

# Современные тенденции в водном хозяйстве за рубежом

[www.cawater-info.net](http://www.cawater-info.net)



НИЦ МКВК  
Ташкент 2015

Научно-информационный центр  
Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии  
Центральной Азии

# **Современные тенденции в водном хозяйстве за рубежом**

Ташкент 2015



## Содержание

Правовые акты ООН могут помочь Индии и Китаю совместно использовать воды Гималаев С.К. Саркар, М.П. Рам Мохан .....	5
Правительство Индии пересмотрит строительство плотин ГЭС в двух речных бассейнах Джанаки Ленин .....	8
Боевики Исламского государства используют воду как оружие на западе Ирака Изабель Койлз .....	10
Проекты мегаплотин вынудят десятки тысяч людей покинуть свои земли .....	12
Оценка воздействия изменения климата на водные ресурсы в горах .....	15
Водные ресурсы: глобальный кризис Питер Брабек-Летмат, Асит К. Бисвас .....	17
Вода: будущее, перспективы и вызовы Асит Бисвас, Ахмет Бозер .....	21
Достижения Министерства водного хозяйства, освоения ресурсов рек и восстановления Ганга .....	24
Власти штата Махараштра планируют установить солнечные батареи на оросительных каналах Дхавал Кулкарни .....	28
Дилемма: влияние воды на арабо-израильские отношения Криста Кейс Брайнт .....	30
Как Израиль бросает вызов засухе Криста Кейс Брайнт .....	32
Полевые исследования в области речной гидравлики: потенциал, подходы и вызовы Александр Суходолов .....	41



## **Правовые акты ООН могут помочь Индии и Китаю совместно использовать воды Гималаев**

**С.К. Саркар, М.П. Рам Мохан**

Источник: **UN law can help India and China share Himalayan waters**

<http://www.scidev.net/south-asia/water/opinion/un-law-can-help-india-and-china-share-himalayan-waters.html>

«Правовые акты ООН по водотокам могут служить ориентиром для индокитайского соглашения по совместному использованию водных ресурсов Гималаев», – сказали С.К. Саркар и М.П. Рам Мохан.

После переговоров на протяжении пятидесяти лет 17 августа 2014 г. вступила в силу Конвенция ООН о праве несудоходных видов использования международных водотоков, обозначив важную веху в международном политическом и правовом сотрудничестве по устойчивому и совместному использованию трансграничных пресноводных водотоков. Интересно, что Китай и Южно-Азиатские страны, имея свои сложные, гидрогеографические особенности, обеспечивающие свои потребности за счет общих вод Гималаев, решили не присоединяться к Конвенции. Китай проголосовал против, а Индия и Пакистан воздержались от голосования. У Индии имеются проблемы по совместному использованию международных вод с Пакистаном, Непалом и Бангладешем.

Существует относительно новая проблема между Индией и Китаем касательно водных ресурсов бассейна Цангпо и рек Цангпо-Брахмапутра. Этим вопросам уделялось значительное внимание в повестке Премьер-министра Индии Нарендры Моди в ходе его первого официального визита в Китай 14-16 мая. В 2013 г. Китай и Индия пришли к согласию по вопросу обмена гидрологическими данными, которые позволят Индии проводить мониторинг стока рек. В этом же году было подписано соглашение по трансграничным рекам, когда бывший премьер-министр Манмохан Сингх посетил Пекин.

Гималайские реки поддерживали азиатские цивилизации в течение многих веков, и ценность совместно используемых водотоков остается прежней в социальной, культурной и экономической жизни региона. Три большие реки мира – Инд, Ганг и Браhmaпутра – берут свое начало в Гималаях. Инд и Браhmaпутра берут свое начало в Тибете, а Ганг – в индийском штате Уттаракханд. Любой крупный стресс, связанный с водообеспеченностью, либо в

рамках сценариев изменения климата или из-за увеличившегося спроса может только привести к конфликту. Вопрос в том, поможет ли принятие Конвенции решить проблему совместного использования водных ресурсов в регионе.

Сила Конвенции заключается в ее природе. Разработанная как рамочная конвенция, она предоставляет бассейновым государствам с разными географическими характеристиками форум для проведения переговоров по совместному использованию водных ресурсов. Чтобы подчеркнуть тот факт, что именно гидрогеология имеет большое значение при планировании, Конвенция дает определение «водотока» как системы поверхностных и грунтовых вод, составляющих в силу своей физической взаимосвязи единое целое и обычно имеющих общее окончание. Эта концепция акцентирует общую ответственность бассейновых стран.

В Национальной водохозяйственной политике Индии на 2012 г. говорится о планировании ресурсов на гидрологическом уровне и отмечается постоянное беспокойство о том, что «подземные воды, несмотря на то, что являются частью гидрологического цикла и общественным ресурсом, все еще воспринимаются как индивидуальный источник и эксплуатируются несправедливо, без учета необходимости поддержания их устойчивости, что ведет к их чрезмерной эксплуатации в некоторых районах».

Конвенция предоставляет правовую основу для учета базовой гидрологической единицы при планировании. В проектах водных законов Индии твердо говорится о том, что вода во всех своих формах образует гидрологическое целое и что вода и водные ресурсы включают как поверхностные, так и подземные водные ресурсы. Комиссия, созданная в Индии для разрешения разногласий между штатами по водным вопросам, также ссылается на такое комплексное понимание водных ресурсов.

Значительное влияние Конвенции заключается в кодификации принципов обычного международного права, таких как «справедливое и разумное использование» и «обязательство не наносить значительный ущерб». В ней также дается определение «принципа справедливого и разумного использования», который побуждает «государства водотока участвовать в использовании, освоении и защите международного водотока справедливым и разумным образом».

С другой стороны, принцип «обязательства не наносить значительный ущерб» требует от государств «принятия всех надлежащих мер для предотвращения нанесения значительного ущерба» другим государствам, использующим международный водоток. На национальном уровне Верховный суд и комиссии специального назначения в Индии при решении разногласий по совместному использованию и вопросам загрязнения воды применяют эти принципы, хотя законодательство отсутствует в этом отношении.

Учитывая различные интересы, Конвенция призывает государства сотрудничать на основе суверенного равенства, территориальной целостности, взаимной выгоды и добросовестности в целях достижения оптимального использования и надлежащей защиты международного водотока. Далее в ней

предусматривается создание совместных механизмов или комиссий, принимающих такие меры, как регулярный обмен данными и информацией, при этом выделяя предварительное уведомлении о планируемых мерах и т.д. для удовлетворения требований двух принципов совместного использования воды, которые были упомянуты выше.

Что касается урегулирования споров, государства-участники этой Конвенции могут отдать предпочтение переговорам или на совместной основе обратиться к третьей стороне с просьбой об обеспечении посредничества или примирения, или же согласиться передать спор на рассмотрение арбитражного органа или Международного Суда. В Конвенции далее четко говорится о том, что в случае, если спор не смог быть урегулирован в течение шести месяцев посредством применения любой из выше указанных мер, будет создана обязательная, беспристрастная комиссия по установлению фактов, в состав которой входят по одному члену, назначаемому каждой соответствующей стороной. Международные споры по совместному использованию ресурсов могут быть разрешены посредством широко ряда вариантов, имеющих в распоряжении участников Конвенции.

В Конвенции объединены первоначальные знания и предусмотрен комплекс мер касательно сотрудничества на двустороннем, многостороннем, региональном и международном уровне. Совместное использования водных ресурсов Гималаев – это спорный вопрос, который нужно решать на политическом и правовом уровнях. Для Китая и Индии Конвенция обеспечивает хорошие возможности для проведения диалога.



## Правительство Индии пересмотрит строительство плотин ГЭС в двух речных бассейнах

### Джанакви Ленин

Источник: **Indian government to review hydroelectric dams in two river basins**

<http://www.theguardian.com/environment/india-untamed/2015/may/30/indian-government-to-review-hydroelectric-dams-two-river-basins>

В течение недели Министерство окружающей среды и лесного хозяйства Индии проводило оценку общего воздействия плотин на реках Ганг и Брахмапутра.

Верховный суд остановил строительство плотин на реке Ганг вскоре после разрушительных наводнений, которые смели штат Уттаракханд в июне 2013 г. Многие винили их в сильных разрушениях. Экспертный комитет в составе 11 специалистов рекомендовал, чтобы 23 плотины на реках Алакнанда и Бхагирати, двух главных притоков Ганга, были снесены. Строители шести плотин в верхнем бассейне Ганга попросили, чтобы суд разрешил продолжить строительство. Эти шесть плотин входили в число тех 23-х плотин, на которые было наложено вето. Вместо того, чтобы принять рекомендации экспертного комитета, суд обратился к наблюдательному комитету, чтобы он специально изучил заключение экологической экспертизы по этим шести плотинам.

Важно ли, что есть заключения экологической экспертизы по этим шести плотинам? Помимо экспертного комитета, на эти плотины было наложено вето также институтом защиты дикой природы Индии, потому что они неотвратимо нанесут вред биоразнообразию. Обычно заключения экологической экспертизы, которые действуют, как если бы экосистемы и дикая природа имели значение, отсеивают разрушительные проекты. В Индии эти системы лишены законной силы. Например, взять случай плотины ГЭС Дибанг в Аруначал Прадеш. Оценка воздействия на окружающую среду (ОВОС) была фарсовой, а вырубка лесов была разрешена под давлением канцелярии премьер-министра.

В отчете, поданном на рассмотрение Министерству окружающей среды и лесного хозяйства 12 февраля этого года, наблюдательный комитет в составе четырех членов сказал, что, хотя у шести плотин есть все необходимые заключения экологической экспертизы, требуется проведение их переоценки. Ввиду того, что наводнения разительно изменили местность, заключения устарели. Вместо того, чтобы доложить об этом в Верховный суд, министерство

поручило комитету проверить, что у шести плотин были все требуемые заключения экологической экспертизы. И они не требовали дальнейшего пересмотра.

Когда Business Standard указал на это, суд запросил министерство представить полный отчет комитета.

12 мая вместо того, что представить свой affidavit и полный отчет, министерство запросило, чтобы еще один комитет провел проверку рекомендаций наблюдательного комитета, состоящего из 4 членов, а также провести оценку всех других плотин по всему бассейну Ганга. Защитники окружающей среды требовали только такого вида оценку.

Тем временем в восточных Гималаях, Прадип Кумар Бхуян и Джойдип Бхуян, которые управляли школой в Гувахати (Ассам), подали иск в национальный трибунал по экологическим вопросам. Они хотели, чтобы министерство провело оценку 135 плотин, которые было запланировано построить на реке Брахмапутра и ее притоках в штате Аруначал Прадеш. При возведении некоторых из этих плотин имело место широкое противодействие жителей нижнего Ассама, которые опасались, что это строительство негативно скажется на источниках их доходов.

Возведение плотины Нижний Субансири было приостановлено с 2011 г. из-за противодействия со стороны населения. С 2003 г. сметная стоимость ее строительства увеличилась более чем в два раза с 62 850 млн. рупий (630 млн. фунтов) до 158 940 млн. рупий.

Хотя большое число плотин было одобрено по отдельности, министерство не учло их воздействие на весь речной бассейн. Главный министр штата Аруначал Прадеш Набам Туки сказал, что у его штата есть потенциал генерировать около 60 тыс. мегаватт электроэнергии в бассейне Брахмапутры. Несмотря на рост экологических проблем и озабоченности вопросами безопасности и переселения, 160 проектов ГЭС мощностью почти 47 тыс. мегаватт уже были отобраны.

7 мая трибунал предписал министерству провести оценку общего воздействия плотин на биоразнообразие и на население бассейна Брахмапутра.

И наконец, министерство осуществит то, что защитники окружающей среды требуют уже в течение долгого времени, а именно оценку, в разрезе всего бассейна, воздействия плотин, возведение которых запланировано на двух самых больших реках в Индии.

## **Боевики Исламского государства используют воду как оружие на западе Ирака**

**Изабель Койлз**

Источник: **Islamic State militants use water as weapon in western Iraq**

<http://af.reuters.com/article/worldNews/idAFKBN0OJ1TL20150603>

«Боевики Исламского государства перекрыли затворы одной из плотин на реке Евфрат на западе Ирака, что снизило водообеспеченность и дало им большую свободу передвижения для нападения на правительственные силы в нижнем течении на южном берегу», - сказали представители местной власти.

«Боевики перенаправили сток воды для укрепления своей позиции на поле боя вокруг города Рамади. Но такой тактический прием также угрожает южным провинциям засухой, уровень воды снизился до опасного уровня», - сказали представители власти.

Евфрат служит в качестве барьера между боевиками, которые контролируют его северный берег, и проправительственными силами, которые пытаются продвинуться в сторону Рамади на другой стороне.

Представитель губернатора провинции Анбар, столицей которой является Рамади, сказал, что силам безопасности теперь придется передислоцироваться вдоль реки для того, чтобы предотвратить проникновение повстанцев.

«Ранее им приходилось контролировать только мосты и некоторые участки, но теперь реку можно будет перейти в любом месте», - сказал Хикмат Сулейман.

Исламское государство пыталось и раньше использовать воду в качестве оружия в своей войне против иракского правительства.

Прошлым летом боевики захватили плотину Мосул на севере Ирака и угрожали затопить Багдад, пока курдские силы не отбросили их назад с помощью ударов с воздуха международной коалиции.

Совет провинции Анбар встретился в среду для обсуждения вариантов реагирования. Один член, Таха Абдул Гани, предположил, что правительству нужно разбомбить один из затворов плотины для выпуска воды.

Жители Рамади и представитель местной власти по вопросам ирригации говорят, что тем не менее повстанцы оставили открытыми два затвора плотины,

несомненно, во избежание затопления территорий, находящихся под их собственным контролем в верхнем течении.

«Частичное закрытие плотины Рамади спровоцировало поступление большего объема воды в приток, текущий на юг к озеру Эль-Хаббания», - сказал представитель местной власти.

Фалих эль-Эсави, старший представитель по вопросам безопасности провинции, сказал, что правительство открыло другую плотину для переброски воды из озера Эль-Хаббания назад в Евфрат и предотвращения дефицита воды в южных провинциях.

Однако он сказал, что это является только временной мерой, которая будет эффективна в течение трех дней.

«Правительство должно действовать незамедлительно, иначе не избежать страшных последствий и экологической катастрофы», - сказал он.

## **Проекты мегаплотин вынудят десятки тысяч людей покинуть свои земли**

Источник: **Mega-Dam Projects Will Force Tens of Thousands of People From Their Land**

<http://ecowatch.com/2015/05/12/borneo-project-mega-dam/>

За 20 минут ходьбы по тропическому лесу Борнео вы увидите больше древесных пород, чем существует на всем Североамериканском континенте. Уникальное биоразнообразие данной территории привлекает туристов и ученых со всего мира, несмотря на активное в последние несколько десятилетий уничтожение тропического леса под лесозаготовку и плантации для производства пальмового масла. Теперь появилась новая угроза для жителей и дикой природы Борнео:- мегаплотины.

В штате Саравак в Малайзии на севере острова мегагидропроекты продвигаются правительством штата за счет Саравакского коридора возобновляемой энергии или SCORE. Если плотины будут построены, это заставит десятки тысяч человек покинуть свои земли, приведет к вымиранию еще неоткрытых биологических видов и загрязнению рек – линии жизни джунглей – а также к еще большим выбросам парниковых газов при производстве каждого мегаватта электроэнергии по сравнению с электростанциями, работающими на угле.

Власти Саравака уже возвели две плотины из предложенного со стороны SCORE портфолио, но местное сопротивление приостановило ход работ по следующим плотинам, в результате возведения которых был бы затоплен лес. С октября 2013 года коренное население малазийского Борнео препятствует строительству мегаплотины Барам, которое вынудит тысячи семей покинуть свои земли. В рамках кампании по остановке возведения плотин Саравак (Проект ГЭС Борнео) американская неправительственная организация выпустила фильм «Коммерция или коррупция?», второй фильм из серии короткометражных документальных фильмов, освещающих реалии строительства предложенных мегаплотин в Сараваке. Релиз фильма совпадает с 555-м днем блокирования плотины Барам.

Ущерб, который причинят эти плотины, будет огромным, а польза все еще под сомнением. Учитывая, что отсутствует веская причина возведения этих плотин, встает вопрос, почему эти плотины все еще строятся и почему сейчас?

Фильм «Коммерция или коррупция?» показывает истинные мотивы правительства в отношении плотин:- личная финансовая выгода. Частные компании, участвующие в возведении и поставке электроэнергии, получают

гигантские прибыли от строительства плотин. Многие из этих компаний контролируются родственниками и друзьями губернатора штата Таиба Махмуда. Махмуд находится у власти с 1970-х годов. Раздача контрактов добавит еще больше золота к уже переполненной казне политиков и их членам семьи со связями.

Отсутствие прозрачности в финансировании и в планах использования электроэнергии также является поводом для беспокойства. Мегаплотины Саравака исходят из чрезмерного темпа роста спроса на энергию, но штат в настоящее время и так производит значительно больше электроэнергии, чем он может использовать, а у сторонников строительства плотин нет конкретных планов, как использовать или продавать электроэнергию.

Коренное население, протестующее против возведения плотин, борется за свои источники дохода. По завершении строительства плотины Бакун в 2011 г. было создано водохранилище размером с территорию Сингапура, которое обошлось правительству в 5 млрд. долл. США, что более чем в пять раз превышает изначальную смету на 8 млн. долл. США. При строительстве водохранилища, около 10 тыс. коренных жителей было переселено в город Асап. Спустя более десятилетия проживания на новом месте эти общины все еще перебиваются кое-как. У них более нет доступа к охотничьим и рыболовным угодьям своих бывших деревень. Правительство обещало выделить каждой семье 10 акров сельхозугодий, но уменьшило их до трех. Трех акров недостаточно для поддержания жизнедеятельности, к тому же большая часть этой земли скалистая, представлена песчаными почвами и расположена в нескольких часах пути от города. В дополнение ко всем неприятностям, у многих семей есть задолженности, потому что правительство заставило их платить за свое собственное жилье.

