гидроэнергетического потенциала горных рек Карпат. В частности, на Верхнем Днестре, с привлечением 400 млн. долларов иностранных инвестиций, планируется строительство каскада из 6 ГЭС (5 – русловых и 1 – деривационная). Сооружение этих ГЭС предусматривает перекрытие реки плотинами и создание водохранилищ, а следовательно – затопление немалых территорий плодородных прибрежных лессовых земель, заповедных территорий и нескольких национальных природных парков Украины, таких, например, как Вижницкий национальный парк с его знаменитым «Днестровским каньоном» (Грубинко и др., 2017). И если Днестр уже сейчас от Наславчи до Сорок и от Варницы до Паланки в отдельные годы находится в зоне экологического риска вследствие отсутствия поступления необходимого количества воды, то возведение еще нескольких плотин может создать проблему и для самих ГЭС.

Планируемые действия рассматриваются как часть правительственной Программы развития гидроэнергетики Украины до 2026 г, принятой 13 июля 2016 г. В то же время, как отмечают цитируемые выше авторы, общий прирост производства электроэнергии в стране от каскада Днестровских ГЭС составит лишь 0,5% в год, тогда как только за последние два года ее прирост в секторе альтернативной электроэнергетики, обеспечиваемой ветровыми и солнечными станциями, составил более миллиарда кВт·ч, что на 20% больше производительности предлагаемого каскада ГЭС.

В целом же, по имеющимся оценкам (Станкевич-Волосянчук, 2017), технический гидропотенциал горных рек Карпатского региона, включая малые реки, оценивается в 5,03 млрд. кВт*час/год, что составляет 61% общего гидропотенциала Украины и рассматривается как один из основных для развития ею возобновляемых источников энергии. Однако за последние годы эти реки заметно трансформировались. В частности, изменилась их сезонная водность, когда наблюдаются частые кратковременные пиковые уровни с паводками, наносящими серьезный урон местному населению, и длительные засушливые периоды, когда в селах высыхают колодцы. За последние 50 лет снижение грунтовых вод достигло здесь 2,5-3,0 м. Скорее всего, это результат действия совокупности факторов, вклю-

чающих как глобальные изменения в климате, так и наличие сплошных рубок леса, грунтовых эрозий и множества трелевочных волоков, вызванных применением устаревших методов ведения лесного хозяйства в горах, а также других антропогенных влияний. Кардинальные изменения гидрологического режима Днестра и его притоков в результате строительства новых ГЭС лишь усугубят эту тенденцию, так как нарушается режим природного стока и изменяется распределение влаги вдоль речных долин. Все это влечет за собой изменения в микроклимате и гидрологии региона, что неизбежно отразится и на объемах генерируемой электроэнергии.

Весьма сомнительно выглядит тезис и о том, что строительство новых ГЭС защитит расположенные в регионе населенные пункты и их жителей от наводнений. Скорее всего, как полагают авторы исследования этого вопроса (Грубинко и др., 2017), при паводках большинству из поселений будет нанесен дополнительный ущерб, в том числе и через создаваемые емкости для дополнительного форсирования, то есть подъема уровней воды в водохранилищах каскада. Если при естественных паводках подтопление или затопление территорий повышенного риска хотя и вероятно, но является кратковременным, то вода, наполнившая создаваемые водохранилища, просто поглотит часть расположенных на этой территории населенных пунктов; другая же их часть – окажется в зоне постоянного подтопления. Это связано с тем, что большинство поселений, например, в Днестровском каньоне, размещается на пологих берегах многочисленных меандров.

Аргумент о положительном воздействии гидроэнергетики на предотвращение наводнений с трудом может быть поддержан и потому, что на чисто природные предпосылки к увеличению риска наводнений накладывается и так называемый «человеческий фактор». В частности, именно неэффективное управление Днестровским гидроэнергетическим комплексом привело к усугублению ущерба, нанесенного наводнением 2008 г, который был оценен в 120 млн. долларов США.

На фоне возрастающего год от года дефицита воды, не подтверждаются практикой и регулярные ссылки на необходимость обеспечения стабильного уровня Днестровского водохранилища для обеспечения в нём нормального нереста рыб. Действительно, тренды популяций экономически и культурно значимых видов рыб являются одним из показа-

телей оценки водной безопасности с точки зрения здоровья экосистем (см. Раздел 4.1). Однако, рыбопродуктивность этого водохранилища несопоставима с продуктивностью дельты Днестра и Днестровского лимана, не менее нуждающихся в поддержании естественного режима стока реки. Так, если максимальные уловы в Днестровском лимане и нижнем Днестре в конце 80-х годов достигали в среднем 1211 т/год, с пиком 1500 т/год в 1988-89 годы (Снигирев, 2017), то биоресурсы Днестровского водохранилища уже сейчас истощаются и для устойчивого рыбного промысла требуют периодических пауз в их эксплуатации. Именно по причине необходимости восстановления рыбных биоресурсов, Государственным рыбным агентством Украины был введен запрет на промысел здесь рыбы, действующий в период с 1 января по 31 декабря 2017 г[7].

***Таким образом***, очевидно, что продолжение гидроэнергетического освоения Днестра не только угрожает водной безопасности региона, но и может привести к экологической катастрофе, так как коренным образом изменит гидрологию реки и приведет к дополнительным потерям стока. Поэтому, дальнейшее наращивание гидростроительств на Днестре не может считаться приемлемым. Черное море уже сейчас недополучает 40% пресной воды от своих рек-притоков, из-за чего уровень сероводорода в нем в 2012 г повысился на 2 м, в то время как 100 лет назад этот уровень ежегодно повышался лишь на 30 см (Замфир, 122). Не может полностью решить вопросы экологической безопасности бассейна Днестра от последствий гидростроительства и вхождение в силу с 28 июля 2017 г Днестровского бассейнового договора, хотя он и создаёт платформу для обсуждения его проблем и еще раз подчеркивает важность трансграничного подхода к обеспечению водной безопасности в этом регионе.

[7] http://news.meta.ua/single/2016-11-51615381/

## 3.2 Состояние малых рек как угроза водной безопасности (на примере реки Балцата)[8]

### 3.2.1 Краткая физико-географическая справка о бассейне р. Балцата

Малые реки, или реки с длиной русла от 10 до 100 км, играют немалую роль в формировании водных ресурсов, будучи в основном притоками рек более высокого порядка и тем самым внося свой вклад в формирование, как местного стока, так и стока крупной реки. В частности, гидрографическая сеть Молдовы насчитывает 126 таких рек.

К сожалению, обстановка на малых реках остается неблагополучной и не только вследствие их маловодности; в большинстве своем они загрязняются, трансформируются и высыхают, подчас находясь на грани полного исчезновения. Главной причиной такого положения в большинстве случаев является незаконное создание в бассейне этих рек искусственных водоемов и большого количества источников загрязнения от близлежащих населенных пунктов, которые сбрасывают свои хозяйственные отходы, как в постоянные, так и во временные водотоки в условиях плохой работы существующих очистных сооружений, а также неустойчивого землепользования. Проблема усугубляется тем, что во многих населенных пунктах водозабор из природных водоемов зачастую осуществляется арендаторами земель на личные нужды или на создание искусственных прудов незаконно, без соответствующего разрешения и наличия проектной документации. В таких случаях меняются русла малых рек, они лишаются своих истоков и притоков, а вода в них либо испаряется, либо уходит на другую глубину. Преобладание испарения над осадками, особенно в условиях дальнейшего потепления, в сочетании с интенсивным загрязнением и отсутствием водоохранных полос, ведет к высыханию малых рек, что серьезно сказывается на общем состоянии экосистем республики и делает большинство малых рек непригодными для любого вида водопотребления.

Для того, чтобы лучше понять последствия климатических и антропогенных воздействий на поверхностный сток водосборов бассейнов малых рек и с учетом полученных знаний разработать адекватные ответы на

[8] Описываемое в этом подразделе исследование проведено при активном участии Г.Н. Сыродоева, включая разработку им всего картографического материала.

возникающие проблемы и вызовы, а также принять обоснованные решения по их адаптации к новым климатическим условиях, было проведено специальное исследование в бассейне р. Балцата – достаточно типичной малой реки Молдовы.

Река Балцата – один из правых притоков Днестра *(Рис. 7)*. Площадь ее бассейна составляет 153,9 км$^2$, протяженность бассейна с северо-запада на юго-восток равна 27,47 км, а ширина – 7,74 км. С северо-запада к нему примыкает бассейн р. Икель, с юга – бассейн р. Бык, а с севера и востока бассейны других малых рек – притоков Днестра.

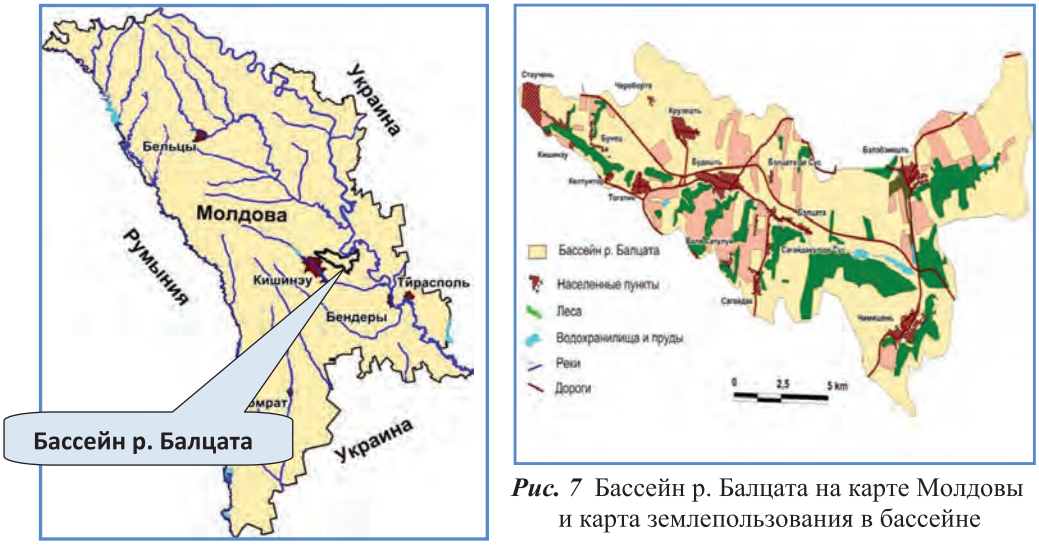



***Рис. 7*** Бассейн р. Балцата на карте Молдовы и карта землепользования в бассейне

Большая часть бассейна расположена в пределах степной зоны; меньшая, северо-западная – в лесостепной зоне. Рельеф бассейна преимущественно равнинный; в нижнем течении реки – это низкая, а в верхнем течении и водораздельной части – возвышенная равнина. Абсолютные отметки высот изменяются от 16 м до 219 м, составляя в среднем 120 м. Уклоны поверхности, от субгоризонтальных до крутых (около 17$^0$) склонов, в среднем составляют 4$^0$ 28′. Наиболее часто встречаются уклоны от 2$^0$ до 5$^0$, а горизонтальные поверхности составляют менее 0,1%. Преобладают экспозиции западных румбов (30%), несколько меньше – восточных (26%) и южных (26%) румбов, и еще меньше – северных и северо-восточных (18%) румбов.

Пруд в 2 км юго-восточнее с. Балцата

Пруд в 1,3 км северо-западнее с. Чимишень

Пруд в 2 км южнее с. Бэлэбэнешь

Устье реки при впадении в р. Днестр

*Состояние основного русла р. Балцата на ее отдельных участках*
(*Фото:* Г. Сыродоев)

В настоящее время река антропогенно трансформирована, в результате чего существенно изменился ее естественный сток, который практически весь аккумулируется в 4-х искусственных прудах: *3* – непосредственно в русле реки и *1* – на ее правом притоке в районе Балабанешты (Рис. 7; фото). Как следствие, основное русло реки фактически превратилось в мелкий водоток, включая в устье, при впадении ее в р. Днестр, и забор воды для серьезных практических нужд реально может осуществляться лишь с упомянутых искусственных водоемов.

### 3.2.2 Исторический сток реки Балцата

Регулярные инструментальные измерения стока реки осуществлялись на гидрологическом посту, расположенном возле с. Балцата, в период с 1954 года по 2012 год (после чего пост был закрыт), с трехлетним перерывом в 1958-1960 годах и шестилетним перерывом в 1978-1983 годах. Кроме того, данные первых лет наблюдений, а также часть данных после возобновления наблюдений в 1983 году не рассматривались как достоверные.

