

составляющие  $Z_{0u}$ ,  $Z_{0T}$ ,  $Z_{0q}$  – параметры шероховатости соответственно для количества движения, тепла и влаги;  $Z_u$ ,  $Z_T$ ,  $Z_q$  – высоты, на которых рассчитываются соответственно скорость ветра  $U_z$ , температура  $T_z$  и удельная влажность  $q_z$ ;  $T_w$  – температура поверхностного слоя воды;  $q_w$  – насыщающая удельная влажность при температуре  $T_w$ . В качестве стандартной высоты, относительно которой осуществляются расчеты потоков тепла и влаги, принимается высота, равная 2 м над водной поверхностью.

Расчет турбулентных потоков тепла и влаги над водоемом может выполняться и для частного случая равновесной (нейтральной) стратификации приводного слоя атмосферы. При этом, используются зависимости:

$$L_E \times E = 0,622 \times (\rho_a \times L_E / \rho_s) \times (k^2 \times U_2 / \ln^2(z_2 / z_{0u})) \times (e_w - e_2), \quad (48)$$

$$H = (\rho_a \times c_p) \times (k^2 \times U_2 / \ln^2(z_2 / z_{0u})) \times (T_w - T_2), \quad (49)$$

где  $T_2$ ,  $e_2$  и  $U_2$  – соответственно температура, влажность воздуха и скорость ветра на высоте 2 м над водной поверхностью,  $e_w$  – максимальная упругость водяного пара, значение которой определяется по температуре воды  $T_w$ ,  $\rho_s$  – приземное давление атмосферы (ГПа).

В первом приближении значение удельной теплоты испарения  $L_E$  можно считать величиной постоянной и равной  $\approx 2,49$  МДж/кг. Однако нетрудно учесть и зависимость ее от температуры

$$L_E(T_w) = 1,91846 \cdot 10^6 \times (T_w / (T_w - 33,91)), \quad (50)$$

где единицей измерения  $L_E$  служит Дж/кг. Величина удельной влажности воздуха  $q$  может быть определена по абсолютной влажности  $e$  и приземному атмосферному давлению  $p_s$ , значения которых известны по данным стандартных метеорологических измерений:  $q = 0,622 \times e / p_s$ . Насыщающая упругость водяного пара  $e_w$  зависит только от температуры и определяется уравнением Клаузиуса-Клапейрона. Для ее расчета годится аппроксимация

$$e_w(T_w) = 2,1718 \cdot 10^{10} \cdot \exp(-4157 / (T_w - 33,91)), \quad (51)$$

где единицей измерения  $e_w$  служит Н/м<sup>2</sup>. Температура воды  $T_w$  в соотношениях (50), (51) должна быть выражена в °К.

Следует отметить, что приведенные структурные элементы известных систем не позволяют рассчитывать потоки тепла и влаги при сильно устойчивой стратификации, а также в случае неустойчивой стратификации при малых скоростях ветра ( $U_{10} < 3$  м/с).

При штилевых условиях описанная схема расчета вообще дает нулевые значения тепла и влаги, что с физической точки зрения неверно, так как в этих условиях тепло- и массоперенос осуществляется механизмом свободной конвекции.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мезенцев, В.С. Увлажненность Западно-Сибирской равнины / В.С. Мезенцев, И.В. Карнацевич – Л.: ГИМИЗ, 1969.
2. Справочник по климату СССР. Солнечная радиация, радиационный баланс и солнечное сияние. – Л.: ГИМИЗ, 1966. – Вып. 3. – Ч. 1. – 80 с.
3. Пивоварова, З.И. Изучение режима солнечной радиации в СССР. – Л.: ГИМИЗ, 1966. – Вып.: Современные проблемы климатологии.
4. Валуев, В.Е. Косвенные пути расчета радиационного баланса подстилающей поверхности. – Омск, 1972. – Вып.: Записки по краеведению Омской области. Географическое общество СССР.
5. Сивков, С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. – Л.: Гидрометеоздат, 1968. – 232 с.
6. Гальперин, Б.М. К методике приближенных расчетов сумм солнечной радиации // Метеор. и гидрология – 1949 – № 4. – С. 26–35.
7. Архипов, Б.В. Расчет термогидродинамического режима водоема по двумерной модели / Б.В. Архипов, В.В. Солбаков // Изв. АН. Физика атмосферы и океана. – 1994. – Т. 30. – № 5. – С. 671–685.
8. Пивоваров, А.А. Термика замерзающих водоемов. – М.: Изд-во МГУ, 1972. – 140 с.
9. Кириллова, Т.В. Радиационный режим озер и водохранилищ. – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 254 с.
10. Гидротермодинамическое взаимодействие озера с атмосферой / Под ред. А.Ф. Трешникова, С.С. Зилитинкевича. – Л.: Наука, Ленингр. отдел., 1990. – 140 с.