Хорошая же новость заключается в том, что противодействие жителей оказывает значительное влияние на разработки. Если плотина Барам будет завершена, то она затопит 26 деревень и приведет к переселению от 6 тыс. до 20 тыс. человек. В продолжающемся блокировании возведения плотины Барам – в виде непосредственных ненасильственных действий со стороны жителей – участвуют мужчины, женщины и дети, и они с успехом преграждают лесозаготовителям и разработчику плотины «Sarawak Energy Bhd» доступ к строительной площадке уже в течение 555 дней. Блокирование поддерживается коренными народами кенях, каян и пенан и демонстрирует масштабное сопротивление на местном уровне дальнейшему ходу строительства плотины и лесозаготовки.



*Плотина Бакун*

«Невыполненные обещания», следующий фильм из серии фильмов «Проект Борнео», будет выпущен в июле. В нем будет освещено разрушительное воздействие вынужденного переселения коренных жителей. Все эти фильмы будут доступны на вебсайте «Проекта Борнео» (The Borneo Project).

## Оценка воздействия изменения климата на водные ресурсы в горах

Источник: **Gauging the impact of climate change on mountain water resources**

[http://ec.europa.eu/research/infocentre/article\\_en.cfm?id=/research/headlines/news/article\\_15\\_05\\_29\\_en.html?infocentre&item=Infocentre&artid=34897](http://ec.europa.eu/research/infocentre/article_en.cfm?id=/research/headlines/news/article_15_05_29_en.html?infocentre&item=Infocentre&artid=34897)

Повышение температуры в горных регионах может оказать сильное воздействие на экосистемы, население и экономику в ближайшие десятилетия во всех уголках мира, как утверждают исследователи, изучавшие при финансировании ЕС последствия изменения климата для водных ресурсов гор.

Качество и объемы воды, накопленной в ледниках, вечной мерзлоте и снежниках в горах, влияет не только на экосистемы и население прилегающих районов, но и оказывает огромное влияние на низменности до такой степени, что, к примеру, Альпы называют «водонапорными башнями Европы». Водные ресурсы гор питают реки, обеспечивающие водой густонаселенные области, а также поддерживают природные экосистемы, орошаемое земледелие и гидроэнергетику. В местном масштабе разрастаются целые индустрии благодаря туристам, привлекаемым снежными вершинами.

Однако к 2050 году количество снега в Альпах, Андах в Чили и горных цепях Тянь-Шаня в Центральной Азии может уменьшиться, а снег, выпадающий зимой, вероятнее всего будет таять раньше весной, и ледники будут отступать с крупными возможными экологическими и социально-экономическими последствиями. Это были ключевые выводы работы международного консорциума в составе 37 университетов, научно-исследовательских институтов и компаний, который в течение 5 лет анализировал воздействие изменения климата на водные ресурсы гор в рамках проекта «ACQWA», финансируемого ЕС.

«Изменение характера температуры и атмосферных осадков в будущем, а также динамики снежного и ледового покрова во многих горных регионах повлияют на объемы, сезонное распределение и, возможно, качество водных ресурсов, формирующихся в горах и высокогорьях», - отмечает команда проекта. «В результате этого изменение водности затронет как высокогорные, так и густонаселенные равнинные районы. Такие экономические отрасли, как сельское хозяйство, туризм и гидроэнергетика, могут начать соперничать, если не будет в наличии воды в достаточном объеме или в надлежащее время года».



## Моделирование будущего горного снега и ледников

С помощью современных методов моделирования партнеры проекта «ACQWA» исследовали различные взаимодействующие элементы климатической системы, включая региональные атмосферные процессы местности со сложным рельефом, снежный и ледовый покровы, растительность, гидрологию, с целью прогнозирования изменений в водных режимах при более теплом климате в разных горных регионах.

Например, для Альп результаты моделирования показали, что прогнозируемое повышение годовой температуры на 1-2°C в период между нынешним временем и 2050 годом, ведущее к уменьшению выпадения снега и увеличению дождевых осадков, повлияет на выработку электроэнергии на ГЭС и водообеспеченность сельского хозяйства в равнинной местности, особенно в летние месяцы. В горных районах учащаются лавины и оползни, горные обвалы и сели, а низины будут подвергаться более высокому риску наводнений вследствие ускоренного таяния снега весной и отступления ледников.

Эти, а также другие результаты, полученные при изучении Чилийских Анд и горных цепей в Кыргызстане, были использованы командой проекта для количественной оценки экологического, экономического и социального воздействия изменений в водных ресурсах. Сделан вывод, что если результаты моделей окажутся безошибочными, то текущие стратегии управления водой в Европе и других регионах мира, по-видимому, являются неверными, и что потребуются более эффективные стратегии для компенсации наиболее негативных последствий и решения проблемы неопределенности будущего стока с гор.

«Имеется явная необходимость в комплексном и всестороннем подходе к использованию и управлению водными ресурсами,- говорят представители команды проекта «ACQWA.- Например, непонятно, согласуются ли текущие водохозяйственные стратегии ЕС с энергетической, сельскохозяйственной и другими отраслевыми стратегиями».

Исследование «ACQWA» представляет собой важный шаг на пути к изменению этой ситуации и, в отдаленной перспективе, для помощи населению и секторам экономики в адаптации к воздействиям изменения климата на жизненно необходимые водные ресурсы.

# Водные ресурсы: глобальный кризис

## Питер Брабек-Летмат, Асит К. Бисвас

Источник: **Water: A global crisis**

<http://thediplomat.com/2015/06/water-a-global-crisis/>

С приближением Всемирного дня окружающей среды, который будет отмечаться 5 июня, стоит поразмыслить над крупномасштабным кризисом в мире, которому уделяется недостаточно внимания. Если эта тенденция продолжится, то мы будем иметь беспрецедентный за всю историю человечества кризис водообеспеченности.

В последнее десятилетие велось обширное обсуждение о достаточности физически доступной воды для удовлетворения все возрастающих нужд в ней с учетом роста численности населения и ускоренного развития экономики. Однако при этом недостаточно внимания уделялось быстрому ухудшению качества воды, что еще более снижает запасы воды, которая больше не может использоваться без дорогостоящей и сложной очистки.

Вода, в отличие от нефти или минеральных ресурсов, является возобновляемым ресурсом. Это означает, что ее можно использовать, очищать соответствующим образом и затем использовать повторно. Этот цикл при рациональном управлении может длиться бесконечно. По оценкам, каждая капля воды в реке Колорадо используется семикратно. При рациональном управлении это использование можно увеличить до 20 или 30 раз. В настоящее время растет обеспокоенность, что мир утратит физически доступные водные ресурсы в обозримом будущем. Мы расходимся в наших мнениях по этому вопросу.

В мире имеется достаточно воды для всех видов ее использования, и не только сейчас, но и в 2050 году, когда численность населения мира составит, по оценкам, 9,3 млрд. человек. Нет никаких причин полагать, что глобальные потребности в воде не могут быть обеспечены при условии эффективного и справедливого управления водой и сопутствующими ресурсами в настоящее время. Мы располагаем необходимыми знаниями, технологиями и методами для управления этими ресурсами. Однако по разным причинам, включая недостаток политической воли, эмоциональную привязанность к воде, что способствует проведению неустойчивой политики во многих странах, отсутствие эффективной структуры ценообразования и слабую институциональную базу, мы имеем неэффективное управление водой.

Мы уверены, что мир сталкивается с кризисом не из-за обеспеченности водой, а из-за неправильного управления ею.

Признаки неумелого управления водой наблюдаются повсюду. Сельское хозяйство является крупнейшим потребителем воды, на долю которого приходится 70% мирового водопользования. До сих пор ни в одной стране мира цена на оросительную воду не покрывает расходы даже на эксплуатацию и техобслуживание, не говоря уже об инвестиционных затратах. Таким образом, повсюду фермеры используют воду расточительно.

Низкий уровень управления оросительной водой и недалёковидная неустойчивая политика создали много серьёзных и необратимых проблем, благоприятствуя неэффективному использованию воды. В результате этого сейчас сток некоторых из могучих рек мира, таких как Колорадо, Инд, Муррей, Нил и Янцзы, к тому моменту, когда они достигают моря, превращается в незначительный поток. Всемирная комиссия по водным ресурсам отметила, что почти половина рек мира в настоящее время сильно истощена.

Другим печальным примером является Аральское море. В результате плохого планирования водные ресурсы Амударьи и Сырдарьи, которые раньше обеспечивали приток пресной воды в море, отводились на производство хлопка. Когда-то четвертое крупнейшее пресноводное озеро мира сократилось в своем размере на 90%, причинив серьёзный экономический и экологический ущерб всему региону.

В 50-е годы Китай имел 50 тыс. рек с общей площадью водосбора, превышающей 100 кв. км. К 2013 году эта цифра уменьшилась до 27 тыс. из-за расточительного использования воды в сельском хозяйстве, производстве и городах.

Даже несмотря на то, что проблемы, связанные с объемом водообеспеченности, получали львиную долю внимания, дело обстоит гораздо хуже с качеством воды из-за плохого управления. Во всех развивающихся странах водоемы вблизи или на территории городских центров сейчас сильно загрязнены известными и неизвестными загрязняющими веществами.

Возьмем, к примеру, Бразилию- место проведения следующих летних олимпийских игр. Немного в мире есть мест, настолько впечатляющих как устье залива Гуанабара у подножия горы Сахарная Голова, где будут проводиться олимпийские соревнования по парусному спорту. Публика сможет наблюдать за соревнованиями с близлежащего пляжа «Фламинго».

В настоящее время Гуанабара является одним из самых загрязненных заливов мира. Этот залив площадью 380 кв.км теперь превратился в открытый коллектор, в который ежесекундно поступает 8200 литров неочищенных стоков и сбрасывается ежедневно 100 тонн мусора. В 2009 году, когда Рио был кандидатом на проведение Олимпийских игр, страна обязалась удалить до 80% своего загрязнения и мусора. Ситуация сегодня настолько критическая, что ближайший пляж Ботафого считается опасным для плавания. Международная Федерация парусного спорта уже заявила, что все гонки, возможно, придется перенести за пределы залива, если он не будет очищен от загрязнений. Сейчас это вполне возможно.

Ситуация с качеством воды практически одинаковая почти во всех частях развивающегося мира.

Например, в Китае. К 2011 году вода более чем в половине крупнейших озер и рек Китая была объявлена непригодной для потребления человеком. Более половины источников подземных вод на севере Китая сейчас настолько загрязнены, что они непригодны для купания, не говоря уже об их использовании в питьевых целях.

Аналогично в Индии в октябре 2014 года Высший Суд обрушился с резкой критикой на Советы по борьбе с загрязнением на уровне центрального правительства и штатов за непрекращающееся загрязнение Ганга, которая считается священной рекой страны. Судья Т.С. Такур жестко раскритиковал государственные органы за то, что они не предпринимают никаких действий против загрязняющих отраслей. Он сказал Генеральному прокурору Индии: «Вы должны были противостоять этим людям, кто имеет власть денег и ресурсы». Он отметил, что «ваша история – это сплошная история провалов, разочарований и бедствий. Вам необходимо бороться против тех, кто загрязняет. Но если оставить эту задачу вам, на это уйдет еще 50 лет».

Индийское правительство доложило в 2013 году, что почти половина из 445 рек страны очень сильно загрязнены и непригодны для питьевых целей только по БПК и кишечным бактериям. Если рассматривать другие загрязняющие вещества, такие как ядохимикаты и тяжелые металлы, воду из большей части рек Индии больше нельзя будет использовать без дорогостоящего и сложного процесса очистки.

Промышленно развитые страны достигли огромного прогресса за последние 25 лет в области очистки бытовых и промышленных сточных вод. Однако соизмеримого прогресса нет в отношении очистки рассредоточенных источников загрязнения в результате сельскохозяйственной деятельности. К примеру, Агентство США по охране окружающей среды отмечает, что 40% обследованных рек, озер и эстуариев непригодны для плавания или ловли рыбы.

По оценкам Агентства, ежегодно в водоемы поступает 850 млрд. галлонов неочищенных стоков, что способствует возникновению 7 млн. случаев заболеваний каждый год.

В Лондоне (Англия) всякий раз, когда выпадает более 2 мм дождя в час, неочищенные сточные воды стекают в Темзу. Это происходит в среднем один раз в неделю. Ежегодно около 30 млн. тонн неочищенных сточных вод сбрасывается в Темзу, загрязняя ее воды.

Абсолютно нет никаких причин, объясняющих, почему нельзя улучшить управление объемами и качеством воды в развитых и развивающихся странах для смягчения остроты этих проблем. Мы уже располагаем необходимыми знаниями, технологиями и опытом управления для этого. Однако для достижения положительных результатов потребуются политическая воля, осведомленность общественности о том, что вода является чрезвычайно важным ресурсом и что пользователи должны платить за нее через соответствующие сборы и налоги, а также разработка подходящих моделей долгосрочного

финансирования для надлежащего управления водными ресурсами. Сейчас по большей части все это отсутствует.

Перефразируя высказывание Махатмы Ганди, можно сказать, что мир располагает достаточным количеством воды для обеспечения потребностей каждого, но при неправильном управлении ее будет недостаточно.

# Вода: будущее, перспективы и вызовы

## Асит Бисвас, Ахмет Бозер

Источник: **Water: Future, prospects and challenges**

<http://www.coca-colacompany.com/opinions/water-future-prospects-and-challenges>

Лорд Байрон пророчески написал в «Дон Жуане», что, только страдая, человек действительно понимает истинную ценность воды. Спустя почти 200 лет после Лорда Байрона мы все еще не научились ценить воду. На протяжении десятилетий практически во всех странах отмечался низкий уровень управления и руководства. В результате мир сталкивается с повсеместным водным кризисом.

Медленные и постепенные положительные изменения в практике управления водой, которая считалась в прошлом нормой, уже не могут предотвратить или решить водные проблемы в мире. Такие компании, как Coca-Cola, Nestlé, SAB Miller и Unilever признали этот факт и давно оповестили своих инвесторов о том, что во многих частях мира вода является ограниченным природным ресурсом и ее обеспеченность представляет собой основную проблему для коммерческого сектора. Таким образом, многие крупные мультинациональные компании активно работают над повышением водообеспеченности, улучшением качества воды и водопользования как с целью продолжения своей деятельности, так и в интересах сообществ, на территории которых они работают.

Нам необходимо по-новому взглянуть на текущие и будущие проблемы, связанные с водой, и затем коллективно сформулировать и осуществить нестандартные решения.

Необходимо начать с того, что миру необходимо эффективное управление водой. Хотя необходимость обеспечения эффективного управления водой очевидна во всех уголках мира, этот вопрос следует рассматривать в более широком контексте. Исторически сложилось, что эффективное управление водой рассматривалось как самоцель – одновариантный подход к одновариантной задаче. Напротив, эффективное управление водой представляет собой важное средство для достижения нескольких целей. Среди них использование воды в качестве двигателя социально-экономического развития стран и охраны природы.

При рассмотрении в более широком контексте многие системы понятий и взглядов, практические методы и процессы, которые применяются в настоящее

время, нужно будет поменять. В мире, сталкиваемся с ограничениями на ресурсы и конфликтами различной формы (землепользование, продовольствие, энергия, полезные ископаемые, окружающая среда), мы должны решать подобные многовариантные проблемы (в рамках взаимосвязи продовольствия, воды и энергии) с помощью многовариантной науки, политики и действий.

Кроме того, все имеющиеся и вновь возникающие признаки указывают на то, что мир сильно поменяется в течение следующих тридцати-сорока лет. Рост населения в развивающихся странах и изменяющийся состав населения, урбанизация, миграция внутри и между странами, глобализация, свободная торговля и ускоренный рост среднего класса в развивающемся мире являются основными движущими силами. Эти изменения приведут к смене пищевых привычек и характера потребительского спроса, быстрой индустриализации в развивающихся странах, укоренному прогрессу науки и техники и революции в информационных и коммуникационных технологиях. Все вместе будет иметь сильное прямое или косвенное воздействие на структуру водопользования и водопотребления, а также на использование энергетических и земельных ресурсов, что в итоге затронет водные ресурсы.

Эти события по отдельности или сообща также трансформируют текущую практику управления водой.

Многие из изменений произойдут вследствие развития таких направлений, как производство продовольствия, энергетика, окружающая среда, из-за индустриализации и глобализации, на которые водники и водохозяйственные организации имеют весьма небольшое влияние. Это еще более усложнит управление водой в ближайшие годы.

Признаки подобных изменений уже заметны во многих частях света. Во многих азиатских странах, например, таких как Индия, Китай или Пакистан, уровни грунтовых вод снижаются с пугающей скоростью вследствие избыточного забора воды.

Возьмем, к примеру, Индию. Под влиянием многих крупных доноров в 1970-е годы, чтобы обеспечить оросительную воду фермерам на бесплатной основе в целях повышения производства продовольствия, Индия сделала электричество для откачки воды фермерами бесплатным. В 1970-е годы фермеры использовали, главным образом, неглубокие трубчатые колодцы для откачки воды. В течение первых лет субсидии на электричество были контролируемы, и эта политика действительно позволила значительно повысить производство продовольствия в таких штатах, как Пенджаб, Харьяна, Раджастхан, Гуджарат и Махараштра.

Однако после установки фермерами своих насосов электричество предоставлялось им бесплатно, независимо от откачки 10 литров или 10 тыс. литров воды. Ошибочно считая, что больше воды даст возможность произвести больше продукции, фермеры начали безлимитно откачивать воду. В результате, это неэкономное использование воды привело вначале к постепенному, а потом быстрому падению уровня грунтовых вод.

По оценкам в Индии сейчас насчитывается более 23 млн. водяных насосов. Из-за чрезмерного отбора воды трубчатые колодцы приходится устанавливать все глубже. Исследования, проведенные Третьим всемирным центром управления водой, показывают, что только за последние десять лет потребности на электроэнергию для откачки воды удвоились, а в некоторых случаях даже утроились во многих районах Индии. Это вызвано, главным образом, тем фактом, что фермеры перешли от неглубоких (10-15 м) к глубоким (200-400 м) трубчатым колодцам. Кроме того, из-за снижения уровня грунтовых вод, они вынуждены были увеличить лошадиные силы насосов в три-четыре раза, чтобы иметь доступ к воде.