*Остатки гидрологического поста у с. Балцата*

Исходя из этого, для анализа водного стока реки были выбраны два примерно равных промежутка времени в начале и конце периода качественных наблюдений: с 1961 г

по 1976 г, и с 1996 г по 2012 г. Такой выбор позволил сравнить изменения, происшедшие в изучаемый период, как в общем объеме стока, так и в его годовой динамике и тенденциях изменения.

Следует также учитывать тот факт, что гидрологический пост Балцата был расположен в среднем течении реки и, следовательно, приводимые здесь результаты описывают лишь ту часть стока, которая формируется в верхней части бассейна. Однако, с другой стороны, эта часть водосбора менее всего подвержена антропогенным преобразованиям (например, здесь отсутствуют искусственные запруды непосредственно в русле реки), что позволяет предполагать, что наблюдаемые изменения в ее стоке преимущественно обусловлены изменениями в региональном климате в исследуемом периоде.

Сравнение сезонного и годового стока в два рассматриваемых периода (Табл. 3) отчетливо демонстрирует его сокращение во все сезоны, за исключением осенних месяцев, когда наблюдается рост. В частности, весенний сток с конца предыдущего и в начале текущего столетия сократился более чем на 40% по сравнению с 70-ми годами прошлого столетия; аналогично, на 15-20% сократился зимний и летний сток реки. В результате, примерно на 1/5 сократился и годовой сток.

***Таблица 3*** Сток р. Балцата в два периода наблюдений

| **Сезон** | **Период наблюдений** | | **Изменение стока** | |
|---|---|---|---|---|
| | *1961-1976* | *1996-2012* | Абс., *л/сек* | Отн., % |
| *Зима* | 49.0 | 41.7 | -7.3 | -15.0 |
| *Весна* | 77.9 | 46.4 | -31.5 | -40.4 |
| *Лето* | 49.3 | 38.7 | -10.6 | -21.4 |
| *Осень* | 35.6 | 41.8 | 6.2 | 17.4 |
| ***Год*** | ***53.0*** | ***42.2*** | ***-10.8*** | ***-20.5*** |

В годовом разрезе, максимальный месячный сток имеет место в марте и феврале, что особенно четко просматривается в начальный период его регистрации *(Рис. 8).* В те же годы, второй, значительно меньший пик стока наблюдался в июне-июле. Однако в последние годы февральско-мартовский пик стока заметно снизился, равно как и летний максимум, а на общем фоне выравнивания средних месячных значений увеличилась доля осеннего стока.

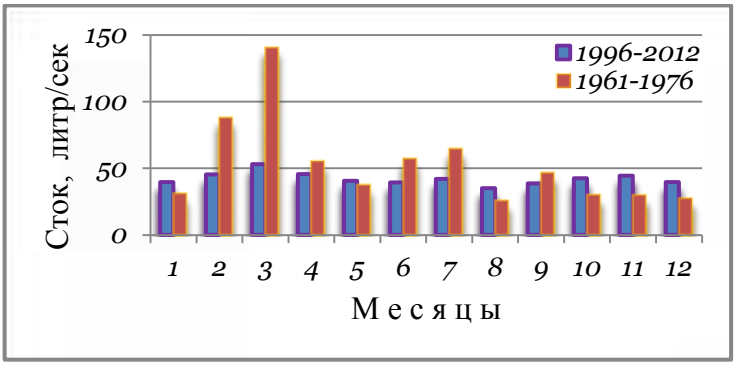
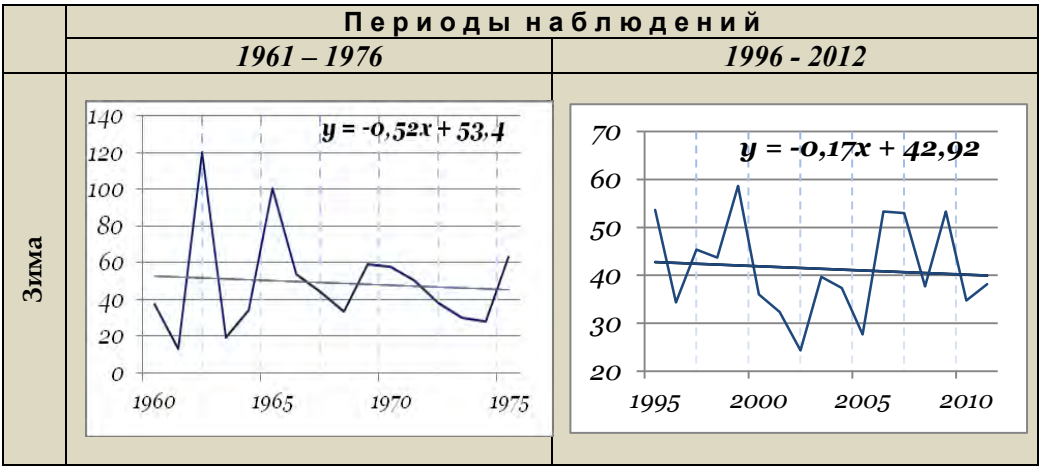



***Рис. 8*** Годовая динамика стока р. Балцата в два периода наблюдений

Рис. 9 демонстрирует межгодовую изменчивость и многолетние тренды в стоке реки. Как видно из графиков, в отдельные сезоны направления изменения стока, наметившиеся во второй половине прошлого столетия, сохранились и в настоящее время; в другие же сезоны – тренды изменений сменили знак на противоположный. В частности, продолжается уменьшение стока в зимне-весенний период, в то время как наблюдавшийся ранее рост летнего и осеннего стока сменился его сокращением в начале 1996-2012 годов. Это сокращение привело к общему уменьшению годового стока в среднем на 3,5 *л*/сек. Можно предположить, что наблюдаемые изменения связаны с изменениями температурно-влажностного режима в регионе.



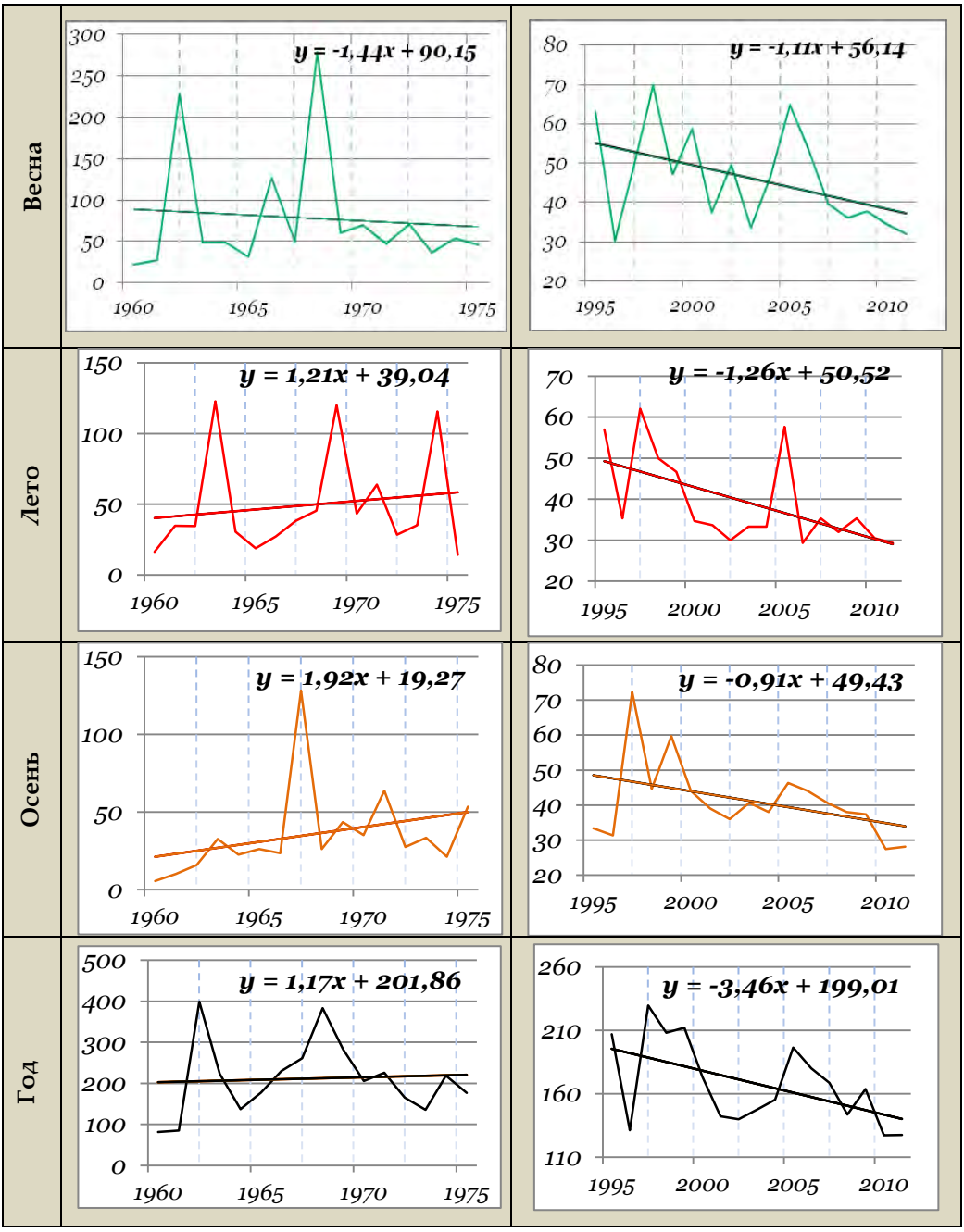



***Рис. 9*** Гидрографы и тренды стока р. Балцата в два периода наблюдений, л/сек

*Примечание:* Коэффициенты при ***x*** в уравнении тренда показывают среднее за год изменение речного стока в рассматриваемый период; ***x*** **-** порядковый номер года в ряду наблюдений.

Действительно, проведенный анализ изменения температурно-влажностного режима в бассейне р. Балцата (Коробов и Сыродоев, 2017) показал повсеместно наблюдаемый положительный тренд изменения температуры воздуха в 1981-2010 гг. для всех ее показателей и во все сезоны, хотя и с различной интенсивностью. Наиболее четко выраженный рост температуры воздуха наблюдался в теплый период, особенно летом, когда средняя температура воздуха (*Tср*) возрастала более чем на 0.8°C в десятилетие. Декадный рост Tср в остальные сезоны составлял порядка 0.5°C. Средняя годовая температура возрастала на 0.57°C в десятилетие. Так, если в 1981-1990 гг. она составляла на метеостанции Балцата 9.4°C, то в 1991-2000 гг. она была 9.8°C, а в 2001-2010 гг. – уже 10.4°C, т.е. за 30 лет выросла на целый градус. Аналогично средней температуре воздуха изменяются и ее максимальные и минимальные значения, с более интенсивным ростом минимальных, или ночных температур.

Это очень важный момент, зачастую не учитываемый в различного рода прикладных исследованиях, когда описывая «современный» климат используют данные середины прошлого столетия или даже более ранние периоды наблюдений. Новый, более теплый климат уже стал реальностью, к которой следует адаптироваться.

В отличие от температуры воздуха, изменения в *режиме осадков* не столь значимы. Их рост в пределах от 0.5 до 1.5 мм/год в оцениваемый промежуток времени наблюдался лишь в осенне-зимний период и весной, что при небольшом уменьшении летних осадков (0.7 мм/год) приводит к их приросту менее чем на 2 мм в год. Поскольку рост температуры воздуха не компенсируется пропорциональным ростом осадков, априори можно предположить усиление засушливости климата, а следовательно – и уменьшение поверхностного и речного стока.

Для проверки этой гипотезы была оценена регрессионная зависимость годового стока от температуры воздуха и осадков *(Рис. 10).*

Как и следовало ожидать, наблюдается обратная корреляционная связь между температурой воздуха и объемом годового стока р. Балцата, т.е. чем выше температура воздуха, тем меньше сток. Это объясняется тем, что рост температуры неизбежно сопровождается ростом испарения с поверхности земли и, как следствие, меньшей долей осадков, попадающих в русло реки. Хотя эта связь достаточно умеренная (коэффициент простой парной корреляции $r$ = 0,332 *(Табл. 4),* она статистически значи-

ма при уровне доверительной вероятности более 90% (*p-значение* = 0.07). Исходя из величины коэффициента регрессии можно также заключить, что увеличение среднегодовой температуры воздуха на 1°С ведет к сокращению годового стока примерно на 0,6 м$^3$/сек.