Материал поступил в редакцию 16.04.2016

#### VOLCHAK A.A., DASHKEVICH D.N., VALUEV V.E., MESHK O.P. Structural elements of teploprogress river watershed

The work considers the structural elements of teploprogress involved in processes of volatile Teploobmen between earth's surface and atmosphere and between water bodies, atmosphere and land surface catchments.

УДК 556.5.06 (476)

**Волчек А.А., Зубрицкая Т.Е.**

### ПРОБЛЕМЫ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ В БЕЛАРУСИ

**Введение.** В сравнительно недалеком прошлом для удовлетворения потребностей в воде нужно было, как правило, лишь подвести ее от источника к потребителю. Изъятия обычно составляли незначительную часть вод источника и не сопровождалась существенными изменениями его режима. По мере развития экономики и благоустройства населенных мест все чаще возможности забора воды ограничиваются объемом водных ресурсов источника и обуславливают необходимость мероприятий по увеличению располагаемых водных ресурсов. Образно выражаясь, произошел переход от эпохи водоснабжения к эпохе водообеспечения [1].

Отбор вод из рек составляет в среднем несколько процентов от среднего годового стока. Однако уже сейчас водохозяйственный баланс (сопоставление потребностей в воде с ее наличием в источниках) для большинства основных речных бассейнов промышленно развитых стран испытывает острый дефицит водных ресурсов.

**Зубрицкая Татьяна Евгеньевна**, магистр технических наук, старший преподаватель Брестского государственного технического университета Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Основные причины этого [1]:

- несоответствие размещения водоемких потребителей распределению водных ресурсов по территории (на обжитые и хозяйственно освоённые зоны, где сосредоточено до 80% потребности в воде, приходится всего около 20% водных ресурсов). При этом часто концентрация населения и водоемких промышленных производств исторически происходила на водораздельных территориях, богатых как полезными ископаемыми, так и малыми реками с неустойчивым режимом стока;
- несоответствие внутригодового распределения стока и потребностей в воде;
- ограниченные возможности дальнейшего изменения межгодового и внутригодового распределений стока: отсутствие благоприятных топографических условий для создания водохранилищ

или неприемлемое затопление сельскохозяйственных угодий, важных народнохозяйственных или культурно-исторических объектов, месторождений полезных ископаемых и т. д.

Причем значительная часть потребностей в воде не поддается или не подлежит сокращению, например испарение воды с поверхности водохранилищ и биологически обоснованные нормы коммунального водопотребления. Очень осторожно нужно идти на снижение потребностей экосистем.

Соответственно, деятельность по сокращению потребностей в воде должна быть направлена на уменьшение ее затрат в коммунальном и промышленном водоснабжении, а также в оросительных системах; на уменьшение потерь воды в системах водоснабжения; на уменьшение недостаточно обоснованных санитарно-обводнительных попусков, осуществляемых для поддержания необходимого качества воды в реках.

Каждое из этих направлений, наряду с наведением порядка, требует на длительное время больших материальных и трудовых затрат.

Выдвинутая в последние годы идея водосберегающей стратегии, которая якобы позволяет решать проблему водообеспечения развивающегося хозяйства без увеличения располагаемых водных ресурсов, является, на наш взгляд, не состоятельной. При этом ставится под сомнение не только необходимость создания новых водохранилищ, но и целесообразность сохранения уже построенных. Сокращение потерь воды вряд ли всегда может компенсировать рост водопотребления.