В этих условиях министры водного хозяйства в различных штатах не могут обеспечить устойчивость использования грунтовых вод для орошения. Реальные решения перешли к энергетике, которая также страдает из-за постоянного увеличения субсидий, которые она должна интернализировать. Это создало ситуацию, когда как водное хозяйство, так и энергетика, а также вся страна остались в проигрыше. Пока в секторе энергетики не смогут разработать стратегию по остановке чрезмерной откачки воды, водохозяйственные департаменты штатов не смогут управлять использованием грунтовых вод.

В будущем все больше полномочий по принятию решений перейдет в другие отрасли, отличные от водного хозяйства. Водному хозяйству придется реагировать на подобные действия в других отраслях, с которыми оно имеет тесные связи, но на которые оно имеет весьма ограниченное влияние.

Будет очень сложно координировать все эти отраслевые стратегии должным образом, особенно в виду того, что на протяжении последних нескольких десятилетий они велись изолированно на отраслевом уровне.

Решения водных проблем уже имеются. Мы знаем, какие необходимы средства для их решения. Мы располагаем технологиями, знаниями и опытом для решения этих проблем. У нас также есть инвестиционные фонды для реализации этих решений, но зачастую они не используются должным образом. В основном не хватает твердой политической воли, постоянного давления со стороны информированной общественности о том, что водные проблемы должны быть решены, и нового мышления со стороны водников и водохозяйственных организаций для их решения.



## **Достижения Министерства водного хозяйства, освоения ресурсов рек и восстановления Ганга**

Источник: **India: Achievements of the Ministry of Water Resources, River Development and Ganga Rejuvenation**

[http://www.business-standard.com/article/government-press-release/achievements-of-the-ministry-of-water-resources-river-development-and-ganga-115060400909\\_1.html](http://www.business-standard.com/article/government-press-release/achievements-of-the-ministry-of-water-resources-river-development-and-ganga-115060400909_1.html)

Индия наделена богатым и огромным разнообразием природных ресурсов, одним из которых является вода. Интегрированное управление водными ресурсами крайне важно для борьбы с нищетой, сохранения окружающей среды и устойчивого экономического развития. Министерство работает над достижением устойчивого развития, сохранением качества и рациональным использованием водных ресурсов, чтобы справиться с растущими потребностями в этом драгоценном природном ресурсе страны.

### **Управление водными ресурсами**

Министерство определило проект по «Взаимоувязке рек» (ILRs) в качестве приоритетного. Активно выполняется Национальный перспективный план, предусматривающий переброску воды из бассейнов с избытком воды в бассейны с ее дефицитом.

Осуществление проекта на реках Кен-Бетва проходит в ускоренном режиме.

Закончен детальный отчет о проекте «Даманганга-Пинжал» (DRP) и близится к завершению отчет по увязке рек Пар-Тапти-Нармада.

Также осуществляется проект по сдерживанию наводнений на реках Маханади-Годавари.

Завершены проекты на уровне штатов: проект увязки Бурхи-Гандак – Нур – Бая – Ганга (Бихар) и проект увязки Кохи – Мечи. На время осуществления проектов по взаимовязке был создан Специальный комитет. Также была создана целевая группа на высоком уровне для решения технических вопросов, связанных с взаимовязкой.

Был заключен договор с Непалом об ускорении реализации многоцелевого проектного предложения «Панчешвар» по реке Сарда. Также было создано Управление по развитию «Панчешвара» для ускоренного осуществления проекта.

Проект «Полаварам», реализуемый как национальный проект на реке Годавари, направлен на развитие орошения на 43,6 млн. га в год в районах восточный Годавари, Вишакхаптам, западный Годавари и Кришна в штате Андхра-Прадеш.

Началась работа над проектом ГЭС среднего Санга в 9 600 МВт для борьбы с наводнениями в регионах Аруначал Прадеш и Ассам.

При поддержке Всемирного банка начат проект по безопасности плотин общей стоимостью 21 млрд. рупий, в рамках которого определены 233 плотины в четырех штатах для восстановления.

Выполняется реструктуризация Управления реки Брахмапутра в целях усиления контроля над северо-западным регионом бассейна реки Ганг.

Усилена сеть защиты от наводнений и их прогнозирования; за сезон наводнений 2014 года было выпущено 4772 прогнозов по наводнениям/притоку воды.

В марте 2015 года в городе Лакхнау открылся региональный офис Комиссии по контролю паводков на реке Ганг для усиления внимания на северо-западный регион бассейна Ганга.

В рамках инициативы электронного управления запущен новый сайт по прогнозированию наводнений для своевременного распространения предупреждений о наводнениях.

По программе содействия ускоренному развитию орошения (AIBP) с 2014 по 2015 гг. велся мониторинг 47 проектов (20 крупномасштабных и 27 средне-масштабных) в рамках общего мониторинга и 143 текущих проектов (77 крупномасштабных, 49 среднемасштабных и 17 проектов по природопользованию).

### **Водосбережение: больше урожая при минимальном водопотреблении**

В 485 районах организованы общества "Namara Jal Namara Jeevan" для вовлечения ученых, инженеров, представителей водных сообществ, институтов Панчаяти Радж, НПО и других заинтересованных сторон в процесс принятия решения проблем, связанных с планированием водопользования на уровне деревень с целью повышения информированности населения о водосбережении.

Для оптимального использования грунтовых вод при участии общественности осуществлен Национальный проект по управлению подземными водоносными горизонтами. 589 000 км<sup>2</sup> территории было нанесено на карты, частично при помощи современных съемок с борта вертолета.

Для выдачи сертификатов об отсутствии возражений (NOC) по отбору грунтовых вод запущена прикладная система на основе интернет-технологий.

Подготовлен и разослан во все штаты Генеральный план по сбору поверхностного стока и водосбережению.

Упрощение руководств для централизованно финансируемых схем, а именно «AIBP» и Программы по борьбе с паводками (FMP), на основе консультации во время министерской конференции «Джал Мантан», способствовало ускоренному выделению средств с 8 млрд. рупий за первое полугодие до 48 млрд. рупий за второе полугодие.

Началось осуществление Национального гидрологического проекта стоимостью 36 млрд. рупий. В рамках этого проекта будет создана и модернизирована гидрометеорологическая сеть во всех бассейнах рек, также все данные будут стандартизированы в центральной базе данных для упрощенного хранения, проверки и распространения в целях развития систем поддержки принятия решений в области прогнозирования наводнений, эксплуатации водохранилищ, планирования и управления водными ресурсами, комплексного использования вод и т.д. на основе бассейнового подхода. Проект позволит повысить возможности штатов по данным вопросам.

### **Уменьшение загрязнения вод**

Для реализации до 2020 года принята Программа комплексного сохранения природных ресурсов Ганга – «Намами Ганг» – стоимостью 200 млрд. рупий.

Под руководством Премьер-министра проведены две встречи Национального управления бассейна реки Ганг (NGRBA).

Одобрено 76 проектов общей стоимостью 49,75 млрд. рупий в целях создания очистных станций мощностью 678,23 млн. л/сутки и канализационной сети протяженностью 2546 км.

Создан Фонд «Чистая река Ганг», в который вложено 510 млн. рупий.

Совместно с Институтом исследования лесов в Дехрадуне проводится программа по сохранению водных экосистем и биоразнообразия.

### **Двигаясь вперед с новыми инициативами**

Планируется создание Специального офиса поддержки для осуществления приоритетных проектов по взаимоувязке рек. Также планируются следующие работы:

укрепление управления оросительными системами с участием заинтересованных сторон и вовлечение общественности в управление подземными водами и сбор ливневого стока;

восстановление реки Ямуна;

ускоренная реализация многоцелевого проекта «Панчешвар» и проекта среднего Сианга;

запуск комплекса мероприятий «Джал Кранти Абхияан» («Jal Kranti Abhiyaan»);

Предложено создание Национального бюро по рациональному использованию воды в целях контроля и регулирования водопользования.

Все усилия направлены на своевременное завершение проекта «Полаварам».

Прилагаются усилия по модернизации трех исследовательских станций, а именно: Центральной исследовательской станции почв и материалов, Центральной исследовательской станции водного хозяйства и энергетики и Национального института гидрологии, и их преобразования в Центры передовых знаний.

Планируется создание Национального информационного центра водного сектора для укрепления информационной системы по водным ресурсам Индии.

Модернизация и расширение сети прогнозирования наводнений Центральной водной комиссии.

Разработка системы прогнозирования наводнений на основе наблюдений за разливом рек.

Установка телеметрической системы для распространения гидрометеорологических данных в режиме реального времени.

Создание Управления по восстановлению северо-западного бассейна реки Брахмапутра посредством реструктуризации Управления реки Брахмапутра.

## Власти штата Махараштра планируют установить солнечные батареи на оросительных каналах

### Дхавал Кулкарни

Источник: **India: Maharashtra government to set up solar panels above irrigation canals**

<http://www.dnaindia.com/india/report-maharashtra-government-to-set-up-solar-panels-above-irrigation-canals-2092094>

Власти штата работают над политикой «чистого измерения», согласно которой население, в том числе домовладельцы, устанавливающие вспомогательные солнечные батареи, смогут продавать избытки энергии в распределительную сеть штата в рамках стратегий энергосбережения и использования автономных возобновляемых источников энергии.

В инновационном подходе для преодоления протестов местных жителей против приобретения земель и для максимального освоения потенциала штата в использовании солнечной энергии новая политика по использованию возобновляемых источников энергии в штате Махараштра позволила установить солнечные батареи на оросительных каналах. Этот подход также позволит уменьшить испарение воды из каналов и тем самым принесет пользу конечным пользователям, как например, фермерам.

Правительство штата работает над политикой «чистого измерения», согласно которой население, в том числе домовладельцы, устанавливающие вспомогательные солнечные батареи, смогут продавать избытки энергии в распределительную сеть штата в рамках стратегий энергосбережения и использования автономных возобновляемых источников энергии.

Политика штата по использованию новых и возобновляемых источников энергии, одобренная Кабинетом министров штата Махараштра, направлена на создание к 2019-2020 гг. дополнительных мощностей в 14 400 МВт в энергосистеме. Сюда входят 7500 МВт от солнечной энергии, электроэнергия, вырабатываемая ветром и на основе сахарного тростника, соответственно составит 5000 МВт и 1000 МВт. Проекты малых ГЭС мощностью 5МВт или менее восполнят 400 МВт, 300 МВт будет поступать от переработки промышленных отходов, а 200 МВт от биомассы. Министр энергетики Чандрашекхар Баванкуле заявил, что в рамках осуществления политики будут привлечены инвестиции в 100 млрд. рупий и созданы новые рабочие места.

Из планируемых 7500 МВт солнечной энергии 5000 МВт пойдут на внутреннее потребление в производстве с возможностью открытого доступа и

продажи третьим сторонам; оставшиеся 2 500 МВт будут освоены компанией «MahaGenco» через частные стороны.

«Из этих 2500 МВт около 10% проектов будут осуществляться на каналах», - говорит высокопоставленный чиновник, добавляя, что модель распределения доходов будет разрабатываться департаментом водных ресурсов.

Это будут линии солнечных установок, размещенные на каналах компании “Sardar Sarovar Narmada Nigam Limited (SSNNL)” в Гуджарате, где используются фотогоальванические солнечные панели, соединенные с электросетью.

«Департамент водных ресурсов и потребители выиграют за счет уменьшения потерь, связанных с испарением воды. Мы также извлечем выгоду, поскольку мы сможем использовать «зеленую» энергию в рамках выполнения обязательств по покупке возобновляемой энергии (ОПВЭ) (установленных регулирующими органами, согласно которым определенная доля энергии должна вырабатываться от возобновляемых источников) и получим легкодоступные земли, включая земли, примыкающие к каналу», - говорит чиновник.

Власти штата также планируют предоставить право производителям ветровой энергии технически модернизировать свои проекты для повышения выработки. Эти улучшения позволят повысить выработку ветровой энергии даже при низких скоростях ветра.

«Несмотря на то, что ветровая энергия – это источник чистой энергии, ее невозможно запланировать или прогнозировать. Она вырабатывается ночью или во время муссонов, когда спрос на энергию не так высок. Нам необходимы центры по управлению возобновляемыми источниками энергии подобные тем, которые имеются за рубежом», - добавляет министр.

Аналогично ситуации с солнечной энергией, промышленные отрасли должны будут вырабатывать 3500 МВт при помощи вспомогательных ветровых установок, а оставшиеся 1500 МВт будут вырабатываться для продажи по договорам о покупке энергии.

На сегодняшний день ОПВЭ составляют 9%, а к 2020 году их число постепенно увеличится до 15%. Дополнительные мощности в рамках этой политики помогут удовлетворить это требование, а также позволят реализовывать энергию в другие штаты через открытый доступ.

Тем временем Баванкуле утверждает, что политика «чистого измерения» позволит жителям, установившим солнечные батареи для собственного использования, реализовывать излишки энергии компании «MahaVitaran».

В штате также ведутся работы по разработке стратегии автономных солнечных установок на крышах и политики энергосбережения, которая будет включать установку светодиодных систем внутри и вне помещений; в скором времени будет также разработана система контроля потребления электроэнергии.

## Дилемма: влияние воды на арабо-израильские отношения

**Криста Кейс Брайнт**

Источник: **Tap dance: Water's effect on Arab-Israeli relations**

<http://www.csmonitor.com/World/Middle-East/2015/0621/Tap-dance-Water-s-effect-on-Arab-Israeli-relations>

В условия многоводья Израиль располагает большими возможностями для совместного использования водных ресурсов с палестинцами и иорданцами.

Значительное увеличение водных ресурсов в Израиле за последние пять лет открыло возможность для потенциального сотрудничества с арабскими соседями, страдающими от нехватки этого ресурса. В условиях многоводья – а сюда входит и последний год, самый засушливый из зафиксированных в этом регионе, - страна располагает большими возможностями при совместном использовании водных ресурсов с палестинцами и иорданцами. “Если 5-7 лет назад экономия воды в Израиле составляла 2 млрд. м<sup>3</sup>/год, то сегодня эта цифра приближается к 3 млрд. м<sup>3</sup>, и это меняет “правила игры”, - говорит Гидон Бромберг, директор экологической организации “EcoPeace Middle East”, которая способствует делу мира посредством реализации инициатив в сфере защиты окружающей среды. “Если в прошлом совместное использование природной воды с палестинцами в более свободном формате означало, что израильским фермерам урежут водораспределение, то на сегодняшний день ситуация изменилась”.

В марте Израиль в два раза увеличил продажи воды в Газу с 5 млн. м<sup>3</sup> до 10 млн. м<sup>3</sup>. У него есть потенциал поставлять дополнительно и 10,5 млн. м<sup>3</sup>. Также в марте Израиль и Иордания договорились о взаимобмене водой, согласно чему Израиль будет обеспечивать водой северную часть Иордании из Галилейского моря, что поможет уменьшить нагрузку на ресурсы Иордании, возникшую из-за огромного притока сирийских беженцев. В обмен на это Иордания построит водоопреснительную установку в Акабе для обеспечения водой южной территории Иордании и Израиля. В рамках этой договоренности стоимостью 900 млн. долл. рапы (насыщенная солями вода), получаемая на установке в Акабе, будет откачиваться на север в Мертвое море, которое за последние 30 лет уменьшилось почти на треть.

Однако некоторые предостерегают, что этот план может быть не осуществим. Международные доноры могут настороженно отнестись к инвестированию сотен миллионов в подобный проект, особенно когда неизвестны последствия откачки рапы в Мертвое море для окружающей среды.

Ранее Всемирный банк пришел к выводу, что крупномасштабный проект по откачке воды из Красного моря в Мертвое море непрактичен. Также есть обеспокоенность политического характера. Изначально, договоренность, о которой впервые было заявлено в Меморандуме о взаимопонимании в декабре 2013 года, также включала участие палестинских властей, у которых была возможность приобрести у Израиля дополнительно 30 млн. м<sup>3</sup>. Однако палестинцы, которые уже покупают 50 млн. м<sup>3</sup> воды в год у Израиля, обвинили израильтян в заборе воды из совместно используемых водоносных горизонтов в большем количестве, чем было выделено. Соглашение 2013 года скорее усилило их зависимость от Израиля, чем признало их право на определенную часть водных ресурсов и позволило им управлять этими ресурсами самостоятельно.

Г-н Бромберг говорит, что вода – один из пяти вопросов, требующих окончательного решения, куда также входят Иерусалим, границы, безопасность и беженцы, – предоставит возможность израильтянам и палестинцам восстановить доверие, если участники переговоров не будут придерживаться категорической позиции «все или ничего», который мешает мирным переговорам. “Если премьер-министр хочет показать международному сообществу серьезность своих намерений относительно укрепления доверия, то это могло бы стать большим политическим достижением Израиля”, – говорит Бромберг, который подчеркивает, что решение вопроса заключается не в том, чтобы продать больше воды палестинцам, а в том, чтобы более справедливо использовать совместные водные ресурсы. “Поэтому открывающаяся здесь возможность колоссальна. Более чем когда-либо, мы считаем, что благодаря техническому прогрессу есть реальные политические возможности, за которые необходимо ухватиться”.



## Как Израиль бросает вызов засухе

### Криста Кейс Брайт

Источник: **How Israel defies drought**

<http://www.csmonitor.com/World/Middle-East/2015/0621/How-Israel-defies-drought>

К концу самого засушливого года в Израиле была зафиксирована избыточная водообеспеченность. Опыт пустынной страны по тому, как добыть больше воды.

Даже ночью земля на израильской части Аравийской пустыни пульсирует от жары. На протяжении десятилетий огромные просторы выбеленных холмов казались раем для горных велосипедистов и источником мучений для фермеров. При выпадении осадков примерно лишь в дюйм за год, даже израильская растительность не осмеливалась расти здесь.

Однако ситуация постепенно начала меняться, когда в середине 60-х гг. здесь появились израильские первопроходцы. В действительности причиной их появления не были почва или погодные условия. Тем не менее, земледелие было жизненно важным для закрепления границ молодого государства согласно требованию Израиля на эту землю вдоль границы с Иорданией. В период между отражением атак со стороны палестинских ополченцев поселенцы обрабатывали малопригодную для культивирования почву.