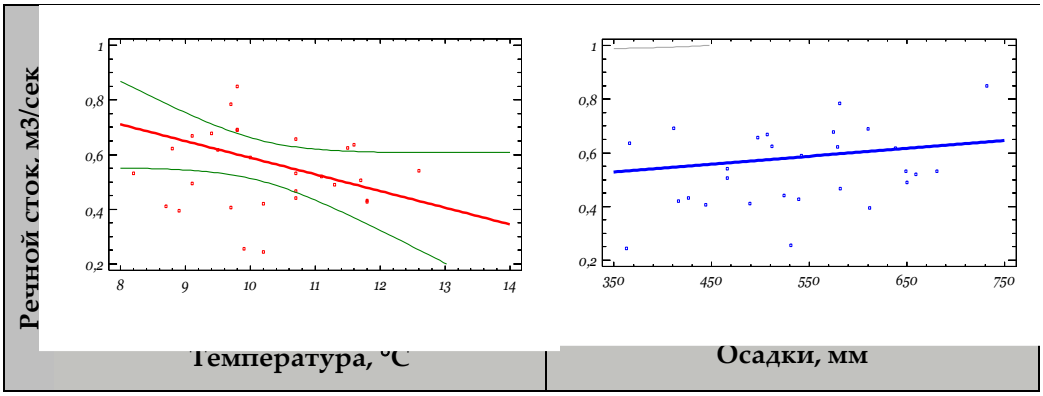



***Рис. 10*** Графики простой линейной зависимости годового стока р. Балцата от среднегодовой температуры воздуха и осадков

***Таблица 4*** Параметры линейной регрессионной зависимости годового стока р. Балцата *(Q, м$^3$/сек)* от среднегодовой температуры воздуха *(T)* и осадков *(P)*

| **Регрессия** | **Температура воздуха** | **Суммарные осадки** |
|---|---|---|
| ***Простая регрессия*** | Q = 1,196 – 0,061T<br>*r = -0,332; p = 0,068* | Q = 0,424 + 0,294*10$^{-3}$P<br>*r = 0,140; p = 0,452* |
| ***Множественная регрессия*** | Q = 1,063 – 0,059T + 0,208*10$^{-3}$P; *R = 3,465; p = 0,167* | |

Противоположная зависимость наблюдается для осадков: их рост сопровождается естественным увеличением стока. В частности, увеличение годовых осадков на 10 мм приводит к увеличению стока с водосбора реки в ее русло примерно на 0,3 мм$^3$/сек. Таким образом, прямое воздействие осадков формирует до 30% речного стока. Однако, наблюдаемая положительная связь крайне слабая (*r* = 0,14) и статистически незначима (*p-значение* = 0,45).

### 3.2.3 Гидрологическое моделирование водных ресурсов

Речной водосбор является сложной системой, на которую влияют климатические, геологические, почвенные, антропогенные и другие факторы. Характер процессов, свойственных поверхностной и подземной гидрологии, лучше всего исследуется путем гидрологического моделирования, симулирующего эти процессы в конкретных физико-географических условиях и на различных пространственных и временных интервалах. В последние годы в мире был разработан ряд концептуальных гидрологических моделей, которые все больше используются гидрологами и менеджерами водных ресурсов для понимания и решения широкого круга водных проблем.

Среди наиболее широко используемых водосборных и бассейновых моделей следует выделить так называемую Модель Оценки Почв и Воды *(Soil and Water Assessment Tool, SWAT),* разработанную в США и обобщающую результаты многолетнего труда различных научных центров страны по разработке ее отдельных компонентов. Благодаря глубокому научному обоснованию и открытому доступу, эта модель проявила себя как исключительно гибкий инструмент для решения широкого круга водных проблем. Сотни работ по ее использованию представлены на многочисленных научных конференциях и опубликованы в научных изданиях. В Молдове эта модель была впервые использована в рамках одного из международных проектов *(*Corobov *et al.*, 2015, 2016*)*, где она продемонстрировала большой исследовательский потенциал для решения широкого круга прикладных задач, хотя определенные ограничения, выявленные в ходе ее применения, показали необходимость широкого тестирования этой модели, исходно разработанной для специфических условий США. Детальное изложение практического использования модели *SWAT* для небольших водосборов и порядок ее тестирования можно найти в упомянутых выше работах, а также в Климатологическом и гидрологическом описании бассейна р. Балцата (Коробов и Сыродоев, 2016). Поэтому, ниже излагаются лишь основные моменты и результаты этого исследования.

В использованном нами *ArcSWAT* интерфейсе (Winchell *et al.*, 2013) гидрологический подход к моделированию стока базируется на пространственно распределенных климате, топографии, почвах и земле-

пользовании. «Движущей силой» модельных процессов является водный баланс, воздействующий на рост растений и движение связанных с водой природных компонентов. Моделирование гидрологии водосбора разделяется на почвенную фазу, которая определяет количество этих компонентов, попадающих в основное русло, и внутрирусловую фазу, представляющую движение воды в речной сети водосбора к его выходу. Для целей моделирования водосборный бассейн расчленяется на подбассейны, связанные между собой речной сетью, а затем – на так называемые Гидрологические Единицы Отклика *(ГЕО)*, классифицирующие участки, имеющие аналогичные по своим гидрологическим характеристикам почвы, землепользование, растительный покров и орографию; затем аналогичные ГЕО объединяются в единые кластеры. Такое дифференцирование позволяет отразить пространственную неоднородность водосборного бассейна, однако требует детальной пространственной информации по выбранным параметрам классификации, что возможно лишь при наличии соответствующих цифровых тематических карт и цифровой модели рельефа.

Использование модели SWAT позволяет решать целый ряд задач, из которых, исходя из целей настоящей публикации, было выбрано две:

(1) Оценка антропогенной нагрузки на бассейн р. Балцата как одного из факторов неопределенности в результатах моделирования стока, а соответственно – и потенциальных водных ресурсов ее водосбора;
(2) Оценка нынешнего и вероятного будущего поверхностного стока с водосбора реки.

Для решения каждой из названных задач были выбраны свои специфические наборы исходного материала и методики исследования.

#### *3.2.3.1 Оценка антропогенной нагрузки на бассейн*

Антропогенная нагрузка на бассейн р. Балцата косвенно оценивалась как разница между моделируемым поверхностным стоком с его водосбора, поступающим в основное русло реки, и ее реально наблюдаемым стоком. Априори предполагалось, что это расхождение обусловлено последствиями антропогенной трансформации как русла, так и водосбора реки, которое должно проявиться в процессе тестирования модели SWAT.

Для такого тестирования была выбрана верхняя часть водосбора реки – от ее истоков до одноименного гидрологического поста Балцата, где

осуществлялись измерения стока. Длина этого участка реки, условно названным *Верховье*, составляла 5,9 км, а дренажная площадь соответствующего подбассейна – порядка 54,5 км². Следуя основной цели тестирования, исследовательский подход включал использование SWAT для моделирования месячного и годового поступления воды в основное русло р. Балцата и его последующее сравнение с реально наблюдаемым стоком в выбранном створе. Период исследования включал 5 лет – с 1 января 2006 г до 31 декабря 2010 г. Статистика речного стока в этот период приведена в *Табл. 5*.

***Таблица 5*** Среднемесячный сток р. Балцата на одноименном гидрологическом посту

| Год | Месяцы ($м^3/с$) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* | *10* | *11* | *12* |
| *2006* | 0,032 | 0,046 | 0,093 | 0,049 | 0,052 | 0,056 | 0,066 | 0,051 | 0,048 | 0,046 | 0,045 | 0,005 |
| *2007* | 0,053 | 0,054 | 0,066 | 0,049 | 0,045 | 0,037 | 0,029 | 0,022 | 0,037 | 0,047 | 0,048 | 0,053 |
| *2008* | 0,054 | 0,056 | 0,053 | 0,055 | 0,011 | 0,045 | 0,036 | 0,025 | 0,034 | 0,033 | 0,055 | 0,049 |
| *2009* | 0,036 | 0,034 | 0,036 | 0,033 | 0,039 | 0,028 | 0,041 | 0,027 | 0,036 | 0,037 | 0,041 | 0,043 |
| *2010* | 0,047 | 0,072 | 0,036 | 0,04 | 0,037 | 0,037 | 0,036 | 0,033 | 0,036 | 0,039 | 0,037 | 0,041 |

Поступление влаги и энергии, определяющее водный баланс и соотношение различных компонентов гидрологического цикла в ненарушенной природной среде, зависит от региональных климатических условий. Климатические переменные, необходимые для моделирования, генерируются непосредственно в SWAT по их среднемесячным величинам. В предлагаемом исследовании, требуемые средние максимальные и минимальные температуры воздуха, а также месячные суммы осадков за тестируемые годы были взяты по данным наблюдений на ближайшей метеостанции Балцата.

Разбивка верховья реки на участки с однородными гидрологическими характеристиками *(колена реки)* и соответствующие подбассейны, или бассейны притока, осуществлялась на основе Цифровой Модели Рельефа (ЦМР), построенной по топографическим картам масштаба 1:25 000, векторизация которых обеспечила размер пикселя 10 м х 10 м, достаточный для гидрологического анализа *(Рис. 11).*

*Колена* реки определялись как части ее русла с площадью дренажа более 300 га, необходимой для формирования источника потока. В соответствии с этим критерием, выше гидрологического поста Балцата было идентифицировано 13 подбассейнов, со средней длиной *колена* порядка

1,8 км. Расположение гидрологического поста совпадает с выходом реки из водосбора *Верховья* и тем самым отражает всю его дренажную сеть, что необходимо для корректного сравнения смоделированного стока с реально наблюдаемым в этой точке. Дальнейшее разделение водосбора на *ГЕО*, основанное на доминантной категории землепользования, типа почвы и класса склона, позволило выделить 299 идентичных единиц отклика. Поверхностный сток моделировался отдельно для каждой ГЕО, с последующим его слиянием в общий сток с изучаемого водосбора.

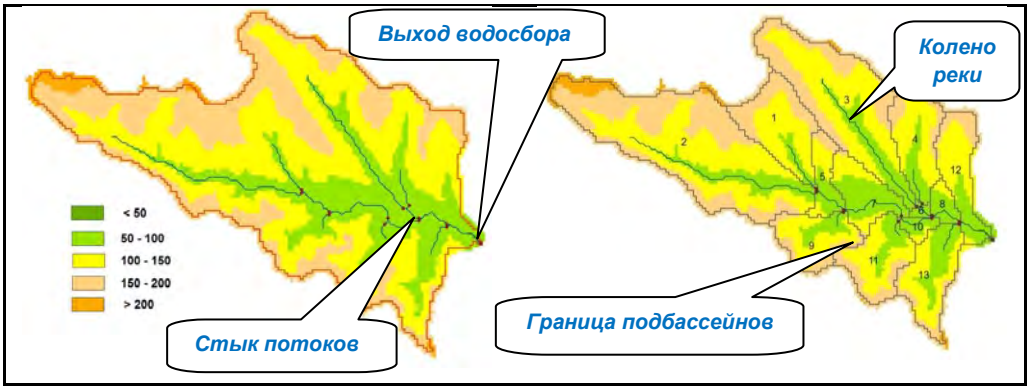



***Рис. 11*** Водосбор верховья р. Балцата и выходы подбассейнов, определяемые как точки соединения потоков, наложенные на цифровую модель рельефа *(слева)* и выделенные подбассейны *(справа)*

*Колена* реки определялись как части ее русла с площадью дренажа более 300 га, необходимой для формирования источника потока. В соответствии с этим критерием, выше гидрологического поста Балцата было идентифицировано 13 подбассейнов, со средней длиной *колена* порядка 1,8 км. Расположение гидрологического поста совпадает с выходом реки из водосбора *Верховья* и тем самым отражает всю его дренажную сеть, что необходимо для корректного сравнения смоделированного стока с реально наблюдаемым в этой точке. Дальнейшее разделение водосбора на *ГЕО*, основанное на доминантной категории землепользования, типа почвы и класса склона, позволило выделить 299 идентичных единиц отклика. Поверхностный сток моделировался отдельно для каждой ГЕО, с последующим его слиянием в общий сток с изучаемого водосбора.