В целом для Беларуси проблема водообеспечения не стоит так остро и, по мнению ученых, на ближайшую перспективу дефицит в водных ресурсах будут испытывать отдельные южные регионы в маловодные годы. Более остро стоит проблема качества воды. Однако уже в настоящее время влияние природных факторов (изменение климата) и антропогенных воздействий (увеличение забора воды из природных источников, сброс сточных вод без должной очистки, массовые мелиорации второй половины прошлого века и др.) приводят к неблагоприятному изменению режима водоемов, что в свою очередь влечет за собой хозяйственные ущербы и отрицательно воздействует на окружающую среду. Поэтому проблема рационального использования водных ресурсов требует всестороннего рассмотрения и обсуждения, анализа и выработки Национальной стратегии.

По мере возрастания требований на воду все большее значение приобретает оптимальное управление водными ресурсами, которое включает:

- распределение водных ресурсов между отраслями хозяйства и отдельными водопотребителями;
- распределение водных ресурсов между регионами страны;
- комбинированное использование поверхностных и подземных вод с периодическим восполнением запасов подземных вод поверхностными (в периоды избытка последних).

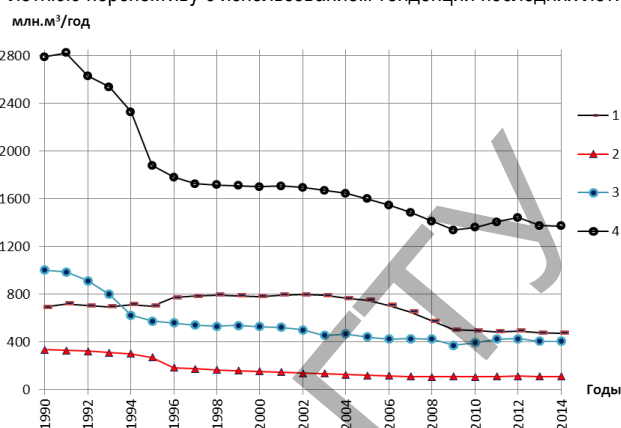
Целью настоящей работы является оценка общего водопотребления на территории Республики Беларусь с учетом отдельных отраслей и определяющих факторов, а также сопоставление с удельным водопотреблением Германии, как одной из наиболее развитых стран Европы и Украины, как страны во многом схожей с Беларусью.

**Исходные материалы и методика исследования.** В работе использованы материалы водохозяйственной и экономической статистики Республики Беларусь за период с 1990 по 2014 гг., т. е. за период существования Беларуси как самостоятельного государства [2, 3, 4].

Исследования водопользования осуществлялись с применением методов системного анализа баз данных, а также общих и частных методик, что позволило сделать выводы о реальных тенденциях изменения водопотребления в Республике Беларусь. Данные аппроксимированы нами полиномами первой и второй степени, при этом в использовании полиномов более высоких степеней нет практической необходимости.

**Результаты и их обсуждения.** В порядке иллюстрации на рисунке 1 представлены графики хронологического хода водопотребления в Республике Беларусь за период с 1990 по 2014 гг., а на ри-

сунках 2 и 3 – динамика численности населения и водопотребления в интервале 1995–2020 гг. с ориентировочными показателями на 6-летний перспективу с использованием тенденций последних лет.



1 – хозяйственно-питьевое, 2 – сельскохозяйственное, 3 – промышленное; 4 – общее

Рисунок 1 – Водопотребление в Беларуси за период с 1990 по 2014 гг.

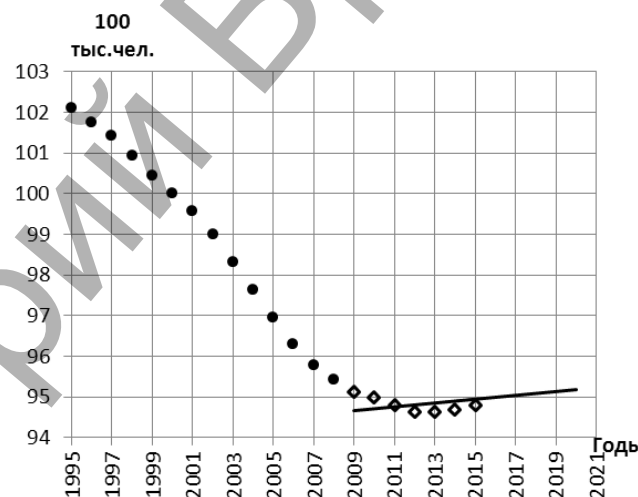
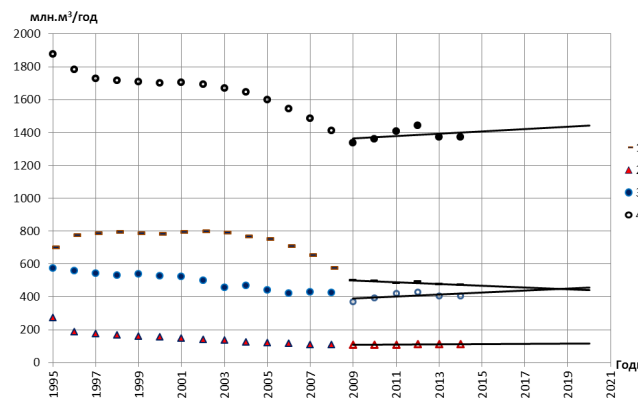