Они выращивали розы, когда другие говорили, что это невозможно. Они создавали естественно проветриваемые теплицы, установив «мокрые шторы» - стены с кавернами, которые позволяют воде просачиваться медленно. Они выращивали цветы на бороздах вулканического пепла на месте песчаного грунта. Позже они стали выращивать финики и перец, используя систему капельного орошения, разработанную в Израиле.

На сегодняшний день эта бывшая пустынная местность, несмотря на то, что она по-прежнему остается малопродуктивной, стала сельскохозяйственным раем: ряды теплиц протягиваются по земле, давая укрытие всему – от абрикоса до манго, от авокадо до граната. Другие культуры выращиваются снаружи под пленкой для уменьшения испарения. Эта узкая полоса земли вдоль границы с Иорданией обеспечивает 65% израильского экспорта овощей, в основном томата и перца, и помогает накормить овощами само еврейское государство. Это одна из самых продуктивных территорий на Ближнем Востоке.

Преображение пустыни здесь является ничем иным, как свидетельством инновационного подхода Израиля к воде. Благодаря комбинации необходимости и изобретательности, страна стала одним из мировых лидеров по тому, как

максимально использовать скудные осадки и превратить засушливый участок земли в плодородный сад.

Израильтяне превращают морскую воду в водопроводную, разрабатывая новые типы орошения и повторно используя сточные воды больше, чем какая-либо другая страна в мире. В прошлом году, несмотря на то, что он был самым засушливым из зафиксированных, в стране зарегистрировали избыток водообеспеченности. Поскольку изменение климата создает тяжелые погодные условия, включая, в особенности, разрушительные засухи, израильские технологии и идеи все больше применяются по всему миру.

Несомненно, Израиль является намного меньшей страной, чем большинство стран, где стоит острая необходимость в воде. Но сторонники технологии утверждают, что большинство данных методов, однако, можно использовать в других странах. Израиль уже осуществляет крупномасштабные водохозяйственные проекты в Китае, Индии и в бедствующей от засухи Калифорнии.

«Израиль является очень подходящим местом для проведения эксплуатационных испытаний для решения этих проблем в небольшой стране», - говорит Гленн Яго, основатель Центра исследования капитала при Институте Милкена в Калифорнии, который призывает к увеличению израильских инвестиций в водохозяйственные проекты в Калифорнии. «Капельное орошение, опреснение, повторное использование [сточных вод] и восстановление водоносных горизонтов — это те проблемы, которые можно исследовать во всемирной лаборатории, каковой и является Израиль, а затем применять и в других регионах».

Тем не менее, как и ко всему происходящему в этой части света, в эту картину событий здесь вмешивается политика: палестинцы обвиняют Израиль в заборе воды из совместно используемых водоносных горизонтов больше фиксированной доли, а обеспокоенность, вызванная состоянием окружающей среды, связана с последствиями эксплуатации в государстве многочисленных опреснительных установок вдоль Средиземного моря. Однако излишки воды в Израиле открыли новые возможности для водного сотрудничества с его арабскими соседями и, возможно более гибкие.

История о том, как пустыню превратили в цветущую долину, начинается с человека в цилиндре.

В 1960-х гг. Симча Бласс, эмигрант из Польши, путешествовал по знойной израильской пустыне в костюме тройке, в белых перчатках до локтей и той впечатляющей шляпе, выглядя, как герцог из Европы. На самом деле он был одним из выдающихся инженеров-гидротехников Израиля, который помог создать первые израильские акведуки и трубопроводы (одна из этих систем трубопроводов была изготовлена из Лондонских труб, восстановленных после войны, которые были использованы для тушения пожаров во время наступления Германии).

В тот момент он работал над идеей как помочь выращивать культуры там, где они не должны расти: капельное орошение. Но ни один из молодых

кибуцников, работающих на пыльной комковатой почве в пустыне Негев, не заинтересовался этой идеей.

Это продолжалось до тех пор, пока в один прекрасный день в 1965 году Ури Вербер не постучался в дверь г-на Бласса в Тель-Авиве. Прежде чем г-н Вербер успел представиться, эксцентричный инженер-гидротехник сказал: «Вы знаете, кто вы? Вы идиот... Никто не слушает меня. Зачем вы пришли сюда?».

Вербер представил кибуц Хацерим, одну из 11 сельскохозяйственных коммун, активно создаваемых в Негеве в 1947 году, за год до того, как Израиль провозгласил независимость. Он был настолько бесплодным, что единственный холм был известен тогда, да и сейчас, как «холм одного дерева». Единственным источником воды для выращивания овощей был слив воды из примитивного душевого помещения.

Двадцать лет спустя кибуц разросся до 100 человек, и Вербер был в поисках небольшого дела, чтобы предоставить работу около дюжине членов этой коммуны. Он бы предложил производить все: от светофоров до люстр, но капельное орошение было ближе к их фермерским корням.

И здесь, на пороге дома Бласса, Вербер настоял на том, что хочет услышать больше о его изобретении. Бласс разработал его после того, как его друг-фермер обратил внимание на дерево, которое было значительно больше, чем те, что стояли вокруг него. Причиной, которую они выявили, была маленькая утечка в шланге, которая разбрызгивала воду на корни дерева.

Вербер вернулся в Хацерим с предложением создать систему из перфорированных труб, с помощью которых осуществлялся бы полив культур с надлежащей регулярностью. Кибуц одобрил ее. Изначально, управляющий хозяйством коммуны был настолько впечатлен результатами — с помощью капельного орошения сократилось водопотребление, а урожайность при том же водопотреблении выросла в 4 раза — что он хотел сохранить его в качестве секретного оружия кибуца.

Вместо этого, кибуц основал компанию «Нетафим», чья технология была сначала испытана на засушливых израильских фермерских хозяйствах, а затем экспортировалась по всему миру. На сегодняшний день, из своего кампуса с пышной растительностью в кибуце Хацерим компания руководит более 30% мирового рынка систем капельного орошения и имеет покупателей из 110 стран.

«Для меня несомненно, что капельное орошение превратило пустыню в цветущий уголок», - говорит Нати Барак, директор «Нетафим» по устойчивому развитию, который видит особый потенциал для использования технологий компании в Калифорнии, где в 1981 году он открыл первую дочернюю компанию «Нетафим». - «У Израиля есть ответ калифорнийской засухе».

Наряду с тем, что сейчас капельное орошение - это надежно отработанная методика, «Нетафим» постоянно работает над усовершенствованием ее технологии, используя Араву в качестве основной лаборатории, как и многие десятилетия до этого.

«Мы работаем в суровых и экстремальных условиях – почвенных, водных и погодных», - говорит Эффи Триплер, специалист-почвовед и гидротехник из Научно-исследовательского центра по Центральной и Северной Араве в Хатцеве. «Известно, что если это работает здесь, то это будет работать в любом другом уголке мира».

Этот центр, один из нескольких на сельскохозяйственных территориях Израиля, экспериментирует со всем: от новых сложнейших методов капельного орошения до аквакультуры. Центр также тестирует различные сорта манго, абрикоса и других фруктов и овощей, чтобы определить, какой из них наиболее устойчив к суровым условиям Аравы, где температура варьирует от заморозков до температуры свыше 100 градусов по Фаренгейту летом, а на засушливую почву приходится всего около дюйма осадков в год.

«Растения очень умны», - говорит Д-р Триплер, на чьем лице, несмотря на ранний час, проступают капли пота. В сотрудничестве с компанией «Нетафим» и другими исследователями, он занимается усовершенствованием сложной системы капельного орошения, которая орошает растения только тогда, когда им это требуется. Система, которая установлена здесь на небольшом участке, засеянном сорго, состоит из четырех датчиков, питаемых солнечной энергией и соединенных по беспроводной связи с панелью управления на краю участка, и измеряет усвоение корнями растений влаги, чтобы определить потребность в ней. Похожая система будет установлена в Калифорнийском Университете в Дэвисе осенью. Считывая сигналы растений, система помогает фермерам максимально продуктивно использовать воду.

«Для производителей сельскохозяйственной продукции это своего рода их GPS», - говорит Триплер, который провел 15 лет, наблюдая за плантацией финиковых пальм вблизи Мертвого моря.

Уменьшение водопотребления в сельском хозяйстве - это наиболее перспективная помощь для всего мира в экономном расходовании этого ценного ресурса, т.к. около 70% мирового водопотребления приходится на сельское хозяйство. Наиболее распространенным методом полива полей является орошение затоплением, при котором вода подается на поля насосом или иным образом и растекается между культурами. Проблема этого метода состоит в том, что при его применении необходима равнинная местность и огромные объемы воды, большая часть которой теряется.

По словам г-на Барака из «Нетафим», капельное орошение могло бы резко сократить водопотребление, а также сделало бы возможным использование холмистых земель. При этом уровень применения капельного орошения в мире остается низким - 5%, в то время как в Израиле 75%. Главным образом, это происходит из-за стоимости установки такой системы. Вода все еще бесплатна во многих местах, что финансово усложняет обоснование подобного капиталовложения.

Барак говорит, что порой он просыпается утром и чувствует «такую гордость» от того, что на сегодняшний день работа, проделанная в израильской пустыне, приобретает все большую известность сегодня. «[Но] иногда я

просыпаюсь утром и спрашиваю себя: «Что происходит? У нас есть решение для одной из серьезнейших проблем, а им не пользуются».

\* \* \* \*

Примерно в то время, когда Бласс распространял свою технологию капельного орошения в окрестностях Негева, американский инженер-химик Сидней Лоеб разрабатывал новый способ переработки морской воды в питьевую.

В самом начале развития процесса опреснения существовало два главных метода отделения соли: замораживание или дистилляция. Однако г-н Лоеб, наряду с другими выпускниками Калифорнийского Университета в Лос-Анжелесе (UCLA), разработал процесс обессоливания методом обратного осмоса, согласно которому морская вода проходит через мембраны, которые задерживают соль, а воду пропускают дальше.

В 1965 году, первая коммерчески жизнеспособная установка обратного осмоса была установлена в Коалинге в Калифорнии; ею управляли пожарники в промежутке между моментами, когда они тушили пожары. Производительность работы установки была невелика – 5000 галлонов воды в день, тем не менее, этого хватало, чтобы обеспечить пресной водой треть города. В следующем году в израильском кибуце Йотвата в пустыне Арава, вдоль границы с Иорданией, была установлена вторая коммерческая установка. По словам Лоеба, переехавшего в Израиль в 1966 году, женщины приносили к установке ведра, чтобы помыть свои волосы в мягкой воде, однако, пить ее скептически настроенные жители изначально отказывались.

Сначала специалисты особо не задумывались о технологии. В действительности, прошли десятилетия, прежде чем установки обратного осмоса стали использоваться в широком масштабе, несмотря на то, что Израиль периодически страдал от нехватки воды. В середине 1980-х гг., проблема стала такой острой, что в целях водосбережения Министр сельского хозяйства Израиля рекомендовал, чтобы каждый принимал душ попарно.

Позже в 1999 году Водный комиссар Израиля представил генеральный план на период 2000-2010 гг., в котором прозвучал призыв к широкомасштабному внедрению процесса опреснения воды, чтобы помочь перекрыть дефицит воды в 400 млн. м<sup>3</sup> в год. Правительство Израиля согласилось производить 50 млн. м<sup>3</sup> опресненной воды – важный, пусть и маленький, первый шаг, говорит Авраам Тенне, глава отдела по опреснению Управления водными ресурсами Израиля. «Обычно первое решение является самым важным, поскольку вы зашли слишком далеко».

В 2003 году компания «IDE» выиграла контракт с французской фирмой «Веолия» на строительство установки опреснения морской воды методом обратного осмоса в Ашкелоне, которая будет производить 100 млн. м<sup>3</sup> воды в год, тем самым создав крупнейшую установку подобного типа в мире. Правительство одобрило план, согласно которому установке гарантируется достаточная финансовая поддержка для ее эксплуатации, независимо от фактической потребности в воде.

«Ашкелон изменил все», - говорит Том Панкрац, редактор «Доклада об опреснении воды» (Water Desalination Report) и независимый консультант по опреснению. До того момента, банкиры относились несерьезно к обязательству финансировать крупную установку с технологией, которую все еще необходимо было испытать в таком масштабе.

В 2006 году на церемонии награждения Всемирной водной премии в Дубае в Объединенных Арабских Эмиратах, Ашкелон был назван «опреснительной установкой года», где он был провозглашен «вехой в опреснении методом обратного осмоса».

«Мы не особо понравились ребятам в Дубае, но даже они были впечатлены», - говорит г-н Тенне, почти случайно ставший одним из ведущих специалистов по опреснению: он записался на первый курс Лоеба по методу обратного осмоса в университете, потому что считал, что американский профессор будет мягким по отношению к студентам.

После Ашкелона, опреснение методом обратного осмоса развивалось в геометрической прогрессии. С 2004 по 2014 гг. примерно 74% договорных опреснительных установок работали на основе метода обратного осмоса. Из них три были построены в Израиле – Палмачим, Хадера и Сорек.

Сорек, также построенная компанией «IDE», имеет мощность 150 млн. м<sup>3</sup> в год и начала работу в 2013 году, как крупнейшая установка подобного типа в мире. Каждые две минуты, морская вода объемом, способным заполнить олимпийский бассейн, откачивается из океана на расстоянии полторы мили через огромные подземные трубы, которые примерно вдвое больше роста среднего человека. Вода заполняет огромные цистерны, которые отсеивают медузы и другие элементы, способные засорить насосы, а затем проходит в комплекс бассейнов для предварительной очистки с песчаными фильтрами.

Когда удалены все твердые частицы, вода откачивается под высоким давлением в фалангу из 11 200 цилиндров. Внутри цилиндров мембраны отсеивают соль. В течение часа, питьевая вода объемом в олимпийский бассейн поступает в национальную систему водоснабжения Израиля, после чего она готова для подачи населению через водопроводные краны.

Тем не менее, не все в восторге от этой технологии. Специалисты по вопросам окружающей среды беспокоятся о перенаправлении природных ресурсов в таком огромном масштабе. Рапа, сбрасываемая назад в море, может навредить дикой природе, особенно учитывая многочисленные установки вдоль Средиземного моря - не только в Израиле, но и на Кипре, в Египте и Алжире.

«Опреснение – это всегда последнее, к чему следует прибегать», - говорит Карин Клустерман, основатель организации «Green Prophet», которая освещает проблемы устойчивого развития на Ближнем Востоке. «Опреснение - это энергоемкий процесс, который потребляет несбалансированные объемы электроэнергии во время отделения соли от воды. Субпродукты и рапа после процесса опреснения вредны для водотоков, протекающих вблизи опреснительной установки».

Другой проблемой является стоимость. Опресненная вода здесь стоит 2,8 шекелей за 1 м<sup>3</sup> (0,66 долл.), что в четыре раза больше, чем в Австралии. Отчасти, это обусловлено инновационным дизайном установки компании «IDE» и ее эксплуатацией, например, размещение цилиндров вертикально, а не горизонтально, чтобы сэкономить на бетоне и других строительных вспомогательных материалах. Однако, подавляющее большинство жителей Израиля, за исключением Иерусалима, живут в нескольких милях от побережья.

Для сравнения, Калифорнии намного обширнее и на ее территории есть высокие горы, что может значительно увеличить цену на опресненную воду. Также здесь есть сильное экологическое движение и серьезные нормативные барьеры. Более того, система управления водными ресурсами в Калифорнии намного более сегментирована, поэтому сложно установить цену на воду, и немногие хотят платить за опресненную воду, если они бесплатно получают ее из земли, озер и рек. Поэтому, по иронии судьбы, штат, где Лоеб впервые разработал процесс опреснения методом обратного осмоса, сегодня значительно отстает от Израиля в этой сфере.

В настоящее время компания «IDE» осуществляет строительство установки стоимостью 1 млрд. долл. в Карлсбаде в Калифорнии, которая станет крупнейшей в западном полушарии. Но она все еще относительно не крупная и проект сталкивается со многими сложностями.

«В период времени, которое понадобилось, чтобы перейти от плана к действиям в Карлсбаде, мы построили установки, которые в совокупности ежедневно производят в 7 раз больше, чем планируется в Карлсбаде», - говорит Хамутал Бен Бассат, менеджер по развитию бизнеса в «IDE», в ходе тура команды с установки Сорек.

В начале мая Санта-Барбара дала соглашение «IDE» на строительство другой опреснительной установки, и г-жа Бен Бассат говорит, что и другие проекты в Калифорнии находятся на рассмотрении. Она добавляет, что «IDE» также ожидает увидеть «достаточно активную деятельность в США, Китае и Индии» в последующие два года.

Согласно отчету отраслевого издания «WaterWorld», в Китае прибрежные города, на которые приходится 40% населения и 60% ВВП страны, уже столкнулись с чрезвычайной нехваткой воды. Прошлой осенью Израиль объявил о проекте «Водный город» в Шоугуан, городе с населением в 1 млн. человек, в котором израильские водохозяйственные компании будут внедрять свои технологии с надеждой расположить к себе китайское правительство и расширить свою деятельность в других городах.

Однако существуют ограничения относительно того, насколько широко могут распространяться израильские технологии. Арабский Ближний Восток и Северная Африка представляют собой более 40% мирового рынка для внедрения опреснения, но до сегодняшнего они не пользовались услугами «IDE» по политическим причинам. Тем не менее, с 2004 по 2014 гг. компания была четвертым крупнейшим поставщиком опреснительных установок в мире.

«По сути, мы строим крупнейшие установки с максимально низкими затратами», - говорит Бен Бассат.

\* \* \* \*

Израилю удалось извлечь больше воды из имеющихся ресурсов, потому что, по сути, «на его кране лежит только одна рука». В стране есть только одно Управление водными ресурсами, которое устанавливает и политику, и цену на воду для всей страны.

Во многих других странах, включая, в особенности, США, происходит путаница из-за нескольких юрисдикций осуществления контроля водных вопросов, а именно на уровне федерального правительства, на уровне штата и на местном уровне. «Большая часть проблем в США заключается, по большому счету, не в технологиях, а в руководстве», - говорит проф. Йорам Коэн, инженер-химик и специалист по биомолекулярной инженерии из Калифорнийского Университета Лос-Анжелеса.