Результаты *SWAT* моделирования для каждого года *(Табл. 6)* содержат суммарную информацию о каждом прогоне модели, включающую

статистики, позволяющие понять «идеологию» моделирования и оценки стока. В частности, *SWAT* разделяет поверхностный сток, формируемый осадками, на ту его часть, которая просачивается в почву и испаряется, и остальную часть, которая попадает в основное русло реки, формируя ее сток. Сопоставление этих трех компонентов позволяет предварительно оценить репрезентативность моделирования. Так, анализ Табл. 6 дает определенные основания рассматривать результаты моделирования как вполне корректные с физической точки зрения: суммарное поступление воды в основное русло в среднем превышает инфильтрацию в почву примерно в 5,2 раза, а среднее отношение реальной эвапотранспирации к осадкам составляет 0,24. Это хорошо согласуется с рекомендуемыми критериями оценки (Winchell *et al*., 2013).

***Таблица 6*** Результаты моделирования стока в верхнем водосборе р. Балцата

| Год | Выходные данные SWAT моделирования, мм | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *PREC* | *Сток в основное русло* | | | *Инфильтрация* | | *Эвапотранспирация* | | ***WATER YIELD*** |
| | | *SURQ* | *LATQ* | *GWQ* | *LATE* | *SW* | *ET* | *PET* | |
| 2006 | 542 | 109,7 | 177,5 | 40,0 | 59,0 | 3,8 | 118,3 | 738,8 | ***329,0*** |
| 2007 | 466 | 94,5 | 148,6 | 30,3 | 48,5 | 3,8 | 110,0 | 741,5 | ***274,9*** |
| 2008 | 466 | 93,2 | 151,1 | 30,6 | 49,0 | 3,7 | 109,7 | 741,1 | ***276,4*** |
| 2009 | 426 | 85,5 | 134,4 | 25,9 | 43,8 | 3,8 | 104,3 | 742,7 | ***247,1*** |
| 2010 | 501 | 101,3 | 161,5 | 34,4 | 53,0 | 3,8 | 114,6 | 740,9 | ***298,9*** |
| ***Среднее*** | ***480*** | ***96,8*** | ***154,6*** | ***32,2*** | ***50,6*** | ***3,8*** | ***111,4*** | ***741,0*** | ***285,2*** |

*Сокращения: RREC* – суммарные осадки; *SURQ* – поверхностный сток в основное русло; *LATQ* – латеральный (боковой) сток; *GWQ* – вклад грунтовых вод; *LATE* – просачивание воды в почвенный профиль; *SW* – накопление воды в почвенном профиле; *ET* – реальная эвапотранспирация; *PET* – потенциальная эвапотранспирация; *WATER YIELD* – суммарное поступление воды в основное русло.

Однако корректную оценку репрезентативности моделирования дает лишь сравнение моделируемого и реально наблюдаемого стоков.

Как можно видеть из Табл. 7, расхождения между наблюдаемым и моделируемым стоком слишком большие, чтобы ими можно было пренебречь. Например, если выразить наблюдаемый годовой сток в процентах от моделируемого, то он составит лишь порядка 8-9% от последнего. В месячном разрезе картина более сложная: от более двукратного превышения наблюдаемых значений над моделируемыми в марте месяце до 1-2% в период межени (август-сентябрь месяцы). Несомненно, такие рас-

хождения требуют объяснения, тем более, что калибровка модели с целью ее максимальной «подгонки» к местным условиям, повысила точность моделирования в пределах не более 5% (Corobov *et al.*, 2016). Иными словами, причина расхождения в результатах моделирования и наблюдений заключается не только в ошибках моделирования или недостатках выбранной гидрологической модели, а находится в несколько другой плоскости.

***Таблица 7*** Соотношение наблюдаемого стока в верховье р. Балцата с его моделируемым поступлением в основное русло

| *Год* | *Месяцы* | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *1* | *2* | *3* | *4* | *5* | *6* | *7* | *8* | *9* | *10* | *11* | *12* | *Год* |
| ***2006*** | – | 0,129 | 2,298 | 0,154 | 0,139 | 0,278 | 0,207 | 0,019 | 0,027 | 0,112 | 0,174 | 0,035 | ***0,086*** |
| ***2007*** | – | 0,203 | 2,727 | 0,235 | 0,151 | 0,312 | 0,142 | 0,010 | 0,023 | 0,137 | 0,248 | 0,470 | ***0,094*** |
| ***2008*** | – | 0,128 | 1,475 | 0,153 | 0,129 | 0,247 | 0,201 | 0,012 | 0,022 | 0,108 | 0,218 | 0,325 | ***0,075*** |
| ***2009*** | – | 0,143 | 2,766 | 0,230 | 0,151 | 0,337 | 0,265 | 0,013 | 0,023 | 0,120 | 0,248 | 0,429 | ***0,084*** |
| ***2010*** | – | 0,240 | 1,180 | 0,157 | 0,111 | 0,242 | 0,144 | 0,014 | 0,021 | 0,105 | 0,165 | 0,327 | ***0,079*** |

В поисках ответа мы пришли к выводу, что полученные результаты лишь подтверждают имеющиеся свидетельства, что возможности даже такой мощной модели как *SWAT* достаточно ограничены применительно к малым рекам, особенно к тем, которые подвержены большим антропогенным воздействиям. В этих условиях калибровка модели не в состоянии объективно учесть все факторы, воздействующие на сток, тем самым вызывая неизбежное смещение в оценках.

В частности, как отмечалось выше, большинство малых рек Молдовы предельно загрязнено и обезвожено, находясь на грани полного исчезновения. Усыхание малых рек серьезно сказывается и на общем состоянии экосистем водозабора, изменяя растительный покров и, соответственно, эвапотранспирацию и инфильтрацию воды в почву. По экспертным оценкам (Казак и Лалыкин, 1995), уже в 90-х годах прошлого столетия малые реки Молдовы потеряли до 50-60% своего стока. Вне сомнения, в последующие годы положение вряд ли улучшилось. Не является исключением из этой ситуации и бассейн р. Балцата.

Таким образом, любое гидрологическое моделирование оценивает лишь некий *гипотетический* сток, зависящий от чисто физико-географических факторов, который может полностью реализоваться только в «нетронутой», или абсолютно не подвергнутой антропогенной

трансформации, окружающей среде. Эти соображения приводят к естественному предположению, что результаты гидрологического моделирования в их «чистом виде» вряд ли могут быть надежным показателем реального наличия водных ресурсов территории. Тем не менее, однако, они позволяют дать объективную количественную оценку антропогенного воздействия на сток малых рек и его вклада в суммарные водные ресурсы, что крайне важно с точки зрения *оценки реального состояния водной безопасности* с точки зрения наличия поверхностный вод в бассейне реки.

### *3.2.3.2 Оценка наличия водных ресурсов и их вероятных изменений в ожидаемом климате*

Для решения этой задачи, в отличие от идентификации неопределенностей гидрологического моделирования, вызванных антропогенными факторами, оценка водных ресурсов была проведена для бассейна р. Балцата в целом. При этом учитывалась отмеченная выше существенная трансформация русла реки, в результате которой практически весь поверхностный сток аккумулируется в искусственных прудах. В силу этого, нынешний поверхностный сток водосбора и его вероятное изменение под воздействием наблюдаемого потепления климата оценивались не только по его количеству, суммарно поступающему в основное русло реки, но и по объемам воды, поступающим в пруды.

В пользу такого подхода говорят следующие факты. В настоящее время, по расчетам Водного Отдела ООН[9], 70% пресной воды расходуется на сельскохозяйственное производство и поэтому обеспечить продовольственную безопасность, или, образно выражаясь, «накормить мир» – это, прежде всего, решить проблему устойчивого водообеспечения. Так, в последние годы большинство речных бассейнов США демонстрируют в засушливые периоды уменьшение стока от 5% до 50%. Это уменьшение сохраняется на протяжении до 3-х лет после окончания засухи, ибо для озер и водоемов их питающих (или от них питающихся) требуется несколько лет со средними осадками, чтобы возвратиться до уровней,

[9] Cost of Increasing Droughts. http://growingblue.com/case-studies/cost-of-increasing-droughts/

предшествующих засухе. Отсюда, жизненно важно грамотное «накопление» воды, при всех потенциальных издержках этого процесса.

Возможное изменение исследуемого стока р. Балцата оценивалось как разница между его моделируемыми значениями при нынешних и ожидаемых климатических показателях. Следуя изложенной выше методике SWAT моделирования, разделение бассейна реки общей площадью 153.9 км$^2$, при выбранном пороговом значении в 300 га, дало 27 подбассейнов, со средней площадью каждого примерно 5,9 км$^2$ и средней длиной колен реки – 2,3 км. В качестве нынешних, или так называемых «базовых» климатических показателей, были взяты средние значения температуры воздуха и осадков в 1981-2010 годах.

Результаты SWAT моделирования годового стока с дренажной поверхности бассейна Балцаты в текущем климате, показанные на *Рис. 12*, демонстрируют его базовое пространственное распределение по водосбору реки. Полученные значения представляют собой взвешенную сумму вклада каждого подбассейна в речной поток и почвенный профиль. Как видим, максимальный годовой сток (>324 мм) имеет место в крайней северо-западной части бассейна, а минимальный (<315 мм) – в его юго-западной части, южнее Будешть. Однако, на большой части территории сток находится в интервале 318-324 мм.

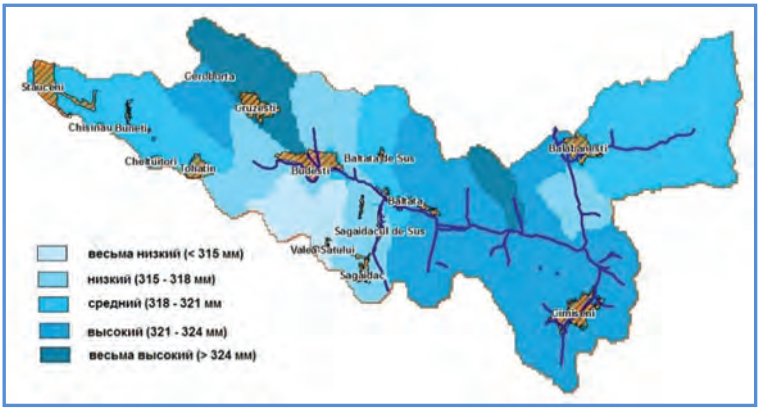



***Рис. 12*** Пространственное распределение годового стока в бассейне р. Балцата

Умножение этих значений, полученных для единицы поверхности, на площадь водосбора р. Балцата дает значения стока в км$^3$ *(Табл. 8)*. Минимальный сток наблюдается в декабре-феврале, а также в апреле-мае,

максимальный сток – в июле-сентябре. Годовой сток в бассейне может достигать 0.048 куб. км. Однако, при наличии несомненного смещения в этих оценках, обусловленного обсуждаемыми выше антропогенными вмешательствами в поверхностный сток, полученные результаты следует рассматривать с обязательным учетом этого фактора, ни в коем случае не отождествляя их с реальным стоком реки. В то же время, они несомненно являются объективным базисом для оценки воздействия изменения климата на будущий сток.