Рисунок 2 – Численность населения в Республике Беларусь за период с 1990 по 2020 гг.



1 – хозяйственно-питьевое, 2 – сельскохозяйственное, 3 – промышленное; 4 – общее

Рисунок 3 – Водопотребление в Беларуси за период с 1995 по 2020 гг.

Из анализа имеющихся данных следует: потребление воды в Беларуси с 1995 по 2009 гг. уменьшалось, и связано это главным образом с убывлю населения, а также падением водопотребления на хозяйственно-питьевые нужды, после введения приборов учета воды в 1995 г. Однако в последние годы наблюдается рост водопотребления, что можно соотнести с ростом потребления воды в про-

мышленности. Как показал анализ динамики водопотребления в стране, оно достигло определенной стабильности, и значительных отклонений сформировавшихся тенденций не следует ожидать. Если наметившийся рост населения в стране сохранит свои тенденции, то это повлечет и увеличение как общего потребления воды в целом, так и в отдельных отраслях.

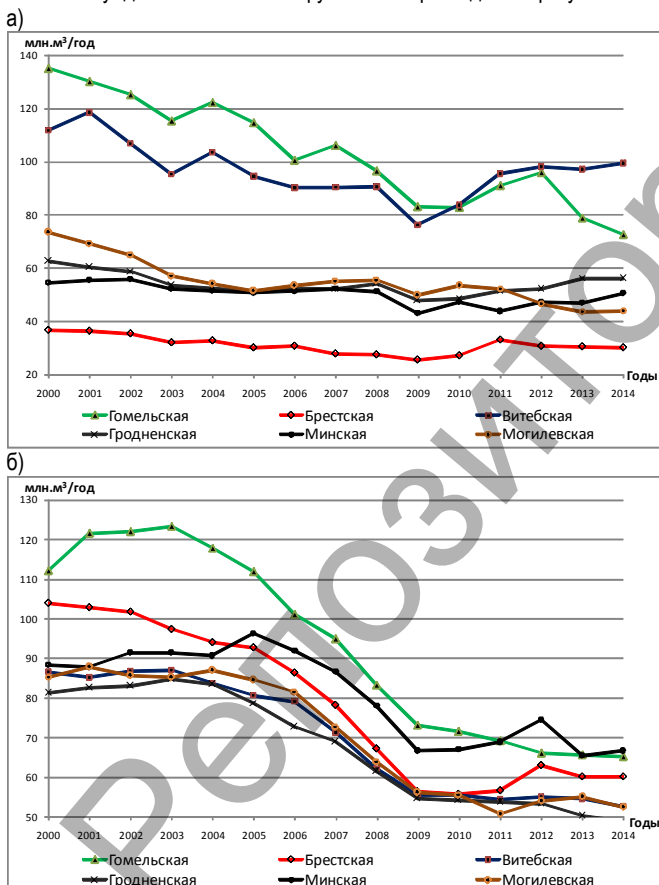
Ни один технологический процесс в промышленности невозможен без участия воды – она входит в состав готовой продукции, используется для транспортировки веществ, как теплоноситель и охладитель, как растворитель и разбавитель. Водоёмкость различных производств изменяется в зависимости от вида продукции, применяемых технических средств и технологических схем. На производство 1 т стали расходуется 120 м<sup>3</sup> воды, химического волокна – 2000 м<sup>3</sup>, резины – 4000 м<sup>3</sup>, бумаги – 1000 м<sup>3</sup>. Существенное количество воды забирается из водных источников на нужды энергетики.