В действительности, сотни водохозяйственных организаций Калифорнии существуют самостоятельно. В США, у многих фермеров есть права на воду и они не платят за нее; в некоторых местах у властей нет даже действующей системы водоучета, что делает невозможным установление цен на нее.

Помимо ключевых решений касательно водоучета и стоимости воды, правительству Израиля удалось обеспечить соблюдение национальных стратегий, таких как широкое распространение очистки и повторного использования сточных вод. Израиль перерабатывает более 80% своих сточных вод для повторного использования в сельском хозяйстве и в других промышленных процессах, что в четыре раза больше второго лидера по переработке сточных вод – Испании. В Калифорнии общественность все еще с большим недоверием относится к подобной переработке, даже после тщательной очистки.

«Когда вы говорите «повторное использование» в Калифорнии, это означает нечто другое..., в основном под этим подразумевают, что «есть туалет, где можно спустить воду», - говорит г-н Панкрац, - «И здесь это стало реальным стереотипом».

Израиль также стал лидером по сокращению потерь воды за счет таких инновационных компаний, как «TaKaDu». Ее система мониторинга стоит около 150 тыс. долл., относительно небольшая цена для такого крупного города, как Нью-Йорк, учитывая объемы потерь воды в мире, оцениваемые в 15 млрд. долл. Арабские соседи Израиля теряют половину своих водных ресурсов из-за утечек, в то время как в Лондоне потери составляют около 35%. В Израиле эта цифра менее 10%, но страна стремится к отметке в 8%, говорит Тенне из Управления водными ресурсами Израиля, которое требует, чтобы в стране компании коммунального водоснабжения тратили определенный процент на технические обслуживание каждый год.

В то же время он говорит, что ответ для повышения эффективности использования мировых водных ресурсов находится не в одном шаге, а скорее



представляет собой долгосрочный комплексный подход. «Нет такого, всего одного-единственного шага, и в Китае, Калифорнии и Индии также не решить проблему, сделав только один-единственный шаг», - говорит Тенне. «Люди пытаются решить проблемы за один день, и ничего не выходит. Но проблему можно решить, и Израиль является прекрасным примером того, что это можно сделать».

# Полевые исследования в области речной гидравлики: потенциал, подходы и вызовы

**Александр Суходолов**

Лейбницкий институт экологии пресных вод и рыболовства во внутренних водах, Берлин, Германия

## 1. Введение

Речная гидравлика – это научное направление, дающее количественные, физически обоснованные характеристики потоков импульса и массы в реках. Таким образом, ведется поиск параметризованных решений базовых уравнений гидродинамики и переноса и проверяется их достоверность с помощью экспериментальных исследований, которые традиционно проводятся в лабораториях. В то же время степень успешности выработанного решения в прогнозировании стока на уровне прототипа можно проверить только с помощью полевых исследований (Uijtewaal, 2014).

Полевые исследования, действительно, занимают важное место в речной гидравлике, являясь неотъемлемой частью ее научного метода. Исторически сложилось, что гидравлические полевые исследования получили свое развитие из исследований в рамках геологических дисциплин, где понимание речных процессов значительно улучшилось именно благодаря обширной работе в поле. К примеру, ранние полевые исследования в геоморфологии, в основном разведочные, но с недостаточной гидротехнической строгостью (Church, 2013), привели к созданию первых качественных теорий речных процессов (Gilbert, 1877) и стимулировали новаторские лабораторные эксперименты (Gilbert, 1914). Первые полевые исследования в гидротехнике, проведенные на ирригационных каналах в Индии и Пакистане, имели своим результатом принципиально новую гидроморфологическую теорию (Kennedy, 1895; Lane, 1937; Inglis, 1949).

В середине прошлого века произошло радикальное переосмысление понятий в геологических дисциплинах с важными последствиями для гидравлических полевых исследований. Их характер изменился с разведочных на более специализированные, с более детальным обоснованием выбора испытательных участков, подбором надлежащей аппаратуры и широким рядом количественных анализов результатов. Ярким примером этого периода является комплексное исследование турбулентного потока в меандрах, выполненное в бывшем Советском Союзе Розовским (1957). В данной плодотворной работе

теоретический анализ был подкреплен детальными лабораторными экспериментами и обоснован специальными натурными измерениями.

За последние два десятилетия произошел поразительный рост в речной гидравлике и увеличился спрос на экспертные знания по гидравлике для их приложения в области охраны природы и регулирования рек (см., н-р, Nepf, 2012). Кроме того, ускоренное развитие цифровых технологий, методов дистанционного зондирования и геодезической аппаратуры произвело переворот в натурных исследованиях, усилив их роль в фундаментальных и прикладных гидравлических исследованиях. В результате этих нововведений, а также в ответ на них, натурные исследования постепенно перешли от специализированных к системным, где акцент делается на взаимодействии множества процессов на разных уровнях, а не на отдельных (конкретных) процессах, рассматриваемых изолированно. Поэтому главная цель этой статьи заключается в представлении этого нового подхода в историческом контексте и демонстрации его перспективности и важности для будущих изменений в современной речной гидравлике.

Следующая задача – пропагандировать более широкое использование натуральных данных в гидравлических исследованиях. Начало нового тысячелетия было ознаменовано появлением международных конференций по стоку рек в виде глобального форума для обмена знаниями о речных системах. Хотя большинство тем этих конференций подчеркивают важность понимания реальных процессов в реках, количество полевых исследований, представленных в материалах конференций, едва превышает 10%. Более того, немногие доклады, представленные на конференциях, использовали результаты полевых исследований для подтверждения достоверности и распространения на более высокий уровень результатов теоретических, лабораторных и численных исследований. Таким образом, эта статистика указывает на то, что: 1) полевые работы, дающие почву для размышлений, – большая редкость; 2) наборы качественных натуральных данных, которые можно использовать для обоснования численных и концептуальных моделей, как правило, отсутствуют; 3) распространение результатов полевых исследований на данный момент недостаточно. В статье рассматриваются пути решения этих проблем.

Обычно в современных статьях обобщаются исследования и результаты. Однако редко можно встретить статью, в которой изучаются полевые исследования в области речной гидравлики. Поэтому третья задача состоит в обсуждении полевых исследований в историческом контексте, включая те работы и достижения, которые в большей степени неизвестны широкому научному сообществу.

## **2. Цели и терминология полевых исследований**

Полевые исследования в области речной гидравлики выполняют функции изыскательские, обоснования и синтеза, и эти функции должны выполняться наиболее эффективным путем.

*Изыскание* в речной гидравлике не означает буквально обследование речных систем в общем географическом смысле, а скорее понимается как выявление гидравлических явлений и наблюдение за ними. В качестве последних примеров можно привести обследование высокоскоростных потоков в реках, чьи русла сложены коренными породами, а также инверсии скоростей в системах плёс-перекат. Изыскательские работы дают необходимую новую информацию, побуждающую к проведению дальнейших гидравлических исследований в лабораториях или с использованием численных методов. В частности, в речной гидравлике границы изысканий продвигаются буквально вверх по течению, т.е. с низовьев в направлении высокоградиентных участков рек, находящихся под воздействием коренных пород, с выходом грубых аллювиальных и скалистых пород (Jarrett, 1990; MacVicar&Roy, 2007; Magirl, Gartner, Smart&Webb, 2009).

*Валидация* – это процесс, определяющий степень, в которой результаты гидравлического анализа и моделирования воспроизводят реальные явления. Он включает тщательное сопоставление расчетных и наблюдаемых режимов с корректировкой данных по масштабным переменным, которые выбираются с помощью известной информации о типе рассматриваемого потока. Стандартным примером подобного процесса является интерпретация измерений вертикального профиля средних скоростей, направленных по течению, с помощью «закона стенки». Здесь производится масштабирование замеренных скоростей по скорости поперечной волны, подгонка безразмерного профиля по логарифмическому закону и расчет параметра фон Кармана и высоты шероховатости (Nezy&Nakagawa, 1993; Nikora, Rowinski, Sukhodolov&Krasuski, 1994; Sukhodolov, 2014). Этот основанный на теории и по сути количественный процесс валидации является особенностью гидравлического подхода, отличающей его от методов физической географии или геоморфологии, которые зачастую предусматривают качественное сравнение режимов и их обобщение с помощью классификации режимов на основе эмпирических моделей.

*Синтез* в речной гидравлике – это генерирующий знания процесс, который ведет к пониманию того, как различные режимы потока взаимодействуют в реальных условиях в большом масштабе. Здесь также ведется поиск зависимостей между основными переменными и параметрами, которые определяют динамику потока в реках. В качестве примера может быть приведено взаимодействие когерентных структур, сгенерированных боковыми градиентами скорости, и трехмерных структур, созданных в результате взаимодействия потока с руслом реки (Sukhodolov, Schnauder&Uijttewaal, 2010; Uijttewaal, 2014).

Термин *полевые исследования* в приложении к гидравлике в целом означает множество исследовательских работ, проводимых на самих реках. Это широкий термин, охватывающий исследования, проводимые вне помещения, начиная от простых полевых поездок для проведения наблюдений до сложных экспериментов. Чтобы различать эти работы, их методику и технику, необходима некоторая классификация. Здесь и далее полевые исследования

будут означать одно из следующего: *разведочные полевые измерения, полевые обследования и полевые эксперименты.*

*Разведочные полевые измерения* – это краткосрочные, инструментальные наблюдения, дающие краткую характеристику гидравлических процессов в определенном территориальном и временном масштабе. При этом используются методики и техники, зависящие от каждого конкретного случая. Данные исследования часто выполняют изыскательские функции и применяются для настройки и калибровки физических и математических моделей, либо в качестве поддержки экологических программ отбора проб.

*Полевые обследования* представляют собой систематические исследования, проводимые средствами измерений с использованием согласованной методики и техники на определенном участке реки или на разных и соизмеримых участках нескольких рек. При полевых обследованиях гидравлические процессы можно изучать в более широком параметрическом пространстве, что дает данные, которые эмпирически увязывают интересующие величины с принципиальными гидравлическими переменными, такими как скорость потока, глубина, коэффициент трения и размер руслового материала. Результаты полевых обследований дают материал для проверки достоверности теорий и моделей.

*Полевые эксперименты* – это полевые исследовательские работы, которые включают экспериментальный контроль и операции с переменными при систематическом изучении последовательностей типа воздействие-реакция. Таким образом, полевые эксперименты могут дать общие результаты, которые в отличие от лабораторных данных не требуют обобщения и содержат информацию о взаимодействии процессов, требуемую для теоретического или концептуального синтеза. Кроме того, экспериментальные исследования также позволяют изучить динамику гидравлических процессов и поэтому могут непосредственно способствовать развитию современных концепций в речной гидравлике.

### **3. Полевые исследования: с самого начала**

Речная гидравлика – это прочно установившаяся научно-исследовательская область с надежной теоретической базой и определенной исследовательской методологией, которая была наработана на протяжении более чем ста лет (Rouse&Ince, 1957, Garde, 1995; Hager, 2009). Полевые исследования сыграли важную роль в этом развитии, и в этой главе приведены некоторые основные этапы, подкрепленные примерами.

Измерения суммарной скорости потока в реках с помощью поплавков и принцип непрерывности впервые были кратко сформулированы в трактате Бенедетта Кастелли «Della Misura Delle Acque Correnti» (1577-1644). За измерениями последовали полевые обследования Доминико Гуглиэлмини (1655-1710), который обнаружил, что скорость потока уменьшается по мере

приближения к дну реки и увеличивается на поверхности воды, и определил роль уклона русла для суммарной скорости потока (Di Fidio&Gandolfi, 2011; Garde, 1995).

Во второй половине 19-го века ученые признали, что скорость в определенной точке колеблется во времени, и поэтому необходимы продолжительные измерения, чтобы сгладить влияние этих колебаний путем осреднения, тем самым была порождена теория турбулентности (Reynolds, 1894). Первые полевые замеры, в ходе которых были изучены колебания скорости из-за турбулентности, были проведены с помощью гидрометрической вертушки Гарлахером на реке Эльба в 1854 году, Лаудом на реке Дунай в 1897 году и Шафаловичем на реке Зея в 1907 году (Гринвальд, 1974). Роль турбулентности в процессах транспорта наносов была впервые отмечена измерениями Пэтриота на реке Луара (Patriot, 1871). Эти полевые измерения дали начальные эмпирические знания о турбулентных колебаниях в реках и обнаружили, что эти колебания выше ближе ко дну реки, чем у водной поверхности. Данные наблюдения также показали, что зависимость между турбулентными колебаниями и средними скоростями не является универсальной. В своем фундаментальном исследовании Рюмелин (Rumelin, 1913), который впервые изучил турбулентность открытых потоков, проведя ряд замеров с трубкой Пито на канале, предложил первую теорию, которая явно увязывала локальные колебания скорости с когерентными структурами потока.

В конце 19-го века на многих реках по всему миру стали проводить регулярные измерения речного стока. Производство гидрометрических вертушек, таких как ОТТ Местехник в Германии и вертушек Прайса в США позволило построить сеть гидропостов со стандартизированными инструментами. Этот период также характеризовался интенсивным строительством ГЭС по всему миру, что требовало обширного набора гидрологических данных на отдельных участках. К 1920 году 40% энергии США вырабатывалось ГЭС и крупные гидроэнергетические проекты были осуществлены в Европе и особенно в бывшем Советском Союзе. Необходимость более точного управления водными ресурсами в промышленных странах способствовала дальнейшему развитию гидрометрических измерений и требовала, помимо стандартизированных инструментов, разработки стандартных протоколов замеров. Однако основная проблема заключалась в оптимизации измерений скорости потока с учетом колебаний турбулентности. Минский (1936) отмечал влияние вторичных течений на турбулентность потока на основе анализа замеров скорости, проведенных на гидропосту на реке Кама. Калинин (Kalinske, 1943) провел серию детальных измерений на реке Миссисипи с набором из трех синхронизированных вертушек Прайса. Эти полевые измерения дали вертикальные профили интенсивности турбулентности и корреляции скоростей. Вероятно, наиболее полное полевое исследование по вопросу влияния турбулентности на измерения средних скоростей было выполнено в 1959-1961 гг. Государственным Гидрологическим Институтом (ГГИ) бывшего Советского Союза (Дементьев, 1962). В этой работе для измерений на 32 реках применялись одна и та же методология и техника. В ходе исследования были обнаружены продолжительные колебания скорости потока,

уровня воды и расхода с периодом от 40 до 50 секунд, а также высокая корреляция между колеблющимися скоростями на разных участках реки. Более того исследование показало, что величина колебаний скорости увеличивается с повышением шероховатости дна. Это заключение позже было изучено теоретически Гришанином (Гришанин, 1979; Sukhodolov, Nikora, Katolikov, 2011) и экспериментально в открытых потоках Клавенем и Копалиани (1973), Незу и Накагавой (1993) и другими авторами. Широкое параметрическое пространство, достигнутое в исследовании Дементьева (1962) путем подбора участков рек с разными характеристиками шероховатости является хорошей иллюстрацией гидравлического полевого обследования.

Третья четверть прошлого века отмечена повышением внимания в речной гидродинамике к турбулентности как к ключевому фактору в процессах транспорта и морфодинамики. Это объясняется необходимостью оценки и прогнозирования заиления водохранилищ, которое стало следствием предыдущего интенсивного строительства ГЭС. В 60-е годы Геологической службой США на реках Колумбия, Миссури и Миссисипи были проведены обширные полевые исследования турбулентности рек (McQuivey, 1973b). В этих исследованиях использовалась гибридная система из стандартной вертушки Прайса в сочетании с пленочным термоанемометром (McQuivey, 1973a). В Японии С.Йокоси (Yokosi, 1967) проводил замеры турбулентности с гидрометрической вертушкой на реке Уий и приводил спектры энергии турбулентности с двумя инерционными подинтервалами («-5/3»). Эти натурные данные позволили ему (Yokosi, 1967) выдвинуть концепцию вертикальной и горизонтальной турбулентности, что демонстрирует силу полевых исследований.

В бывшем Советском Союзе продолжительные систематические полевые исследования турбулентности в реках были начаты в конце 50-х Д.И.Гринвальдом, профессором гидромеханики из Одесского гидрометеорологического института (Гринвальд, 1974). Это исследование, которое затянулось на 30 лет, включало ежегодные летние контрольно-измерительные мероприятия на нескольких участках рек Днестр и Турунчук (Украина). Измерения проводились набором низкоинерционных микропропеллерных расходомеров, которые фиксировали мгновенные скорости на фотоленте осциллографа. Основные результаты исследований были обобщены в работе Гринвальда в 1974 году. С 80-х годов эти полевые исследования были продолжены В.Никорой с усовершенствованными приборами и более современной электроникой и регистраторами данных (н-р, Никора и соавторы, 1994). Группа Никоры также увеличила число полевых участков и проводила систематические исследования на малых реках Молдовы, Польши, Румынии в сотрудничестве с коллегами из этих стран (н-р, Никора, Суходолов и Ровински, 1997). В ходе полевых исследований Гринвальда и Никоры была изучена вертикальная структура турбулентных потоков на относительно прямолинейных участках рек с песчаным и гравийным дном, с особым акцентом на влиянии формы рельефа русла на структуру турбулентности. Полученные за этот период результаты, включая обобщенную

модель спектра турбулентности, кратко сформулированы в работе Гривальда и Никоры (1988).

Полевые эксперименты, исходя из определения предыдущей главы, редко сравниваются полевыми обследованиями, в которых не проводятся различные операции с потоком. В числе первых в 1959-1960 гг. были проведены уникальные полевые эксперименты на реках Тверца, Оредеж и Свирь (Кондратьев и Уруваев, 1961). Целью этих полевых экспериментов было изучение особенностей распространения паводковых волн, спущенных с ГЭС. Попуски воды имитировали режим весеннего половодья с постепенным увеличением расхода от 10 до 90 м<sup>3</sup>/сек на протяжении одной недели. Детальные измерения скорости потока проводились непрерывно и одновременно в 4-6 створах экспериментальных участков (режим распределения скоростей в живом сечении замерялся каждые 2 часа, 12 замеров в день на протяжении 2 недель). Около ГЭС 34 гидрометрические вертушки распределялись равномерно в створе, которые крепились к гидрометрическому мостику. Уровни водной поверхности снимались в нескольких местах между створами. Эксперименты дополнялись детальными батиметрическими и топографическими съемками, взятием проб материала русла и наблюдениями за подземными водами. Результаты представлялись в табличной и графической форме с детальным описанием (Кондратьев и Уруваев, 1961). Данные этих уникальных полевых экспериментов служили в бывшем Советском Союзе стандартным набором для тестирования аналитических подходов и уточнения численных программ.