***Таблица 8*** Среднемесячный моделируемый сток с водосбора р. Балцата (последняя строка) и накопление воды в искусственных прудах в 1981-2010 годы

| **Пруды** | **Месяц *(мм)*** | | | | | | | | | | | | **Сток** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ***1*** | ***2*** | ***3*** | ***4*** | ***5*** | ***6*** | ***7*** | ***8*** | ***9*** | ***10*** | ***11*** | ***12*** | ***км³*** |
| *с. Балцата* | 0,05 | 2,1 | 3,7 | 1,5 | 0,09 | 3,6 | 9,1 | 9,6 | 5,8 | 3,2 | 6,2 | 0,0 | 0,004 |
| *с. Балцата* | 0,09 | 4,4 | 7,5 | 2,1 | 1,6 | 6,5 | 17,8 | 17,7 | 11,7 | 5,7 | 12,6 | 0,2 | 0,009 |
| *с. Чимишень* | 0,14 | 6,5 | 11,2 | 3,6 | 2,6 | 10,1 | 26,7 | 27,3 | 17,5 | 8,9 | 18,8 | 0,2 | 0,017 |
| *с. Балабанешть* | 0,02 | 1,4 | 2,1 | 0,7 | 0,06 | 1,6 | 5,6 | 5,1 | 3,9 | 2,6 | 4,1 | 0,0 | 0,001 |
| ***Сток:** в пруды* | ***0,3*** | ***14,4*** | ***24,5*** | ***7,9*** | ***4,35*** | ***21,8*** | ***59,2*** | ***59,7*** | ***38,9*** | ***20,4*** | ***41,7*** | ***0,4*** | ***0,031*** |
| *водосбора* | ***0,4*** | ***15,1*** | ***27,4*** | ***8,9*** | ***4,6*** | ***23,1*** | ***62,2*** | ***63,0*** | ***40,4*** | ***21,6*** | ***44,5*** | ***0,5*** | ***0,048*** |

Дополнительно к моделированию потенциального общего стока с водосбора бассейна в целом было оценено поступление воды в каждый из 4-х прудов. Эти искусственные водоемы накапливают воду для обеспечения, главным образом, чисто хозяйственных нужд местного населения и, в первую очередь, для полива сельскохозяйственных полей и приусадебных участков, а также рыбоводства, отдыха и т.п. Смоделированный среднемноголетний годовой сток в пруды в оцениваемый период (1981-2010 гг.) составил от ~0.0004 км$^3$ у с. Балабанешть до 0,017 км$^3$ у с. Чимишень; суммарно в течение года в пруды поступало более 0,031 куб. км, или 65% общего стока водосбора реки. Таким образом, даже без учета других, неучтенных заборов воды ниже прудов, в основное русло Днестра попадает не более трети поверхностного стока с водосбора с р. Балцата.

SWAT моделирование возможного будущего стока в оцениваемом бассейне базировалось на сценариях изменения климата, основанных на ансамбле из 11 региональных климатических моделей высокого разрешения (12,5 км), которое не было ранее достигнуто в предыдущих моделированиях климатических прогнозов (Jacobs et al., 2013). Эти сценарии были любезно предоставлены Центром Климатического Обслуживания при Институте Метеорологии Макса Планка (Гамбург, Германия).

Более того, эти сценарии, названные Репрезентативными Траекториями Концентрации (*Representative Concentration Pathway, RCP*), в отличие от предыдущих сценариев выбросов парниковых газов, устанавливают не их ожидаемые будущие концентрации, а временные серии накопления неких концентраций, которые в комплексе с уровнями землепользования и растительного покрова могут привести к определенным специфическим (репрезентативным) характеристикам радиационной нагрузки на климатическую систему. Термин *репрезентативный* означает, что каждый *RCP* сценарий представляет один из вариантов этого процесса накопления ПГ, который приводит к определенной радиационной нагрузке.

В этой работе были выбраны три сценария выбросов парниковых газов (*RCP2.6, RCP4.5* и *RCP8.5*), соответственно отражающие низкую, умеренную и высокую радиационные нагрузки. Такой выбор обеспечивает оценку всего диапазона возможного изменения регионального климата по его ключевым показателям (максимальной и минимальной температурам воздуха и осадкам) относительно базового климатического периода (1981-2010 годы) для двух будущих временных горизонтов: 2021-2050 и 2071-2100 годы *(Табл. 9).*

Как и в случае оценки современного стока, значения температуры воздуха и осадков предполагались едиными для рассматриваемой территории, а другие климатические показатели моделировались генератором погоды, встроенным в модель *SWAT*.

***Таблица 9*** Базовые (1981-2010) значения среднегодовой температуры воздуха *(°C)* и суммарных годовых осадков *(мм)* в бассейне р. Балцата и проекции их вероятных значений в 21-м столетии для трех сценариев выбросов ПГ

| Годы | Сценарий выбросов | Значения |
|---|---|---|
| ***Максимальная температура*** | | |
| 1981-2010 | | ***15.2*** |
| 2021-2050 | RCP 2.6 | ***15,0*** |
| | RCP 4.5 | ***16,6*** |
| | RCP8.5 | ***16,8*** |
| 2071-2100 | RCP 2.6 | ***15,0*** |
| | **RCP 4.5** | ***17,9*** |
| | RCP8.5 | ***20,1*** |
| ***Минимальная температура*** | | |
| 1981-2010 | | ***4.8*** |
| 2021-2050 | RCP 2.6 | ***4,8*** |
| | RCP 4.5 | ***5,8*** |
| | RCP8.5 | ***5,9*** |
| 2071-2100 | RCP 2.6 | ***4,8*** |
| | **RCP 4.5** | ***6,6*** |
| | RCP8.5 | ***8,1*** |
| ***Осадки*** | | |
| 1981-2010 | | ***500*** |
| 2021-2050 | RCP 2.6 | ***487*** |
| | RCP 4.5 | ***505*** |
| | RCP8.5 | ***500*** |
| 2071-2100 | RCP 2.6 | ***465*** |
| | RCP 4.5 | ***538*** |
| | RCP8.5 | ***487*** |

Согласно результатам моделирования (Табл. 10), возможное изменение поверхностного стока с водосбора р. Балцата, вызванное будущими изменениями в температурно-влажностных условиях, может быть, в зависимости от временного горизонта и радиационной нагрузки, от некоторого возрастания до 7-8% при умеренных и сильных радиационных нагрузках в первой половине столетия до сокращения от порядка 8% до более 25% – во второй. В среднем, увеличение стока может достичь порядка 2% в 2021-2050 годах, а сокращение – до 17% в последнем тридцатилетии нынешнего столетия. Соответственно изменятся и объемы воды, поступающие в водоемы.

***Таблица 10*** Проекции изменения годового стока в бассейне р. Балцата в абсолютном (*Abs, мм*) и относительном *(%)* выражении по сравнению с 1981-2010 гг.

| **Водосбор** | Временные горизонты, годы | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | *1981-2010* | ***2021-2050*** | | | | | |
| | | Репрезентативные пути концентрации *(RCPs)* | | | | | |
| | | *RCP2.6* | | *RCP4.5* | | *RCP8.5* | |
| | | Abs. | % | Abs. | % | Abs. | % |
| *с. Балцата_1* | **44,9** | -4,6 | ***-10,3*** | 3,8 | ***8,5*** | 3,3 | ***7,4*** |
| *с. Балцата_2* | **87,9** | -9,1 | ***-10,3*** | 7,5 | ***8,5*** | 6,5 | ***7,4*** |
| *с. Чимишень* | **133,5** | -13,8 | ***-10,3*** | 11,4 | ***8,5*** | 9,9 | ***7,4*** |
| *с. Балабанешть* | **27,2** | -2,8 | ***-10,3*** | 2,3 | ***8,5*** | 2,0 | ***7,4*** |
| ***Сток в пруды*** | ***293,6*** | -30,2 | ***-10,3*** | 24,9 | ***8,5*** | 21,7 | ***7,4*** |
| ***Общий сток*** | ***312*** | -32,0 | ***-10,3*** | 26, 5 | ***8,5*** | 23,0 | ***7,4*** |
| | | ***2071-2100*** | | | | | |
| *с. Балцата_1* | **44,9** | *-11,4* | ***-25,4*** | *-3,8* | ***-8,5*** | *-9,0* | ***-20,0*** |
| *с. Балцата_2* | **87,9** | *-22,3* | ***-25,4*** | *-7,5* | ***-8,5*** | *-17,6* | ***-20,0*** |
| *с. Чимишень* | **133,5** | *-33,9* | ***-25,4*** | *-11,5* | ***-8,5*** | *-26,7* | ***-20,0*** |
| *с. Балабанешть* | **27,2** | *-6,9* | ***-25,4*** | *-2,3* | ***-8,5*** | *-5,4* | ***-20,0*** |
| ***Сток в пруды*** | ***293,6*** | *-74,6* | ***-25,4*** | *-24,9* | ***-8,5*** | *-58,7* | ***-20,0*** |
| ***Общий сток*** | ***312,0*** | *-79,2* | ***-25,4*** | *-26,5* | ***-8,5*** | *-62,4* | ***-20,0*** |

Если воспользоваться градацией рисков для уязвимости к изменению климата, а соответственно – и для водной безопасности, вызванных снижением стока с водосбора, предложенной Департаментом Сельского Хозяйства США (USDA FS, 2013), то полученные величины изменения стока

р. Балцата менее 20% можно рассматривать как низкий риск, от 20 до 40% – как умеренный риск и более 40% – как высокий риск.

Разумеется, полученные в настоящем исследовании результаты, вследствие наличия целого ряда неопределенностей, следует рассматривать лишь как некоторые ориентировочные оценки. В то же время, не вызывает сомнения то очевидное заключение, что корректное использование современных средств гидрологического моделирования позволяет, с одной стороны, корректно рассчитывать потенциальные водные ресурсы для малой реки, а с другой стороны – учитывать потери стока вследствие различного рода антропогенных нагрузок на состояние ее водосбора, подчас вызванные их неудовлетворительным менеджментом. Отсутствие такого учета, в сочетании с изменением климата, может негативно сказаться на устойчивом обеспечении водой экономики, социальной сферы и экосистем – основы водной безопасности.

*Озеро площадью 110 га у с. Кишкарены (Молдова), полностью высохшее в 2017 г.*

# ЧАСТЬ 4 ВОДНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И УПРАВЛЕНИЕ ВОДНЫМИ РЕСУРСАМИ

## 4.1 Ключевые показатели для оценки водной безопасности

Известная аксиома гласит: «Мы не можем планировать то, что мы не можем измерить». Развивая этот тезис, можно равнозначно утверждать, что мы не можем грамотно управлять тем, что не можем оценить. Требуемыми и желательными для этой цели показателями являются те, которые объединяют или упрощают соответствующую информацию, позволяя выявлять важные тенденции и явления, а также сообщать их аккуратным образом пользователям и лицам, принимающим решения. Кроме того, исходные данные для получения такой информации должны быть релевантными, доступными, понятными, заслуживающими доверия и универсальными (GWP, 2014).

С другой стороны, решения проблем, непосредственно связанных с водой, не могут формулироваться изолированно. Существует широкий спектр критических экологических угроз с глобальными последствиями, которые имеют связь с водным кризисом, например: сокращение урожайности культур вследствие деградации почвы; эрозия водосбора и обезлесение, усиливающие засухи и наводнения; утрата биоразнообразия и соответствующих сред обитания; повреждение водно-болотных угодий, пойм и прибрежных экосистем как результат интенсивного землепользования, и т.д. Поэтому, любой оценке безопасности обычно предшествует идентификация ключевых релевантных тем и показателей, которые должны быть определены. В контексте водной безопасности, Lauševi ć et al. (2016) предлагают систематизировать такие показатели по пяти компонентам:

- *Показатели, относящиеся к водным ресурсам*
- *Показатели, относящиеся к здоровью экосистем*
- *Показатели, относящиеся к инфраструктуре*
- *Показатели, относящиеся к здоровью человека*
- *Показатели, относящиеся к потенциальным возможностям.*

Следуя терминологии Организации по экономическому сотрудничеству и развитию *(OECD, 1994),* показатель *(indicator)* определяется как параметр, или значение, полученное из параметров, описывающих состояние явления/окружающей среды/территории или дающих информацию о нем со значимостью более широкой, нежели свойства, непосредственно связанные с величиной параметра[10]. Показатель обладает статистическим смыслом и разрабатывается для конкретной цели. Его главными функциями являются уменьшение числа измерений и параметров, которые обычно необходимы, чтобы составить реальное представление о ситуации, и упрощение процесса доведения результатов измерения до пользователя.

Непосредственно перечень этих компонентов и показателей для оценки, основанной на индикаторном подходе, приведен в Табл. 11, где показатели и их описание сгруппированы по выше названным компонентам. Этот список может быть расширен или модифицирован непосредственно персоналом, осуществляющим такую оценку.