Во второй половине прошлого века также интенсивно изучались разномасштабные воздействия морфологии русла на структуру потока. Макроразмерные морфологические структуры в речных излучинах и меандрах привлекали внимание исследователей с начала прошлого века. В начале 50-х годов Розовский (1957) выдвинул теорию открытого потока в излучине реки и провел дополнительное полевое исследование на реках Десна и Снов. В этом исследовании гидрометрические вертушки, которые также измеряли направленность зондирования, использовались для получения тангенциальной и нормальной составляющей вектора скорости. Эта работа стала первым полевым исследованием, которое дало достоверные данные о циркуляции второго порядка в меандрах рек и показало хорошую сходимость теоретических результатов с данными измерений. Позже измерения Батурста, Торна и Хейя (Bathurst, Thorne and Hey, 1977) с помощью электромагнитного измерителя скорости течения в меандрах реки Северн подтвердили существование большой циркуляции первого порядка и меньшей циркуляции в противоположном направлении около внешних берегов излучин. Уайтинг и Дитрих (Whiting and Dietrich, 1993) привели полевые измерения турбулентного потока на изгибах реки, выполненные с помощью набора расходомеров, которые были спроектированы для определения направления вектора скорости, аналогично триплет-расходомерам, использованным Никорой. В ходе этих полевых измерений изучалось влияние управляющей силы топографии в потоке.

В значительной мере в полевых исследованиях преобладали разведочные полевые измерения, поскольку они требовали меньше усилий для планирования,



выполнения и обработки результатов. Полевые обследования были менее распространены, так как требовали продолжительных периодов полевых работ, специально обученный персонал и значительное финансирование. Полевые эксперименты проводились редко вследствие заметно повышенной стоимости, сложности и потребности в значительной поддержке со стороны государственных программ для выполнения этой работы.

Примеры приведенных полевых работ указывают на преобладающие тенденции во второй половине прошлого века. С усовершенствованием измерительной аппаратуры точечные измерения стали более детальными и сконцентрировались на более сложных турбулентных потоках. Наиболее значительное изменение в полевых технологиях пришлось на конец 20-го века в связи с повсеместным распространением доступных портативных компьютеров. Цифровые технологии произвели переворот в технике полевых работ и привели к развитию современной речной гидравлики, которая обсуждается в следующей главе.

#### **4. Полевые исследования: текущее состояние**

Оценка текущей ситуации с полевыми исследованиями в области речной гидравлики позволяет определить следующие тенденции: 1) усиление разведочных полевых измерений за счет развития современных технологий измерения (н-р, одно- и многолучевые эхозонды в сочетании с Глобальной системой позиционирования (GPS), акустические доплеровские расходомеры и профилометры, аэросъемки и наземные сканирующие устройства); 2) расширение использования экспериментальных полевых исследований за счет их высокого потенциала для получения глубокого понимания гидродинамических процессов; 3) появление междисциплинарных полевых работ, в которых затрагивается несколько дисциплин, в ответ на растущее сближение соседних отраслей науки (н-р, эко-гидравлика, гидравлика безопасности, рекреационная гидравлика). Эти тенденции показаны далее на примерах последних полевых работ, на выбор которых неизбежно повлияли личные научные интересы автора, и поэтому они, главным образом, относятся к гидродинамике потока.

##### *4.1. Разведочные полевые измерения*

Цель любого разведочного полевого исследования заключается в получении информации об объектах или явлениях, которые мало изучены или едва известны. Разведочные полевые исследования характеризуются удаленностью, большими масштабами, сложными условиями для измерений и величиной утилитарности, которая обычно не представляет интерес для более широких исследовательских работ. Хотя разведочные полевые измерения сильно преуспели в отношении некоторых систем, таких, как крупные реки (Kostaschuk

& Villard, 1996; Best, Ashworth, Bristow&Roden, 2003; Dinehart&Burau, 2005; Parsons et al., 2005; Lane et al., 2008; Czuba, Best, Oberg, Parson&Jackson, 2011; Wright&Kaplinski, 2011), другие речные системы или части этих систем оказались слишком сложными для прямых измерений. Тогда как некоторые исследования способствовали развитию гидравлики неглубоких горных речек (Jarret, 1990; Wohl&Thompson, 2000; Valle&Pasternack, 2006; Wilcox&Wohl, 2007; Wilcox, Wohl, Comiti&Mao, 2011), гидравлических данных по непереходимым вброд рекам с большим значением числа Фруда мало.

Ярким примером современных разведочных полевых измерений являются исследования по гидродинамике речных порогов – участков рек в пределах стеснения русла или резких перепадов со сложной структурой потока, включающей ускоряющийся (с сильной струей) поток, ограниченный обрушающимися ударными волнами, распространяющимися по всей ширине реки. Пороги распространены на высокоградиентных участках рек с грубым аллювием (Magirl et al., 2009). До недавнего времени пороги считались главным препятствием для навигации, и из-за рисков, связанных с проведением прямых полевых измерений, они представляли пробел в общих гидравлических знаниях. Из-за недостатка количественных данных даже по топографии речных русел и водной поверхности, характер потока в быстринах был окружен противоречивыми мнениями. Некоторые исследователи сообщали или постулировали критическое состояние потока (Kiefer, 1985), в то время как другие утверждали, что линии течения, близкого к критическому в самых быстрых зонах, могут сосуществовать с ламинарным течением (Tinkler, 1997) и, что практически все условия течения в аллювиальных реках, даже с порогами, являются по своей природе ламинарными (Jarret, 1984; Grant, 1997; Magirl et al., 2009).

Растущий интерес к речным порогам, как к важному рекреационному ресурсу (Loomis, Douglas & Harpman, 2005) и неотъемлемому элементу разнообразных экосистем (Hall, Kennedy & Rosi-Marshall, 2012), послужил мотивом для проведения полевых исследований на реке Колорадо Мэгилом и др. (Magirl et al., 2009). Измерения проводились на надувном моторном средстве для передвижения в быстрине. Расходомеры размещались на опорной балке с 360-градусной отражательной призмой для фиксации положений с тахеометром. Замеренные векторы скорости наносились на спутниковые снимки для непосредственной оценки локализации волн и характера скорости потока. Результаты показали, что обрушающиеся ударные волны наблюдались, даже если условия объемного потока оставались докритическими, и что профили скоростей в сердце порога могут сильно отличаться от традиционных профилей, основанных на законе стенки.

#### *4.2. Полевые обследования*

Интенсивные технические разработки и последующее промышленное производство электромагнитных измерителей скорости течения (ЭМИТ) и

акустических доплеровских расходомеров (АДР) в начале 1990-х сильно активизировали регулярные полевые исследования. В отличие от прежних исследований, которые изучали относительно простые течения в прямолинейных руслах, современные полевые исследования сосредоточены на сложных течениях в узлах слияния рек, в системе плёс-перекат и на изгибах, рециркуляции в излучинах и полузапрудках, влиянии шероховатости русла и водной и береговой растительности на структуру потока, гидравлическое сопротивление и процессы переноса.

### *Гидродинамика и процессы переноса в узлах слияния рек*

За последние двадцать лет детальными полевыми исследованиями были изучены течения в узлах слияния рек и обеспечена фактологическая основа для дальнейших концептуальных и теоретических проработок (Best, 1988; Roy&Bergeron, 1990; Ashmore, Ferguson, Prestegaard, Ashworth&Paola, 1992; Biron, De Serres, Roy & Best, 1993; Gaudet&Roy, 1995; Rhoads&Kenworthy, 1995; De Serres, Roy, Biron & Best, 1999; Rhoads&Sukhodolov, 2001, 2008; Szupiany et al. 2009). Эти исследования проводились на естественных реках в широком диапазоне размеров (от 5 до примерно 1000 метров в ширину) с разной планарной и русловой геометрией. Главный интерес представляли воздействие угла сочленения в узле слияния на структуру средних и турбулентных потоков. В частности, было показано, что взаимодействие набегающих потоков приводит к развитию вращающихся в противоположном направлении и ориентированных по течению вихревых ячеек, которые значительно усиливают размыв русла и поперечную дисперсию взвешенных наносов. Остаются противоречия в отношении влияния масштаба, поскольку в более крупных реках вихревых ячеек не обнаружено. Хотя начальные полевые обследования гидродинамики слияния дали информацию о территориальном характере характеристик потока, включая касательные напряжения жидкости и дна, исследования и анализы носили, главным образом, качественный характер, и их результатом явились концептуальные модели (н-р, концептуальная модель для сходящихся и разветвляющихся русел Best&Roy, 1991; Paola, 1997). В качестве следующего шага в направлении гидравлического синтеза и параметризованных решений и тем самым в направлении развития более строгого гидравлического подхода Роадс и Суходолов (Rhoads&Sukhodolov, 2008) рекомендовали адаптацию моделей неглубокого слоя перемешивания и турбулентного следа, которые количественно объясняют воздействие отношения количества движения на структуру турбулентности на границе перемешивания в узле слияния.

### *Гидравлика системы плёс-перекат*

Перекаты и плёсы – это общие геоморфологические особенности аллювиальных рек, которые можно наблюдать на прямых участках рек с

чередующимися барами и в меандрирующих реках. Структура течения в системе плёс-перекат вызывала повышенный интерес и была предметом нескольких полевых исследований за последние двадцать лет (Carling, 1991; Clifford, 1993; Robert, 1997; Thompson, Whohl, Jarrett, 1999; Wade et al., 2002; MacVicar & Roy, 2007; Sawyer, Pasternack, Moir, Fulton, 2010; Caamano, Goodwin, Buffington, 2012). Сложная батиметрия системы плёс-перекат состоит из приподнятых и относительно широких и неглубоких участков перекатов и более глубоких и узких участков плёсов. Планарная изменчивость приводит к боковым отклонениям векторов скорости на перекатах и их сходимости в плёсах. Боковые сужения барами и отрыв потока создают крупные зоны рециркуляции и пограничные слои. Более того, сложные пространственные структуры показывают неоднозначную динамику во время таких гидрологических явлений, как наводнения. После наблюдений Седдона на реке Миссисипи в 1900 году была выдвинута гипотеза о возможной инверсии гидравлических условий в системе плёс-перекат, а именно скорость потока максимальная на перекатах и минимальная в плёсах в период меженного стока, тогда как в период паводкового стока ситуация может быть обратной (Keller, 1971). Несмотря на активный интерес к этой теме в научном сообществе, понимание структуры потока в системе плёс-перекат и его сложной динамики все еще находится, главным образом, на концептуальном уровне, и мало исследований было проведено с использованием комплексного гидравлического подхода (н-р, Caamano, Goodwin, Buffington & Liou, 2009). Эта ситуация, очевидно, объясняется явным недостатком детальных полевых обследований, когда большинство исследований сосредоточено на лабораторных и численных методах (н-р, MacWilliams, Wheaton, Pasternack, Street & Kitanidis, 2006).

### *Гидродинамика в изгибах меандр*

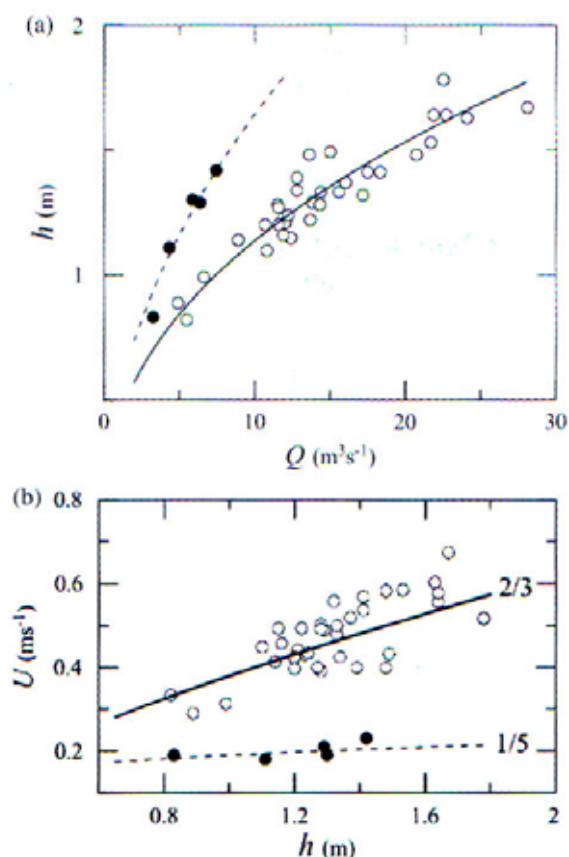
К вопросу гидравлики плёсов-перекатов частично относятся полевые исследования потока в изгибах меандр (Frothingham & Rhoads, 2003; Babeyan-Koopaei, Ervine, Pender, 2003; Nanson, 2010; Engel & Rhoads, 2012; Sukhodolov, 2012; Schnauder & Sukhodolov, 2012; Rhoads & Massey, 2012). За последние десятилетия значимость этих исследований повысилась за счет многочисленных требований к восстановлению природного состояния деградированных рек. Особенным новшеством большинства этих исследований является определяемый теоретическими положениями подход к планированию полевых измерений и применение теоретического анализа на основе подхода Розовского (1957) или схожих подходов. Результатами таких исследований являются наблюдения, количественная оценка и анализ нелинейных вертикальных профилей турбулентного напряжения в изгибах (Babeyan-Koopaei et al., 2003; Sukhodolov, 2012). Хотя в анализе Суходолова (2012) показаны факторы, участвующие в создании нелинейности и их воздействие на характер касательного напряжения дна в изгибах меандр, проблема все еще далека от решения и дальнейшие полевые исследования могут помочь улучшить понимание этой уже классической задачи речной гидравлики.

### *Динамика рециркуляционных потоков*

Динамика процессов течения, транспорта, перемешивания на участках рек, регулируемых бунами, также стала предметом активных полевых исследований в последнее десятилетие (Sukhodolov, Uijttewaal, Engelhardt, 2002; Sukhodolov, Engelhardt, Kruger, Bungartz, 2004; Engelhardt, Kruger, Sukhodolov, Nicklisch, 2004; Muto, 2006; Abad, Rhodes, Guneralp, Garcia, 2008; Jamieson, Rennie, Jacobson, Townsend, 2001; Sukhodolov, 2014). В отличие от ранних исследований, которые затрагивали проблемы структурной стабильности бунов, последние исследования нацелены на развивающиеся области, связанные с защитой от наводнений и воздействиями повышения устойчивости бунов, гидродинамикой и процессами перемешивания, экологией пресных вод. В этих исследованиях напрямую было уточнено геометрическое отношение протяженности буна к расстоянию между бунами как критерия развития одного или множества типов циркуляции и продемонстрирована его ограниченная применимость к погруженным бунам. Этот критерий также оказался верным для зон боковой рециркуляции в нижних бьефах быстрин (Wright & Kaplinski, 2011).

### *Течение в заросших растительностью водотоках*

В последние два десятилетия экологические темы привлекли повышенное внимание со стороны гидравлики. В настоящее время наиболее активной областью полевых исследований являются измерения течения в заросших растительностью водотоках (н-р, Watson, 1987; Bakry, Gates, Khattab, 1992; Fisher, 1992; Sand-Jensen, Pedersen, 1999; Nepf, 1999; Champion&Tanner, 2000; Green, 2005, 2006; Nikora et al., 2008; De Doncker et al., 2009; Sukhodolov & Sukhodolova, 2010; Cameron et al., 2013). Акцент в этих исследованиях ставится на изменении структуры потока, взаимодействии в системе поток-растительность на разных уровнях, а также на реконфигурации водной и прибрежной растительности и ее последствиях для гидравлического сопротивления и процессов транспорта. На основе подхода Кувена и Унни (Kouwen & Unny, 1973) несколькими полевыми исследованиями была изучена зависимость между коэффициентом Маннинга и характеристиками биомассы и другими показателями находящейся в воде растительности (Green, 2005, 2006; De Doncker et al., 2009). Этот **подход подходит** для применения на практике с использованием коммерческих численных моделей, в которых в качестве основной характеристики шероховатости используется коэффициент Маннинга. Однако как показывают полевые данные Суходолова и Суходоловой (2010), подобный подход может быть неуместным в отношении равнинных рек с небольшими уклонами водной поверхности из-за подпора воды, вызываемого растительным затором, и снижения пропускной способности русла реки. В результате отношение между суммарной скоростью потока и глубиной может отличаться от показателя степени  $2/3$ , принятого в уравнении Маннинга (рис. 1).



**Рис. 1. Влияние растительности на объемные характеристики потока**

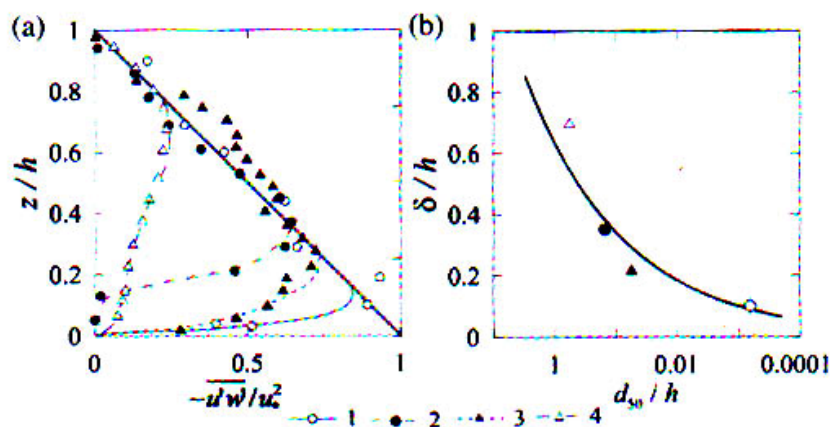
а) увеличение глубины воды  $h$ , б) уменьшение средней скорости  $U$ .

Река Спри около Берлина (прозрачные кружки указывают на замеренные значения в русле, свободном от растительности, а зачерненные кружки связаны со значениями в заросшем растительностью русле.  $Q$  – расход воды)

### *Турбулентные потоки в шероховатом русле*

Вероятно, наиболее комплексное, определяемое теорией полевое исследование было посвящено одной из фундаментальных проблем гидравлики – воздействию дна русла на структуру турбулентных потоков. В последние годы было проведено несколько полевых обследований на реках, дно которых сложено материалом от мелкозернистого песка до гравия (Nikora & Smart, 1997; Sukhodolov, Thiele&Bungartz, 1998; Nikora&Goring, 2000; Roy, Buffin-Belanger, Lamarre, Kirkbride, 2004; Parsons et al., 2005; Stone, Hotchkiss, 2007; Strom, Papanicolaou, 2007; Franca, Ferreira, Lemmin, 2008; Franca & Lemmin, 2009; Sukhodolov, Uijtewaal 2010). Среди них в работе Franca et al. (2008) и Franca & Lemmin (2009) применялся современный акустический профилометр Дюплера

(АПДТ), позволяющий собирать высокоразрешающие полевые данные, сопоставимые по качеству с лабораторными данными. Эта технология позволила авторам усовершенствовать знания о турбулентности потока и применить методику двойного осреднения (МДО, Никора и соавторы, 2007). Прежде, применение МДО к полевым данным исключалось из-за недостаточного разрешения при использовании одноточечного измерителя скорости течения. На рис. 2 показаны некоторые результаты другого полевого обследования воздействия шероховатости дна на форму вертикальных профилей турбулентного напряжения на четырех участках рек с разной относительной шероховатостью (Суходолов и Никора, 2012). Он показывает зависимость между относительной шероховатостью и безразмерной мощностью слоя шероховатости. Верхняя граница слоя шероховатости расположена на высоте, где профиль турбулентного напряжения начинает отклоняться от ожидаемого линейного распределения однородного потока над элементами шероховатости (рис. 2а). Сниженные значения турбулентного напряжения компенсируются ненулевыми значениями касательного напряжения, вызванного формой, который возникает при сохранении импульса в слое шероховатости (Никора и соавторы, 2007; Franca et al., 2008). Полевые данные показывают, что мощность слоя шероховатости, по-видимому, напрямую связана с размером материала, из которого сложено дно, и его формой (рис. 2б). Недавно в Австралии группой Х. Ченсона были выполнены обширные полевые обследования турбулентности в устьях при разных природных условиях (Chanson, Brown, Trevethan, 2012).



**Рис. 2. а) Вертикальное распределение нормализованного касательного напряжения  $-\overline{u'w'}/u_*^2$ , б) зависимость между относительной шероховатостью  $d_{50}/h$  и нормализованной мощностью  $\delta/h$  слоя шероховатости (1 – Спри, 2 – Арзино (плёс), 3 – Везениц, 4 – Арзино (перекат).  
Источник: Суходолов, Никора, 2012.**

### 4.3. Полевые эксперименты

#### *Средства проведения экспериментов на уровне поля*

Гидравлические эксперименты включают высокоразрешающие измерения в контролируемых условиях, которые традиционно достигаются в уменьшенном масштабе в лабораторных условиях. В последнее время, во избежание возможных проблем с масштабированием, эксперименты проводятся в полномасштабных условиях, при этом сохраняя экспериментальный контроль и используя приборы, которые могут работать как с локальными, так и полномасштабными процессами. Использование крупных установок на открытом воздухе и полурегулируемых площадок в естественных реках сильно увеличилось в последнее десятилетие.

В качестве хорошего примера установок на открытом воздухе можно привести крупную экспериментальную лабораторию Аутдор СтримЛаб (ОСЛ), которая была построена на выведенном из эксплуатации водосливе рядом с Лабораторией Св.Антония при Университете Миннесоты в Миннеаполисе (н-р, Rominger, Lightbody & Nepf, 2010). В 2008 году был построен водоток с песчаным руслом ( $d_{50} = 0,7$  мм) на территории прибрежной зоны 40 x 20 м. Водоток включает три изгиба меандра со средней длиной волны 25 м и извилистостью 1,3. На прямых участках между меандрами были построены перекаты с крупнозернистыми наносами и крупной галькой для отражения геометрии системы плёс-перекат. В бетонный напорный ящик в устье водотока подается вода из реки Миссисипи. Базовый расход в водотоке составляет  $0,04$  м<sup>3</sup>/с, а при полном заполнении русла  $0,21$  м<sup>3</sup>/с. Берега русла укреплены матами из кокосового волокна, а дно русла мобильное.

Другой недавно построенный крупный экспериментальный полигон – Речной экспериментальный центр (РЭЦ) при Корейском институте строительных технологий. РЭЦ включает три опытных канала (протяженностью 560-680 м, шириной 11 м), циркуляционный канал со стеклянными стенками (протяженностью 50 м, шириной 2 м, высотой 1,4 м) и два успокоительных водоема. Мощные насосы могут генерировать максимальный расход выше  $10$  м<sup>3</sup>/с.

В Европе в 2010 году при Лейбницком институте пресноводной экологии и рыболовства во внутренних водоемах (ИГБ, Берлин) была построена Гидроэкологическая полевая экспериментальная база (ГЭПЭ) на реке Спри около деревни Гартмансдорф, в 15 км к востоку от Берлина. Русло реки на этом участке прямое с трапециевидальным поперечным сечением, берегами, укрепленными каменной наброской, и песчаным дном ( $d_{50} = 0,5$  мм). Ширина русла составляет около 25 м. База состоит из разделительной стенки длиной 350 м, построенной в центральной части реки и спицевой плотины в верхней части. Плотина регулирует расход в тестовом русле вдоль левого берега. Расход меняется от  $3,5$  до  $30$  м<sup>3</sup>/с соответственно летом и зимой.



С 2008 года ИГБ также проводит полевую экспериментальную программу по экогидравлике на Полевой научно-исследовательской станции Таглиамента (ФиРСТ) на реке Таглиаменто в Италии (Tockner et al., 2003). Речная система Таглиаменто считается последней морфологически нетронутой рекой в Альпах с огромной гравийной поймой, поддерживающей разветвленную морфологию ниже города Жемона. Экспериментальный речной участок ФиРСТ расположен в центре пойменного участка около деревни Форжариа. Эксперименты проводятся в боковом ответвлении реки, которая во время меженного стока в основном питается из подземных вод. Эта станция обеспечивает стабильный гидрологический режим, который необходим для поддержания постоянства экспериментальных условий между экспериментами. Экспериментальное русло прямое, шириной 25 м и глубиной 0,3 м с расходом 2 м<sup>3</sup>/с. Оно обеспечивает конфигурацию неглубокого потока, подходящего для серии экспериментов (Суходолов и Суходолова, 2014).

Другая важная тенденция в исследованиях относится к применению лотков на местах для изучения эрозии отложений и взбучивания (Aberle et al., 2003; Debnath, Nikora, Aberle, Westrich, Muste, 2007; Kleeberg, Kohler, Sukhodolova, Sukhodolov, 2010). Эти лотки вмещают механические средства и аппаратуру, которые обеспечивают желаемые условия течения у дна русла и позволяют вести мониторинг за полем скоростей, содержанием наносов и русловой эрозией.

#### *Проведение экспериментов в полевых условиях*

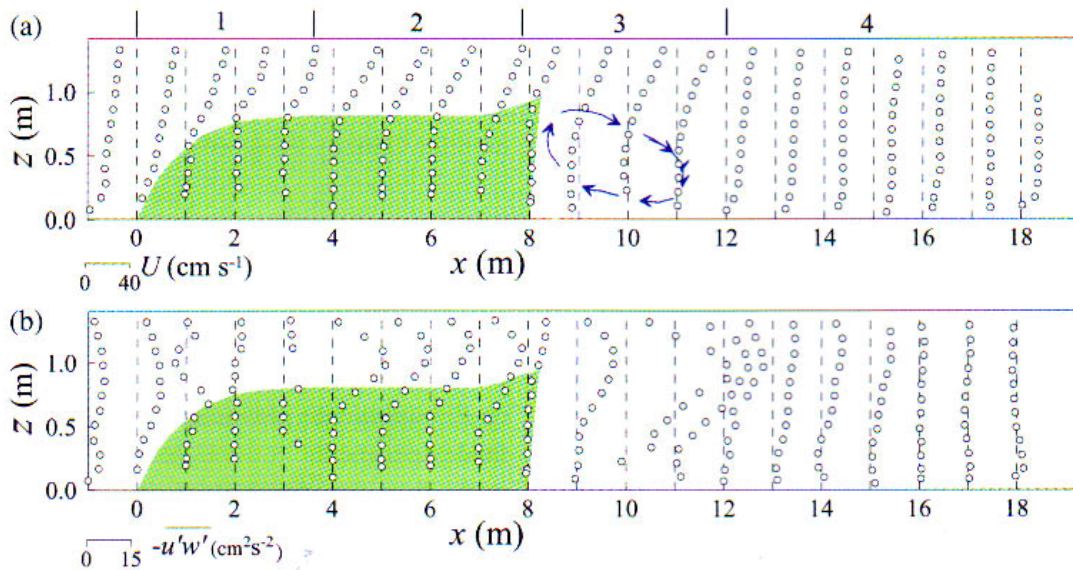
За последнее десятилетие резко возросло число проведенных полевых экспериментов, как было упомянуто в разделе 2. В частности, Ровинский и Чернушенко (1998) изучали влияние неустойчивости потока на характеристики турбулентности в малых равнинных реках. Полевые эксперименты на реке Колорадо были сосредоточены не только на стоке и транспорте взвешенных наносов (Smith, 1999), но и на динамике сред обитания рыб (Schmidt et al., 2001). Аналогично экспериментам Кондратьева и Уруваева (1961), эксперименты на Колорадо явились примером согласованных усилий ученых, инженеров и государственных органов.

В последнее десятилетие под руководством автора при ИГБ был разработан новый подход к проведению полевых экспериментов. Данный подход включает контроль/операции с переменными потока в естественных реках в сочетании с эффективным использованием портативного полевого оборудования специально обученным персоналом. Методика этого подхода была протестирована на ряде пилотных проектов на реке Спри (Sukhodolov, Uijttewaal 2010; Uijttewaal, 2014), в которых изучалась динамика боковых пограничных слоев (Суходолов и соавторы, 2010), рециркулирующие потоки в полях запруд (Суходолов, 2014) и потоки в руслах с водной растительностью (Суходолов, Суходолова, 2010, 2012; Суходолова и Суходолов, 2012).

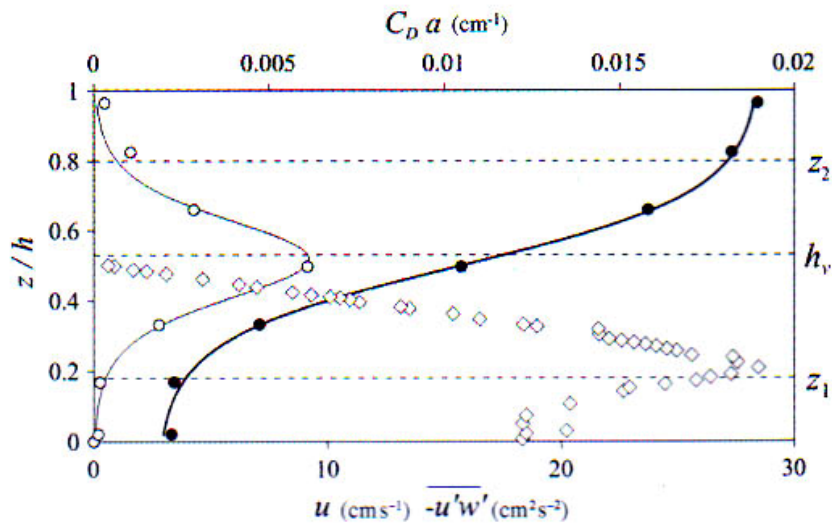
Подробное описание методики проведения полевых экспериментов можно найти в упомянутых статьях. Далее дается краткое описание полученного опыта.

Основная начальная стадия полевого эксперимента включает правильный выбор экспериментального участка и всестороннюю оценку его гидрологического режима, гидравлических, морфодинамических и экологических процессов (Sukhodolov & Uijttewaal, 2010). Такая оценка позволяет эффективно спланировать и спроектировать требуемые полевые установки для регулирования потока и операций с ним, а также определить наиболее подходящие сезоны и периоды времени для проведения реальных полевых экспериментов. Другими важными элементами при планировании и проведении полевых экспериментов являются выбор надлежащей аппаратуры, общая материально-техническая поддержка и обучение персонала. Планирование и подготовительные работы обычно занимают больше времени, чем сами эксперименты. Например, подготовка экспериментов с водной растительностью на базе ГЭПЭ ИГБ потребовала около 4 недель, а фактические эксперименты были завершены за 2 недели. Использование большого числа измерительных приборов значительно сокращает общее время на измерения. Большие размеры экспериментальных потоков также гарантируют, что измерительные приборы при расстановке с надлежащим интервалом не вызовут гидравлических помех между инструментами. Например, в эксперименте с течением в руслах, заросших растительностью, одновременно использовалось пять единиц АДР. Интервал в направлении потока между ближайшими приборами составлял 3 м, а распространение волнового следа после датчиков составляло около 0,2 м. Размещение и техобслуживание аппаратуры проводилось со спортивной байдарки, которая обеспечивала легкий доступ для установки приборов без разрушения растительности.

Результаты пилотных полевых экспериментов, проиллюстрированных здесь экспериментами с потоками в руслах, заросших растительностью, на базе ГЭПЭ, показывают возможность получения высокоразрешающих данных по среднему стоку и турбулентности в полевых условиях. В случае потока с водной растительностью, характер турбулентности четко обнаруживает определенные виды потока: развивающиеся и стабилизированные пограничные слои с растительным покровом, зона волнового следа и рециркуляции за «пятном», а также зона восстановления потока далее ниже по течению (рис. 3). Такая детальная количественная информация позволяет последовательно применять теорию гидравлики с соответствующими уравнениями движения (Суходолова и Суходолов, 2012; Суходолов, Суходолова, 2012), см. рис. 4. Огромное преимущество этого подхода заключается в том, что он дает количественные значения основных физических параметров турбулентного потока с определенными водными растениями в их природной среде. Таким образом, полевые эксперименты усиливают практическую значимость теории гидравлики.



**Рис. 3. Профили средней скорости потока  $U$  (а) и турбулентного напряжения  $-u'w'$  (б), замеренные в центральной линии русла вдоль участка Кубышки желтой на базе ГЭПЭ на реке Спри (затененная область показывает участок растительности)**  
 Секция 1 – развивающийся пограничный слой с растительностью, секция 2 – стабилизированный пограничный слой с растительностью, секция 3 – зона рециркуляции и волнового следа, секция 4 – зона восстановления



**Рис. 4. Вертикальное распределение средней скорости  $u$  (жирные кружки), турбулентного напряжения  $-u'w'$  (прозрачные кружки), и гашение потока  $C_d a$  (прозрачные ромбы), замеренные в полевых экспериментах с растительностью на реке Спри**  
 Черная линия – гиперболическая функция тангенса, а серая линия – обратная квадратичная функция котангенса (Суходолов и Суходолова, 2012).  
 $h_v$  – высота растительности,  $z_{1,2}$  – соответственно нижняя и верхняя границы пограничного слоя с растительностью.

Сила обобщения знаний на основе полевых экспериментов может быть проиллюстрирована результатами экспериментов на реке Спри (Sukhodolova, 2008; Sukhodolov & Uijttewaal, 2010; Sukhodolova & Sukhodolov, 2012; Sukhodolov, 2014). На рис.14 показано влияние водной растительности и полей береговых бун на гидравлическое сопротивление русла. Строительство береговых бун на участке реки добавляет до 50% к сопротивлению русла, когда водная растительность не развита. Однако летом, когда растительность достигает своего пика биомассы, вклад растительности может превосходить в четыре раза вклад бун. Сезонная динамика также оказывает сильное воздействие на процессы транспорта и перемешивания (Sukhodolova, Sukhodolov, Kozerski, Kohler, 2006). Следует отметить, что сочетание полевых экспериментов с лабораторными и математическим (численным) моделированием способствует улучшению понимания динамики сложных речных течений (как, например, на рис. 5).