Показатели, приведенные в Табл. 11, оценивают в баллах различные аспекты водной безопасности и конечный результат оценки. Каждому показателю присваивается определенный балл в диапазоне от 0 до 100. Более высокий балл означает, что субъект оценки ближе к идеальным условиям для этого конкретного показателя. Хотя бальная оценка может не полностью отражать угрозы для водной безопасности по данному компоненту, однако в целом, по мнению авторов этого подхода, можно предположить, что:

- *баллы выше 80 близки к идеалу*

[10] *Параметр*, в данном случае, интерпретируется как свойство, которое измеряется или наблюдается. Это может быть *фактор* (переменная), описывающий определенную характеристику в виде некоторого числового значения, или *относительный признак* – некоторая категория (характеристика), к которой объект принадлежит, или свойство/качество, которым он обладает или не обладает.

- *баллы между 60 и 79,9 указывают на имеющиеся недостатки*
- *баллы ниже 60 указывают на уязвимость безопасности по этому показателю.*

***Таблица 11*** **Компоненты и показатели оценки водной безопасности** (по: Laušević *et al*., 2016)

| КОМПОНЕНТ | ПОКАЗАТЕЛЬ | ОПИСАНИЕ |
|---|---|---|
| ***Водные ресурсы*** | Наличие | Количество доступной возобновляемой пресной воды на человека |
| | Обеспечение | Уязвимость поставки, вызванная сезонными колебаниями и/или уменьшением ресурсов пресных вод |
| | Потребность | Уровень спроса на водопользование на основе распределения лицензий на воду |
| ***Здоровье экосистем*** | Стресс | Количество воды, которая удаляется из экосистемы |
| | Качество | Показатель Индекса Качества Воды для защиты водной флоры и фауны |
| | Рыба | Тренды популяций экономически и культурно значимых видов рыб |
| ***Инфраструктура*** | Потребность | Насколько долго мощность водоснабжения и водоотведения не будет превышена вследствие роста населения |
| | Состояние | Физическое состояние водопроводов и канализации, выраженное потерями в системах |
| | Обработка | Уровень обработки сточных вод |
| ***Здоровье человека*** | Доступ | Количество доступной питьевой воды на человека |
| | Надежность | Показатель нарушения обслуживания (дни на человека) |
| | Воздействия | Количество случаев заболеваний, связанных с водой |
| ***Потенциал отклика*** | Финансовый | Финансовые возможности для управления водными ресурсами и реагирования на местные вызовы |
| | Образовательный | Человеческий потенциал управлять водными ресурсами и решать местные водные проблемы |
| | Обучающий | Уровни обучения, полученные водными операторами и операторами сточных вод |

Осредненные по каждому показателю баллы дают суммарные баллы соответствующих компонентов, последующее осреднение которых дает финальную оценку уровня водной безопасности. Детальное описание процедур выведения баллов можно найти в Руководстве по планированию действий по водной безопасности на местном уровне (Lauševi*ć et al.*, 2016*)*. Несомненно, этот подход, как и цитируемое Руководство, следует рассматривать лишь как некоторую схему, которая требует определенной корректировки при ее использовании для специфических условий воздействия изменения климата на водную безопасность и конкретных местных условий. Некоторые другие подходы и примеры их реализации были представлены на специальном семинаре «Оценка водной безопасности воды с помощью соответствующих показателей» (GWP, 2014).

Оценка уровня водной безопасности на местном уровне, с точки зрения ее последующего обеспечения, может также рассматриваться как адаптация к изменению климата, формирующаяся снизу – так называемый *снизу-вверх (bottom-up)* подход.

### 4.2 Трансграничные аспекты управления водными ресурсами

Трансграничные воды создают огромные вызовы в проблеме обеспечения их безопасности. Когда водные системы, такие как речные и озерные бассейны, или системы водоносных горизонтов, разделяются внутренними или внешними политическими границами, проблема усугубляется необходимостью обеспечить координацию и диалог между суверенными государствами, имеющими свой собственный набор разнообразных, а подчас и конкурирующих интересов (GWP, 2013). В мире насчитывается 276 крупных трансграничных водосборов, расположенных на территориях 145 стран и охватывающих примерно половину земной поверхности (MacQuarrie and Wolf, 2013). Идентифицировано также более 300 трансграничных водоносных горизонтов, большинство из которых расположено в двух и более странах. Поэтому, в контексте обеспечения водной безопасности, управление трансграничными водами и сотрудничество между государствами в области их развития и охраны имеют особенно большое значение.

Наиболее принципиальные особенности, обусловленные трансграничной сущностью пресных вод, обобщены Организацией Объединен-

ных Наций (UNU, 2013). С некоторыми примерами и дополнениями их можно сформулировать следующим образом:

- Достижение трансграничной водной безопасности может стимулировать региональное сотрудничество, особенно в том случае, когда оно поддерживается международными документами. Так, ухудшение качества воды и рост трансграничных загрязнений способствовали движению к более тесному сотрудничеству между странами Дунайского бассейна, которое было реализовано посредством создания Международной комиссии по защите реки Дунай (ICPDR)[11].
- Трансграничный характер водных ресурсов усиливает необходимость включения вопросов управления ими в национальные и международные правовые системы. В качестве примера можно назвать двусторонний Договор между Молдовой и Украиной о сотрудничестве в области охраны и устойчивого развития бассейна реки Днестр (2012)[12], в настоящее время ратифицированный обеими странами и, как таковой, юридически вошедший в силу.
- В процессе трансграничного водного сотрудничества все более важной становится роль негосударственных субъектов.

Конвенция ЕЭК ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (*Водная Конвенция*)[13] на своем пути к созданию важной правовой и институциональной основы для трансграничного управления водными ресурсами и адаптации к изменению климата обобщила имеющийся обширный опыт в этой области (ЕЭК ООН, 2015). Этот документ иллюстрируют различные этапы разработки стратегий адаптации в масштабах всего бассейна; косвенно, он также, несомненно, способствует укреплению общей водной безопасности бассейна в условиях изменения климата.

Необходимым условием для обеспечения водной безопасности, наряду с менеджментом водных ресурсов, является хорошее управление ими. Неэффективные механизмы управления, выраженные как слабые законодательные и институциональные меры и планы, недостаточное

[11] Доступно на: *http://www.icpdr.org/main/*

[12] *Договор между Правительством Республики Молдова и Кабинетом Министров Украины о сотрудничестве в области охраны и устойчивого развития бассейна реки Днестр.* Доступен на: *http://www.eco-tiras.org/index.php/dniester-river-basin-treaty-rome-2012*

[13] *https://en.wikipedia.org/wiki/Convention_on_the_Protection_and_Use_of_Transboundary_Watercourses_and_International_Lakes*

инвестирование, слабое соблюдение законодательства и отчетности, препятствуют усилиям по достижению какой-либо безопасности. Устойчивые механизмы, необходимые для управления водной безопасностью, должны включать оперативный потенциал, прозрачность, участие общественности, подотчетность, доступ к юридическим ресурсам и т. п. Эти цели наилучшим образом достигаются посредством официальных соглашений и процессов на национальном и международном уровнях. Хорошее управление может быть достигнуто с помощью различных организационных структур, которые будут созданы в соответствии с местными условиями и возможностями, и быть согласованными с национальными и международными политическими целями. Как правило, процесс эффективного управления трансграничными водными ресурсами постоянно развивается и требует его постоянного совершенствования как ответ на новые вызовы, информацию, опыт и возникающие проблемы.

Достижение водной безопасности также требует институциональной и нормативной поддержки, способности к изменениям, адаптивных структур управления, новых форм межгосударственных отношений и многоуровневых моделей, способных интегрировать сложные природные и социальные аспекты. В ответ на возникающие угрозы и тенденции, такие как изменение климата, должны модернизироваться и реформироваться международное, национальное и местное водное законодательство и системы управления.

Важным элементом устойчивого управления водными ресурсами является финансирование, в котором для предотвращения коммерческих рисков, неизбежно связанных с финансированием, ключевую роль должен играть частный сектор. В силу признания частным сектором особой важности надежного водоснабжения и здоровых условий для его жизнедеятельности, любое сотрудничество частного сектора с местными органами власти в области создания адаптационного потенциала, накопления данных и передачи технологий способствует дальнейшему расширению возможностей государств по административному управлению трансграничными водными ресурсами.

Некоторые ключевые вопросы для установления надлежащих систем управления водными ресурсами приведены в Боксе 6.

***Бокс 6*** **Перечень ключевых вопросов, имеющих решающее значение для установления надлежащего управления трансграничными водными ресурсами**

- ✓ Установление речного бассейна в качестве базовой биогеографической единицы для управления водными ресурсами, требующего координации и сотрудничества между политическими единицами вне национальных и международных границ;
- ✓ Согласование безопасности прав на воду с риском неопределенности в ее наличии, предложении, а также ее устойчивости посредством периодического обзора разрешений на использование, что позволит избежать монополизации и негативных внешних последствий;
- ✓ Достижение эффективности и обеспечение механизмов разрешения споров с целью обеспечения справедливости и гибкости в распределении прав на воду среди конкурирующих видов водопользования;
- ✓ Приоритетность окружающей среды и жизненно важных прав человека в политике распределения водных ресурсов, законах и процессах принятия решений;
- ✓ Интегрирование менеджмента поверхностных и подземных водных ресурсов с управлением землепользованием и биологическими ресурсами;
- ✓ Расширение прав и возможностей водопользователей и других заинтересованных сторон (при взятии на себя большей ответственности в управлении) в доступе к соответствующей информации, административным и судебным средствам правовой защиты, а также к участию в процессах принятия решений, касающихся управления и распределения водных ресурсов;
- ✓ Учет пользовательских систем распределения воды, прав и практики на местном уровне;
- ✓ Усиление управления связанными с водой рисками природных и гидрологических опасностей, включая использование систем раннего предупреждения;
- ✓ Защита пресноводных экосистем с высокой природоохранной ценностью от развития наземной и водной инфраструктуры, включая создание охраняемых территорий и управление ими.

*Источник:* Адаптировано из *UNU, 2013*.

## 4.3 Ключевые принципы устойчивости водной безопасности

Хотя человечество адаптируется к изменениям окружающей среды, включая естественную изменчивость климата, на протяжении тысячелетий, наблюдаемое ныне глобальное потепление сопровождается последствиями, существенно более серьезными и более быстрыми по сравнению с теми, которые приходилось преодолевать ранее. При этом, национальные планы адаптации к изменению климата в основном ориентированы на государство в целом, и с точки зрения подхода к принятию решений обычно направлены «сверху вниз», в то время как последствия изменений сказываются, прежде всего, на местном уровне и могут быть эффективно устранены только путем привлечения исполнителей непосредственно на местах. Местные учреждения, в том числе и организации гражданского общества в рамках уязвимых сообществ, зачастую лучше всего подходят для повышения адаптационных возможностей, поскольку они наиболее близки к их нуждам, потребностям и возможностям. В то же время, на местах могут отсутствовать необходимые ресурсы и опыт для проведения детальной оценки возникающих рисков. Поэтому, важной частью деятельности в этом направлении является взаимодействие с региональными экспертами и государственными учреждениями, имеющими такой потенциал.

В этом разделе излагаются некоторые ключевые принципы *устойчивости водной безопасности* в условиях изменения климата и предложения по соответствующей адаптационной активности и выработке грамотных решений. В основу разработки раздела положены рекомендации «Руководства для гражданского общества по сохранению здоровых рек и климатической устойчивости» (Yan & Pottinger, 2013), адаптированные с точки зрения водной безопасности, а также имеющийся национальный опыт Молдовы и Украины, частично обобщенный в соответствующей монографии по бассейну Днестра (Коробов и др., 2014).

В общем случае, под ***климатической устойчивостью*** понимаются действия, которые или уменьшают негативные воздействия изменения климата, или адекватно отвечают на них. Более точно, климатическая устойчивость относится к ослаблению уязвимости природных и человеческих сообществ к этим воздействиям путем укрепления их способности решать как перманентные, так и разовые возмущения, вызванные ими.

Для того, чтобы меры отклика, принимаемые местными сообществами, были жизнеспособными и устойчивыми к наиболее важным воздействиям, связанным с климатом, при разработке адаптационного проекта, или проекта развития с компонентами адаптации, важно придерживаться ряда ***принципов климатической устойчивости*** (Yan & Pottinger, 2013)*:*

1. *Право доступа и контроля. Для л*юбого сообщества важно контролировать местные природные ресурсы. Например, только наличие права коренного населения на землю позволяет ему реализовать свой потенциал адаптации к климатическим вызовам. Контроль над природными ресурсами предполагает также мониторинг инфраструктурных проектов, в случае, например, нового гидростроительства, что способствует повышению их устойчивости вследствие большей осведомленности о функциях проекта и связанных с ним рискам.