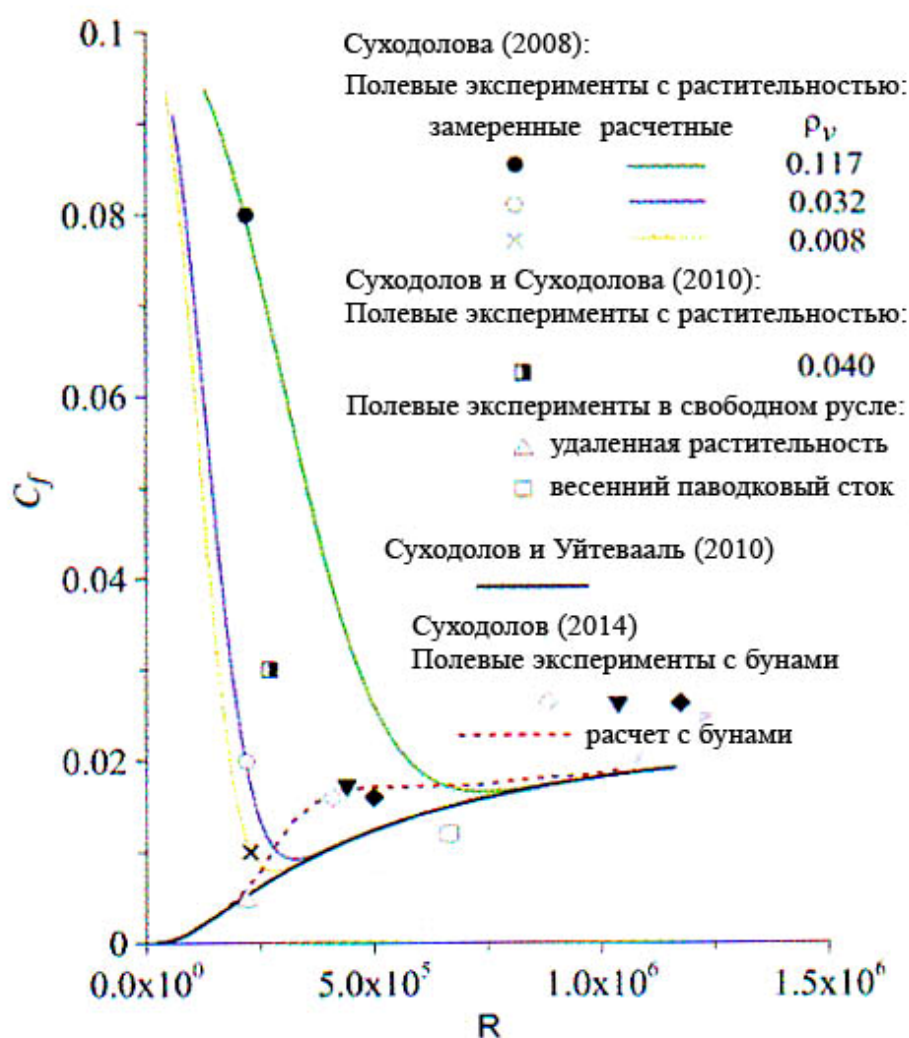


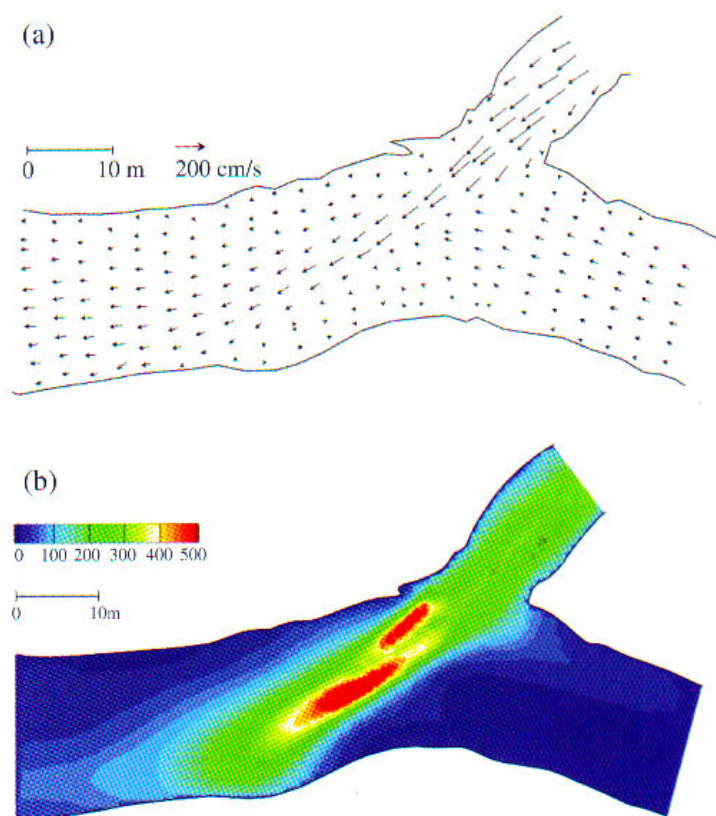
Рис. 5. Зависимость коэффициента шероховатости  $C_f$  от числа Рейнольдса  $R$ , показывающая влияние подводной растительности и бун.  $\rho_v$  – плотность биомассы

#### 4.4. Современные тренды в полевых исследованиях

Среди современных трендов гидравлических исследований явно выделяются три тренда в полевых работах, а именно *детализация*, *междисциплинарность* и *расширение*. Эти в большей степени взаимосвязанные тренды кратко изучаются далее.

Детализация отражает растущую тенденцию к изучению потоков в более мелких деталях для более глубокого понимания гидродинамических и морфодинамических процессов. Это стимулируется развитием более совершенной аппаратуры и цифровых технологий. Развитие аппаратуры, в первую очередь, связано с применением высокоразрешающих приборов. Например, прогресс в записи и обработке цифровых снимков в последнее десятилетие дал новые возможности для старых методов дрифтеров. В результате этого в разведочных полевых измерениях и полевых экспериментах были успешно реализованы методы отслеживания частиц и лазерная анемометрия по изображениям частиц (PTV, PIV) (Muste, Schone&Creutin, 2005; Muste, Fujita&Hauet, 2008).

Недавно была разработана высокоразрешающая стереоскопическая полевая система PIV, которая была применена для изучения гидродинамики стока и взаимодействия в системе поток-растительность в естественных реках (Cameron et al., 2013). В своем исследовании авторы изучили маломасштабные особенности в структуре потока (разрешение по площади 0,40 м x 0,32 м) вокруг отдельных водных растений с пространственно-временным разрешением, которое до недавнего времени достигалось только в лабораторных условиях. В местах слияния рек применялись поверхностные методы PIV в более крупном масштабе (разрешение по площади 4 x 4 м). Растущая детализация также отмечается в полевых обследованиях, в которых используются приборы точечного измерения (АДР) и профилометры. Здесь мелкие детали в структуре потока могут быть получены за счет применения современного полевого оборудования, предварительной съемки и тщательного выбора полевых условий. Пример подобных измерений, выполненных с АДР, показан на рис. 6. Для максимального повышения эффективности измерений также был спроектирован и внедрен набор измерительных приборов, которые можно быстро размещать на специально спроектированных портативных мостиках (Schnauder, Sukhodolov, 2012; Krick, Sukhodolov, 2014). Детализация в полевых обследованиях требует значительного и тщательного планирования, часто совмещенного с предварительными съемками и пилотными разведочными измерениями. Результаты подобных исследований зачастую уникальны и очень полезны.



**Рис. 6 (а) векторы средней скорости, (б) турбулентная кинетическая энергия (в  $\text{cm}^2/\text{s}^2$ ), замеренная в узле слияния реки Ледра в Италии, август 2014 г.**

*Междисциплинарность* полевых гидравлических исследований обычно отражает интеграцию исследовательских работ из различных предметных областей, в частности, сосредоточенных на границах между дисциплинами. В качестве примеров можно привести последние полевые обследования потоков в руслах, заросших растительностью, в различных морфологических условиях (Nikora et al., 2008; Schnauder&Sukhodolov, 2012; Sukhodolov&Sukhodolova, 2012). Другим важным аспектом междисциплинарности является сочетание полевых, лабораторных и численных подходов. Одним из последних примеров увязки полевых и численных работ является изучение гидродинамики в узле слияния и процессов перемешивания, где детальные полевые исследования сочетаются с высокоразрешающим моделированием методом крупных вихрей (DELS, Constantinescu, Miyawaki, Rhoads, Sukhodolov, 2012). Сравнение замеренных и расчетных гидродинамических полей позволяет не только проверить достоверность численного метода, но и показывает, насколько полевые и численные данные, взятые вместе, могут повысить уровень детализации в анализе.

*Расширение* означает вновь возникающие исследовательские направления в ответ на текущие и грядущие требования гидравлической науки и практики. Становление экогидравлики и гидродинамики водных экосистем, вероятно, можно отнести к наиболее значительным достижениям последнего времени (н-р,



Никора, 2010). Полевые исследования в этих предметных областях сосредоточены на широком ряде взаимодействий между потоком и биотой и соответствующих процессах транспорта, имеющих место на разных пространственно-временных уровнях. Исследования тепло- и массообмена на физических и биофизических границах, которые становятся все более важными при решении экологических проблем, могут особенно выиграть от полевых исследований (Marion et al., 2014).

Другое последнее расширение относится к гидравлическим аспектам отдыха на природе и туризма, что в итоге может привести к созданию новой области гидравлики, которую можно определить как рекреационную гидравлику (Brown, Taylor, Shelby, 1991; Probstl&Haider, 2013). Действительно, многие реки имеют огромную рекреационную ценность, на которую по всему миру растет спрос (Loomis et al., 2005). За последнее десятилетие такие рекреационные виды, как рафтинг и каякинг, стали установившимися, популярными видами спорта, которые привлекают большое число желающих и порождают множество обслуживающих предприятий. Быстро растущий уровень навыков в экстремальных водных видах спорта и особенно в рафтинге и каякинге на реке с порогами требует регулярных тренировок на специально разработанных базах, таких как «парки с порогами». Это сложные инженерные сооружения, состоящие из систем водоподачи, высоко градиентных открытых криволинейных каналов с участками быстрин и зонами подпора. В настоящее время проектирование подобных сооружений является чисто эмпирическим, но его можно значительно усовершенствовать для имитирования реальных условий рек, если будут иметься надлежащие полевые данные. Некоторые новаторские работы в этом направлении уже были выполнены, в частности для стремнин для каное.

Расширение также относится к инновациям в полевой технике и аппаратуре. Последние полевые исследования показывают, что основное внимание в этих разработках уделяется повышению возможностей для одновременной оценки структуры потока, морфодинамики и водной растительности. Например, исследования турбулентных потоков на отмелях и дюнах всегда было сложно проводить, и они были сосредоточены либо на структуре потока (н-р, McLean & Smith, 1979), либо на динамике речного русла (Никора и соавторы, 1997). Разработка полевых методов, которые бы увязывали детальные измерения структуры потока с измерениями движущейся формы рельефа дна, была главной целью последних разведочных полевых измерений Крика и Суходолова (2014). В рамках этих полевых измерений изучалась трехмерная структура потока в реке с быстро движущимися дюнами с помощью набора одноточечных АДР, профилометров АДР, дифференциальной глобальной системы позиционирования и эхолота с высоким разрешением. Одним из наиболее последних примеров инноваций является совместное применение технологий дистанционного зондирования с данными PIV, полученными с камерами высокой четкости, установленными на недорогом беспилотнике для измерения поля поверхностной скорости течения на изгибе реки (Detert & Weitbrecht, 2014). Визуализация потока с помощью видеокамер, установленных на беспилотниках или передвижных мачтовых вышках, в сочетании с полевыми

экспериментами представляет перспективную технику, которая может дальше продвинуть полевые исследования.

## **5. Проблемы и перспективы**

### *5.1. Сдерживающие факторы*

Несмотря на значимые достижения в полевых гидравлических исследованиях в последнее время (некоторые были приведены в предыдущих разделах), имеются также факторы, сдерживающие этот прогресс, которые должны быть затронуты в ближайшем будущем. Роль аппаратуры и оборудования всегда была важным вопросом и остается решающей по сей день. Пионеры полевых гидравлических исследований даже вынуждены были производить свои собственные измерительные системы (н-р, Гринвальд, 1974), что частично объясняет, почему полевые исследования были довольно редкими. В последние годы после появления коммерческих производителей, которые обеспечивают исследователей надежными измерительными системами и предоставляют техническую поддержку, количество полевых работ существенно выросло. Тем не менее, за несколькими исключениями, полевое оборудование для размещения имеющихся систем измерения должно изготавливаться по индивидуальному заказу. Некоторые производители в настоящее время поставляют стандартные переносные держатели для использования инструментов типа АДР на реках, которые можно переходить вброд. Без сомнения, промышленный выпуск многоцелевого оборудования для размещения будет способствовать дальнейшему прогрессу в полевых исследованиях.

Другой важный вопрос – это отсутствие стандартных протоколов для гидравлических полевых исследований, что зачастую затрудняет сопоставление различных наборов данных. Будущим полевым исследованиям в области гидравлики необходимы стандартные протоколы, которые будут направлять исследователей не только в выборе интервалов отбора проб и продолжительности замеров для получения надлежащей статистики по турбулентности, но и в определении требуемых вспомогательных измерений для описания фоновых гидравлических условий. Подобные руководства могли быть разработаны в ряде технических статей. Их значимость для исследователей может быть проиллюстрирована статьями по очистке данных АДР, на которые многие ссылались (н-р, Горин и Никора, 2002).

Хотя технические проблемы представляют серьезные практические помехи, которые непосредственно влияют на дальнейший прогресс в исследованиях, не меньшую важность представляет проблема недостатка специально обученного персонала. Насколько известно автору, не существует специализированных программ обучения по изучению гидравлики рек на местах. Эту проблему можно решить путем создания регулярных полевых баз обучения, которые являются типичными по геоморфологии и геологии (н-р,



Vitek, 2013). Базы обучения в области речной гидравлики могли бы быть организованы для международных аспирантов под патронажем Международной ассоциации гидравлических исследований (МАГИ) в качестве совместной работы Комитета речной гидравлики и Комитета образования и повышения квалификации.

### *5.2. Перспективные темы для полевых исследований*

Несмотря на впечатляющий прорыв в речной гидравлике в последние десятилетия, многие научные и прикладные вопросы еще не затронуты. Автору хотелось бы отметить некоторые темы, которые могут мотивировать и вдохновить молодых исследователей на проведение полевых разведочных измерений, экспериментов и исследований.

#### *Динамика водной поверхности и потока*

Хотя важность взаимодействия потока со своей свободной поверхностью была признана давно, этот вопрос привлекал меньше внимания по сравнению с взаимодействием потока с руслом реки. Взаимодействие потока и водной поверхности приводит к поверхностным волнам, физика которых фундаментально отличается от традиционных ветровых волн. Леопольд (1969) классифицировал поверхностные волны в реках как: волны над подводными валунами, глубоководные волны сходимости, мелководные волны над перекатами или барами гравия или валунов, глубоководные волны в водах с большой скоростью. Первых класс волн в этой классификации соответствует гидравлическим прыжкам (Kiefer, 1985), и их механизмы хорошо изучены в литературе по гидравлике. Волны второго класса представляют случай волнообразного гидравлического прыжка, который также являлся предметом активных гидравлических исследований. Гораздо меньше известно о волнах, формируемых на перекатах и барах, образованных гравийными и каменными руслами. Возможно, существует два основных механизма этих волн: повышение давления на верховых гранях валунов и расхождение волн в пограничных слоях. В недавнем полевом эксперименте было показано, что волна сжатия на верхней части островного бара сильно влияет на поведение волнового следа ниже по течению (Суходолов и Суходолова, 2014). Необходимы дальнейшие исследования для более точного понимания этих волн и их воздействия на динамику неглубокого потока. Глубоководные волны в потоках с высокой скоростью наиболее вероятно формируются водоворотами макротурбулентных структур, когда их вертикальное движение значительно усиливается. Однако, за исключением визуальных наблюдений (Powell, 1875; Leopold, 1969), количественной информации об этом явлении нет. Уточнение этих вопросов значительно улучшит понимание динамики речного стока.

### *Поток в системе плёс-перекат*

Прежние исследования по гидравлике системы плёс-перекат были сосредоточены на гипотезе инверсии скоростей (Keller, 1971). Полевые исследования по этой теме весьма ограничены и последняя работа базируется на численном моделировании. Интересно, что широко распространены визуальные обследования систем плёс-перекат в области экологии рыб для оценки сред обитания. Оценочные протоколы выделяют несколько характерных режимов потока: пережат, небольшой быстрый поток, плёс и плавное течение (Bisson, Nielsen, Palmason, Grove, 1982). Тогда как существуют сильные различия между перекатами и плёсами в плане их морфологии и гидравлики, разница между быстрыми небольшими потоками и плавным течением намного менее ясна (Jowett, 1993). Последние разведочные полевые измерения также показывают, что в системе плёс-пережат со значительной разницей в глубине вертикальное распределение турбулентного напряжения может существенно отличаться от линейной характеристики 2-го равномерного открытого потока (Суходолов, 2012). Это имеет сильное влияние на прогнозирование касательного напряжения дна и процессов транспорта в системах плёс-пережат и изгибах меандр. Достижения в гидравлике плёсов-пережат за счет полевых исследований могли бы значительно повысить наше понимание морфодинамических процессов в реках, а также подкрепить определение параметров сред обитания водных организмов.

### *Гидравлика экстремальных событий*

Большинство полевых измерений, экспериментов и обследований проводится в меженьный период, когда доступ к потоку в реках безопасен. Недостаток полевых данных при более высоком стоке мешает правильному пониманию высокодинамических морфологических процессов в аллювиальных руслах, которые обычно происходят при паводковом стоке. Создание надежных, точных и безопасных методов полевых обследований в условиях паводка является важной задачей речной гидравлики, которую необходимо решить в ближайшем будущем. Первые шаги в направлении этой задачи были недавно предприняты группой исследователей из Геологической службы США (Jackson, Oberg, Gardiner, Shelton, 2009). Их разведочные полевые измерения были проведены с помощью измерительных систем ADCP и дифференциальной GPS на каяках и каноэ, которые позволяли безопасно двигаться по Нижнему Конго, и обеспечили замеры потока со скоростью до 5 м/с при глубине около 100 м. Для большинства рек эти предельные значения скорости потока и глубины не будут превышать в период паводков, и поэтому успех команды Геологической службы вдохновляет на продолжение работы.

## **Заключение**

Полевые исследования в области речной гидравлики показали впечатляющее развитие в последние 20 лет, демонстрируя значительное увеличение числа полевых измерений, обследований и экспериментов. Современные полевые исследования сосредоточены на широком спектре традиционных и недавно возникших проблем, решать которые пытается все большее число научно-исследовательских групп. Более того, этот количественный рост дополняется значительным улучшением качества полевых работ. От ориентированных на конкретные процессы и скорее практические аспекты, современные полевые исследования переключились также на фундаментальные вопросы, связанные со сложным взаимодействием физических, биологических и антропогенных процессов в речных системах. Возможность интегрировать знания об отдельных процессах подчеркивает силу синтеза в современных полевых исследованиях, что, вероятно, окажет значительное влияние на дальнейшее развитие речной гидравлики.

В заключение хотелось бы отметить один аспект, который делает полевые исследования такими особыми и привлекательными. Этот аспект полевой работы заключается в непосредственной связи с природой, с ее величественными видами в различных ландшафтах, захватывающих дыхание. Возможность непосредственного наблюдения и измерения природы дает исследователю уникальный опыт и вдохновение.



Перевод: Усманова О., Ян Е., Халиуллина А.

Верстка и дизайн: Беглов И.

Редактор: Мухина Е.

Подготовлено к печати  
в Научно-информационном центре МКВК

Республика Узбекистан, 100 187,  
г. Ташкент, массив Карасу-4, д. 11  
Тел. (998 71) 265 92 95, 266 41 96  
Факс (998 71) 265 27 97  
Эл. почта: [info@icwc-aral.uz](mailto:info@icwc-aral.uz)