2. *Адаптационный потенциал.* Коренной принцип эффективной адаптации и устойчивости – это повышение адаптационных возможностей подверженного воздействию сообщества и тех, кто вовлечен в это воздействие. При этом крайне важно, чтобы представители гражданского общества и институты, участвующие в адаптационных мероприятиях, обладали четким знанием о наиболее бедных и наиболее уязвимых группах местного населения.

**3.** *Диверсификация и децентрализация*. Устойчивая система – это система, где основные активы и функции физически распределены таким образом, что в любой момент не все они будут затронуты связанным с климатом неблагоприятным событием или стихийным бедствием *(пространственное разнообразие)* и имеют множество способов удовлетворения данной функции *(функциональное разнообразие).* Так, в водном секторе диверсифицированные модели земледелия и агротехнические мероприятия экологического сельского хозяйства могут помочь фермерам в случае засухи, наводнения или плохого менеджмента.

**4.** *Гибкость.* Поскольку изменение климата подразумевает достаточно неопределенное будущее, гибкость является основополагающим принципом, который применим практически ко всем областям адаптации: инфраструктуре, планам, институтам, управлению и т.д. Столкнувшись с неопределенным будущим, следует продвигать так называемые беспроигрышные стратегии, которые отвечают ключевым приоритетам

развития и оправданы даже в том случае, если изменение климата не явится проблемой. Например, если ожидается снижение водных ресурсов, то сокращение спроса на воду за счет повышения эффективности ее использования может стать более гибким (и предупредительным) решением, нежели строительство плотины, по крайней мере, до тех пор, пока не будет большей уверенности в будущей устойчивости доступа к воде.

**5.** *Информационные потоки.* Постоянная помощь в сборе и распространении точной и содержательной информации для предприятий, общественности и домохозяйств с тем, чтобы они могли принимать оптимальные решения по различным вариантам риска, уязвимости и адаптационных откликов.

**6.** *Избыточность.* Для действий в чрезвычайных ситуациях органы местного управления и учреждения должны иметь соответствующее оснащение, необходимое для предоставления различного рода услуг. Концепция избыточности также предполагает наличие резервных запасов, например воды или средств её очистки, которые могут компенсировать потерю критически важных ресурсов и систем поддержки, если эти ресурсы или потоки поставки будут нарушены.

**7.** *Надлежащее управление*. Процессы принятия решений должны следовать широко признанным принципам хорошего управления, главным образом, их прозрачности, подотчетности и оперативности. Принимаемые решения должны быть также представительными, своевременными и включать возможности участия затрагиваемых сторон и различных групп интересов для обеспечения их вклада в процессы справедливого разрешения спорных моментов.

В Табл. 12 представлены некоторые специфические адаптационные решения в водном секторе, включающие примеры их успешной реализации как с приоритетом предложения, направленным на рост возможностей, например, создание новой инфраструктуры, так и с приоритетом изменения правил для существующих структур и управления «спросом», включающие также изменения в институциональной практике. Эти предложения могут быть разбиты на несколько категорий.

***Таблица 12*** Категории адаптационных мер в водном секторе

| **Адаптационные мероприятия** | **Примеры** |
|---|---|
| *Планирование и внедрение новых инвестиционных решений* | Водохранилища, ирригационные системы, оборудование для сбора дождевой воды и пополнения подземных запасов, опреснительные установки, очистка сточных вод, централизованное водоснабжение. |
| *Корректировка работы и мониторинг существующих систем с учетом новых видов или условий использования воды* | Контроль загрязнений, экологический мониторинг использования плотин и эксплуатации ГЭС, восстановление экосистем. |
| *Техническое обслуживание, капитальный ремонт и ре-инжиниринг существующих систем* | Плотины, запруды, ирригационные системы, каналы, насосные станции, водно-болотные угодья. |
| *Внесение модификаций в процессы и требования существующих систем и водопользований* | Сбережение воды и плата за воду, регулирование и законодательство, финансирование сохранения экосистемных услуг, просвещение и осведомленность населения. |
| *Внедрение новых водосберегающих технологий* | Биотехнологии, капельное орошение, повторное использование воды. |

*Источник:* Адаптировано из Yan & Pottinger (2013)

Таким образом, национальные правительства, представители академических кругов и промышленности будут вынуждены работать совместно с местными сообществами и гражданским обществом с тем, чтобы выработать устойчивые к изменению климата адаптационные решения, способные обеспечить водную безопасность без нанесения ущерба окружающей среде, от которой мы жизненно зависимы. Любой человек или организация, занимающиеся проблемами изменения климата и водной безопасности, должны быть мостом между теми, кто наиболее подвержен этим угрозам, и соответствующими экспертами и лицами, принимающими решения и обладающими ресурсами и информацией, необходимыми для оказания помощи в выработке устойчивых планов и программ.

### 4.4 Практические рекомендации для местных сообществ

Чтобы быть успешными, меры по обеспечению водной безопасности местного сообщества должны быть сфокусированы не только на прямом водопользовании, но также рассматривать действия, косвенно относящиеся к водному сектору. Особое внимание должно быть уделено социальной гибкости предлагаемых мероприятий. В этом контексте, изменение климата обычно рассматривается среди других факторов, влияющих на наличие и качество воды в регионе, но требующих применения специфических адаптационных мер по их ослаблению. Это требование осложняется существующими неопределенностями в оценках ожидаемых изменений в климате и водных ресурсах в целом, сложностью систем, подлежащих оценке и управлению, необходимостью глубоких адекватных изменений в парадигме управления, а также в самой системе управления во всех областях водного сектора.

В настоящее время, многие из проводимых и планируемых адаптационных усилий сконцентрированы на индивидуальных стратегиях и отдельных воздействиях, отчасти основанных на нереалистических ожиданиях «абсолютной» точности и надежности моделей будущего. Однако, учитывая существующие неопределенности в этих моделях и ожидаемых воздействиях изменения климата на водные ресурсы и связанные с ними природные, экономические, социальные и другие секторы и системы, любое устойчивое управление в водном секторе должно базироваться на адаптационных стратегиях, преимущественно являющихся мало проигрышными или беспроигрышными. Такие стратегии включают в себя определенный запас прочности, используют «мягкие» решения и в сочетании с действиями, предпринятыми в других секторах или с другими целями, объективно будут являться достаточно гибкими.

Далее, при нынешней ограниченности финансовых средств и ресурсов, только современные стратегии и подходы должны повсеместно внедряться в практику, где по-прежнему зачастую превалируют крупномасштабные проекты, включающие долгоживущую инфраструктуру.

Внедрение инновационных и интегрированных подходов в управлении водными ресурсами требует также широкой координации между менеджментом водных ресурсов бассейна реки или водосбора в целом и региональным планированием и политиками в других областях – сель-

скохозяйственной, лесной, экологической и т.д. Секторальная и трансграничная фрагментация активностей препятствуют интегрированному планированию. Опыт различных трансграничных бассейнов показывает, что адаптация водных ресурсов к изменению климата лучше всего поддерживается полицентрическими системами управления, где распределение полномочий сочетается с эффективными координирующими структурами и инновационными путями преодоления неопределенности и климатических «сюрпризов».

Так, на территориях, подверженных периодическим затоплениям, не только ограничивается или полностью запрещается вырубка лесов, но и проводится их восстановление на основе применения современных агролесотехнических мер. При развитии земледелия устанавливаются определенные агротехнические приемы обработки земли с обязательным, в частности, применением зяби, сток с которой, в зависимости от физико-географических условий территории, от 2-х до 30 раз меньше, нежели со стерни или залежи. В районах с сильным развитием эрозии применяется контурная вспашка или же вообще отказ от пахотной обработки почв, с переходом на безотвальную вспашку. Такая агротехника не только позволяет частично погасить «большую воду», но и способствует накоплению влаги в почве.

Исходя из вышесказанного, к общим требованиям к мероприятиям по обеспечению водной безопасности на местном уровне и дополнительно к тем принципиальным, что перечислены в Табл. 12, можно отнести:

- Повышенное внимание местных органов управления к вопросам водной безопасности в процессе регионального и местного планирования мероприятий по адаптации к изменению климата в области экономики и социальной сферы;
- В планировании водопользования исходить из антропогенного или обусловленного изменением климата сокращения доступных водных ресурсов; нынешняя практика игнорирования этого эффекта далее неприемлема;
- Повышение саморегулирующих функций водотоков и водоемов, как по объему воды, так и по ее качеству, что может быть достигнуто лишь при уменьшении влияния на них антропогенных факторов;
- Приоритезация питьевого водоснабжения и орошения, а также создание стратегических водных резервов при разработке планов использования воды в условиях суровых засух и водного дефицита; усиление ра-

боты по управлению и обеспечению объективного контроля за водопотреблением, позволяющего избежать управленческих проблем с обеспеченностью и качеством воды в случае ее возможного дефицита;

- Тщательное дифференцирование адаптационных подходов по их типу, месту и социальным группам, так как ни одно решение не может быть пригодным повсеместно, при обязательной оценке рентабельности и баланса ожидаемых выгод и потенциальных потерь при реализации каждого;
- Тщательный учет национальных традиций и опыта, сказывающихся на водопользовании, и поиск новых подходов для консолидации культуры экономии воды;
- Устранение нынешнего адаптационного дефицита систем водообеспечения и водопотребления, с обязательным публичным обсуждением принимаемых мер и приоритетов.

Из ***специфических мероприятий*** по отдельным направлениям и секторам можно выделить следующие:

*а) По усилению защитных свойств существующих водоемов и их адаптации к паводкам и наводнениям.* Здесь, прежде всего, следует осуществить общую паспортизацию (инвентаризацию) сохранившихся водоемов, включая разработку и научное обоснование схем их размещения с учетом защитной способности по отношению к паводкам и регистрируемого истощения водности малых рек. В ходе этой работы, исходя из изменившихся климатических условий и приватизации земельных участков, необходимо обновить данные, заложенные в разработку существующих схем защиты населенных пунктов, и провести комплекс мероприятий по усилению защитных дамб существующих водоемов, в т.ч. капитальный ремонт подпорных и водосбросных сооружений, удаление илистых отложений, вплоть до ликвидации тех водоемов, инженерные сооружения которых не подлежат восстановлению. Наряду с этим, следует запретить создание искусственных водоемов для индивидуального пользования, в т.ч. рыборазведения, негативно сказывающихся на локальных экосистемах, режиме стока малых рек и подземных вод.

в) *По адаптации естественных и антропогенных экосистем.* В качестве возможных адаптационных мероприятий в этом направлении можно назвать выделение наименее измененных земель в качестве рефугий для устойчивого лесного и сельского хозяйства, при полном моратории на вырубку лесов в зоне основных водосборов рек и запрете любых рубок в

прибрежных полосах. Эффективной мерой является экологическая реставрация малопродуктивных и заброшенных земель, а в случае переувлажненных контуров – перевод их под территории самовосстановления; часть пойменных обвалованных территорий может быть переведена в польдеры.

c) *По профилактике негативного влияния климатических изменений на здоровье населения.* Прежде всего, необходимо полностью или максимально возможно ликвидировать источники загрязнения рек и источников питьевого водоснабжения, с проведением их полной инвентаризации. В частности, следует вывести из пойменных зон рек и зон водозаборов незаконно возведенные, а также планируемые застройки, зоны отдыха и другие строения, а также любую деятельность, создающую экологические, санитарно-эпидемиологические и социальные проблемы, при полном моратории на любое дальнейшее строительство в этих зонах. При этом, такие действия не должны препятствовать созданию или восстановлению национальных и местных рекреационных зон для организации отдыха населения у воды, что особенно актуально в связи с наблюдаемым учащением экстремально жарких дней в летний период.

*d) По совершенствованию управления.* Разработка и принятие национальных и отраслевых планов мероприятий по смягчению антропогенного воздействия на климат и адаптации водных ресурсов и связанных с ними систем к последствиям этих воздействий на местном уровне должны базироваться на строгом соблюдении международно-правового регулирования в сфере защиты водных ресурсов и борьбы с изменением климата. Прежде всего, должно быть обеспечено соблюдение правового режима водоохранных зон, водно-болотных угодий, природно-заповедных территорий и прибрежных защитных полос, в том числе, и путем ужесточения юридической ответственности за их нарушение. Реализация государственных целевых программ в области охраны и использования водных ресурсов должна осуществляться при усиленном контроле над строгим расходованием финансовых средств по их целевому назначению.

Таким образом, если переложить все сказанное выше в чисто практическую плоскость на уровне сёл и их сообществ, то в качестве одного из примеров можно привести устойчивое землепользование, где первоочередное внимание следует уделить его эффективности, а именно тому,

насколько разумно используются их территории, нет ли резервов для пересмотра существующего землепользования в сторону повышения его эффективности и устойчивости. Так, в Молдове часты оползни, и оползневые участки обычно используются для выпаса скота. Однако, если такие участки укрепить посадками деревьев и кустарников, то может быть достигнут двойной позитивный эффект: укрепление почвы для недопущения развития оползня и улучшение ее гидрологического режима. Естественно, что для этого следует запретить выпас скота на укрепленной деревьями и кустарниками территории и поддерживать такой запрет, по меньшей мере, несколько лет.

Проблемой остаётся также сохранение и восстановление водоохранных зон вдоль малых рек и водоёмов, которые, как правило, также используются для пастьбы. В этих случаях, должны быть установлены места водопоев, а сами водоохранные зоны – озеленены и защищены путем огораживания озелененных территорий, с обязательной сопутствующей разъяснительной работой с населением.

Наши реки – их сток, экологическое состояние, предоставление присущих им экосистемных услуг – самый чувствительный индикатор ситуации с водной безопасностью в изменяющемся климате. С потерей этих функций река, будь-то она большая или малая, умирает. Чтобы не допустить этого, нужны срочные и действенные меры адаптации. Однако местные власти, отвечающие за состояние малых рек, иногда просто не знают, что и как нужно сделать. Более того, интересы местных пользователей природными ресурсами зачастую противоречат друг другу.

Что же делать местным властям, чтобы улучшить состояние реки и при этом сохранить доверие жителей, учитывая, что любая река, даже малая, протекают через несколько сёл и городов? Ответ один – объединить усилия и создать подбассейновый комитет для этой реки. Этот комитет должен включать представителей местных органов власти и других заинтересованных сторон, например, водопользователей и общественности, а также Экологического инспектората и Водного Агентства. Объединение людей, обладающих знаниями, опытом и инициативой, позволит разработать план управления бассейном с определенной продолжительностью, например, 5-6 лет, и приступить к его внедрению; по истечении этого срока план должен корректироваться или заменяться другим. Главное – не ждать, а действовать!

## Литература

**Балабух В.,** 2014: *Изменение климата и безопасность в бассейне реки Днестр.* Заключительный отчет. УкрГМИ, Киев (Рукопись).

**Грубинко** В.В., Г.Б. Гуменюк, Ю.М. Моргун, 2017: Последствия строительства ГЭС на Днестре. В сб. «*Интегрированное управление трансграничным бассейном Днестра: платформа для сотрудничества и современные вызовы*». Материалы международной конференции,Тирасполь, 26-27 октября 2017 года, Eco-TIRAS, сс. 78-80.

**Замфир** Н.А., 2017: Проблемы и перспективы развития правового режима охраны бассейна Днестра. *Ibid*, сс. 122-125.

**Казак** В. и Лалыкин, 1995: Гидрологические характеристики малых рек Молдовы и их антропогенные изменения, Кишинев, 208 с.

**Коробов** Р. и Г. Сыродоев, 2016: *Климатологическое и гидрологическое описание бассейна реки Балцата.* Отчет по проекту "Promotion of the Sustainable Management of the River Baltata – the Dniester Tributary", 34 с.

**Коробов** Р., И. Тромбицкий, Г. Сыродоев, А. Андреев, 2014: *Уязвимость к изменению климата: Молдавская часть бассейна Днестра.* Эко-Тирас, Кишинев, 336 с.

**Краковская** С., В. Балабух, Л. Горбачева, Ю. Набиванец, 2012: *Анализ воздействия изменения климата на водные ресурсы реки Днестр*. УкрНИГМИ, Киев.

**Снигирев** С.М., 2017: Динамика уловов судака *Sander lucioperca* (Linnaeus , 1758) и щуки *Esox lucius* (Linnaeus , 1758) Нижнего Днестра в 2007-2016 гг. В сб. «*Интегрированное управление трансграничным бассейном Днестра: платформа для сотрудничества и современные вызовы*». Материалы международной конференции,Тирасполь, 26-27 октября 2017 года, Eco-TIRAS, сс. 347-351.

**Станкевич-Волосянчук** О. И., 2017: Проблемы строительства малых ГЭС на горных реках Карпат, *Ibid*, сс. 356-359.

**Хильчевский** В.К. и В.В. Гребня (ред.), 2014: *Водный фонд Украины: Искусственные водоемы — Водохранилища и пруды. Справочник.* Интерпресс, 164 с. (укр).

**Шапхаев** С.Г., 2015): *Эколого-правовые аспекты климатической адаптации плотинных ГЭС.* LAP LAMBERT Academic Publishing, 96 с.

**Швебс** Г. И., 1974: *Формирование водной эрозии, стока наносов и их оценка*. Л.: Гидрометеоиздат, 183 с.

**Brears** R.C., 2016: *Urban Water Security,* Wilew, 320 p.

**Corobov** R., G. Syrodoev, I. Trombitsky, 2016: Anthropogenic and Climate Change Contributions to Uncertainties in Hydrological Modeling of Small Rivers Watershed Runoff. *Advances in Ecological and Environmental Research,* pp. 14-34.

**Corobov R**., G. Syrodoev, I. Trombitskya, D. Galupa, 2015: SWAT Model in Moldova: the First Experience. In: Proceeding of the International Conference *"Frontiers in Environmental and Water Management"*, Kavala, Greece, pp. 75-85.

**ENVSEC**, ЕЭК ООН, ОБСЕ, 2015: *Strategic Framework forAdaptation to Climate Change in the Dniester River Basin, 70 p.*

**Fischer,** G., M. Shah and H. van Velthuizen, 2002. *Climate Change and Agricultural Vulnerability. Special Report as A Contribution to the World Summit on Sustainable Development, Johannesburg 2002*. Laxenburg, Austria: IIASA, 152 p.

**GWP** (Global Water Partnership), 2014: *Proceedings from the GWP workshop: Assessing water security with appropriate indicators.* GWP, Stockholm, Sweden, 113 p.

**GWP** (Global Water Partnership), 2013. *International Law – Facilitating Transboundary Cooperation.* TEC Background Paper No. 17. Stockholm, Sweden.

***IEA*** (International Energy Agency), 2016: *World Energy Outlook. Summary* (Russian translation), 16 p. Available at: *http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2016_ExecutiveSummary_Russian_version.pdf*

**Jiménez Cisneros**, B.E., T. Oki, N.W. Arnell, G. Benito, J.G. Cogley, P. Dцll, T. Jiang, and S.S. Mwakalila, 2014: Freshwater resources. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability.* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 229-269.

**Laušević** R., S. Milutinović, J. Petersen-Perlman, M. Reed, A. Graves, M. Bartula, S. Sušić, A. Popović, 2016: *Local Water Security Action Planning Manual*. Regional Environmental Center, Szentendre, Hungary, 108 pp.

**MacQuarrie**, P., and A.T. Wolf**,** 2013: Understanding Water Security. In Floyd, R., and R.A. Matthew (Eds.), *Environmental Security: Approaches and Issues*, pp. 169-186.

**Mekonnen** M.M. & A.Y. Hoekstra, 2016: Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv*. 2016; 2:e1500323

**OECD**, 1994: *Environmental indicator OECD Core set,* 159 p.

**Sîrodoev** I.G**.,** 2009: *Climate change and water resources.* In: UNDP-Moldova, 2009: *Climate Change in Moldova*: *Socio-Economic Impact and Policy Option for Adaptation.* National Human Development Report 2009/2010, Chisinau , pp. 49-62.

**Sîrodoev** I.G. and C.G. Knight, 2007: Vulnerability to Water Scarcity in Moldova: Identification of the Regions. *Buletinul Academiei de Ştiinţe a Moldovei*. *Ştiinţele vieţii* **3(303)**: 159-166.

**WaterAid**, 2012: *Water security framework. www.wateraid.org/publications*

**WB** (World Bank), 2016. *High and Dry: Climate Change, Water, and the Economy***.**Washington, DC: World Bank.

**WEF** (World Economic Forum), 2015: *Global Risks 2015*, 10th Edition, Geneva, Switzerland

**WEF**, 2017: *The Global Risks Report 2017*, 12th Edition. Geneva, Switzerland, 70 p.

Winchell et al., 2013

**WWF**, 2000**:** *Water Security in the 21st Century*. Ministerial Declaration of the Second World Water Forum, Hague.

**UNECE,** 2015: *Water and Climate Change Adaptation in Transboundary Basins: Lessons Learned and Good Practices*. Geneva, 105 pp.

**UN-Water, 2010**. *Climate Change Adaptation: The Pivotal Role of Water.* Available at: http://www.unwater.org/publications/en

**UNU**, 2013: *Water Security & the Global Water Agenda. A UN-Water Analytical Brief.* United Nations University, 37 pp.

**USDA FS** (U.S. Department of Agriculture, Forest Service), 2013: *Assessing the Vulnerability of Watersheds to Climate Change.* General Technical Report, PNW-GTR-884, 32 p.

**Yan** K. and L. Pottinger, 2013: *Civil Society Guide to Healthy Rivers and Climate Resilience*. International Rivers, 69 pp.

**Winchell,** M., Srinivasan, R., Di~Luzio, M., and Arnold, J.G. (2013): ArcSWAT Interface For SWAT 2009: User's Guide. Texas Agricultural Experiment Station (Texas) and USDA Agricultural Research Service (Texas), Temple (Texas), March 2013.

**Zubcov** E., 2012: Starea actualá a fluviulul Nistru. *Academos* **4 (27)**: 99-102.

**Zubcov** E.I., Bagrin N.I., L.I. Biletchi, Trombitsky I.D., Zubcov N.N. and L.A. Tihonenkova, 2017: Assessment of hydropower impact on aquatic ecosystems of the Dniester River basin. In: *"Transboundary Dniester River basin management: Platform for cooperation and current challenges"*, Proceedings of International Conference, Tiraspol, October 26-27, 2017, pp. 134-138.

CZU: 504.45.064:551.583

K 680

**Descrierea CIP a Camerei Naţionale a Cărţii**

**Коробов, Р., Тромбицкий И.**

Водная безопасность в условиях изменения климата / Р. Коробов, И. Тромбицкий; Междунар. ассоц. хранителей реки „Eco-TIRAS". – Кишинёв: Eco-TIRAS, 2017 (Tipogr. „Elan Poligraf"). – 88 p.: fig., tab.

Bibliogr.: p. 81-83. – Referinţe bibliogr. în subsol.

ISBN 978-9975-66-597-1.

This project is financed by the European Union

Брошюра издана в рамках Программы мер по укреплению доверия, реализуемой ПРООН в Молдове при финансовой поддержке Европейского Союза

Empowered lives.
Resilient nations.

В брошюре использованы научные результаты проекта «Повышение потенциала по управлению водами на местном уровне в Республике Молдова», финансируемого Федеральным министерством окружающей среды Германии, через Программу содействия охране окружающей среды в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии и других стран, граничащих с Европейским Союзом, при техническом сопровождении Федерального агентства Германии по окружающей среде *(Umweltbundesamt, UBA)*. Ответственность за содержание публикации лежит исключительно на авторах.

The scientific data used and presented within this brochure was received in a scientific research within the project "Capacity building for the water management on a local level in the Republic of Moldova". The project is funded by the German Federal Environment Ministry's Advisory Assistance Programme (AAP) for environmental protection in the countries of Central and Eastern Europe, the Caucasus and Central Asia and other countries neighbouring the European Union. It is supervised by the German Environment Agency (UBA). The responsibility for the content of this publication lies with the authors.

Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety

UfU Unabhängiges Institut für Umweltfragen

Umwelt Bundesamt

**Международная ассоциация хранителей реки Eco-TIRAS**

*Str. Teatrului 11A, Chişinău 2012, Moldova*
*Tel/Fax: +373 22 225615*
*www.eco-tiras.org*

Настоящую публикацию можно скачать с сайта организации в разделе "Publications"

ISBN 978-9975-66-597-1