Динамика общего водопотребления за последние 6 лет почти повторяет динамику промышленного использования вод, что и определяет данную отрасль как одного из основных потребителей воды.

Использование воды в сельском хозяйстве за период с 1995 по 2014 гг. изменяется в сторону уменьшения достаточно медленно и незначительно влияет на общее снижение водопотребления за рассматриваемый период.

В 2014 году общее потребление пресной воды в Республике Беларусь составляло около 1371 млн м<sup>3</sup>/год. Из них сельское хозяйство потребляло – 111,6 млн м<sup>3</sup>/год, население – 472,8 млн м<sup>3</sup>/год, промышленность – 405,3 млн м<sup>3</sup>/год.

Изменение водопотребления на хозяйственно-питьевые и производственные нужды по областям Беларуси можно проследить на рисунке 4.

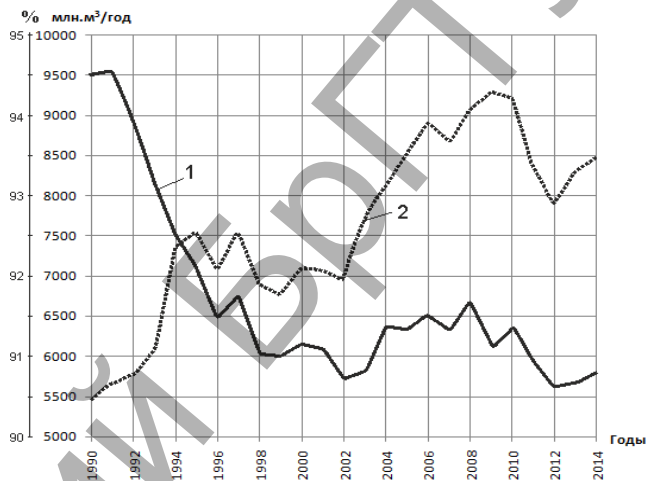


а – промышленное, б – хозяйственно-питьевое  
**Рисунок 4** – Динамика использования водных ресурсов в областях Беларуси

На период с 1990 по 2014 гг. по Республике произошло снижение использования воды в производстве в 2,5 раза. Это обусловлено, во-первых, сокращением (остановкой) некоторых производств, во-вторых, оборотным водоснабжением, внедрением новых водосберегающих технологий и т. д.

Развитие оборотного водоснабжения не вызывает сомнений с точки зрения охраны природных вод от загрязнения. Однако это ведет к увеличению потерь воды, поскольку при сохранении затрат воды в технологических циклах с внедрением водооборота ее потери на испарение и фильтрацию растут на коммуникациях и сооружениях системы оборотного водоснабжения. При этом отметим, что переход на замкнутые системы водоснабжения должен сопровождаться материальными затратами на мероприятия по утилизации отходов производства; в противном случае отходы на том или ином этапе превратятся в источники загрязнения окружающей среды.

На 2014 год объем оборотной воды в процентном отношении к общему объему водопотребления на промышленные нужды составляет 93,5 % (рис. 5).



1 – расходы воды в системах оборотного и повторно-последовательного водоснабжения, млн м<sup>3</sup>/год; 2 – доля оборотной воды в общем водопотреблении в промышленности (%)

**Рисунок 5** – Динамика объемов оборотной воды

На протяжении последних ста лет общее использование воды в мире возросло в 9 раз. В то же время количество населения в мире возросло лишь в 4 раза. Рост водопотребления в мире связан не только с развитием производственно-технологических прогрессов, которые требуют чрезвычайно высокого количества воды на свои нужды. И не только с ростом водопотребления в сельском хозяйстве, которое является самым значительным и составляет около 70% от общего мирового водопотребления. Рост водопотребления связывают также с существенным увеличением потребления воды в коммунально-бытовом хозяйстве, из-за общего роста городского населения, повышения комфортности быта, применения стиральных и посудомоечных машин.

По данным источника [5], водопотребление в мире распределяется следующим образом: сельское хозяйство 70 %, промышленность 22 %, бытовое потребление 8 %, а в Беларуси соответственно 36 %, 30 % и 34 %. Такое различие обусловлено тем, что Беларусь находится в зоне переменного увлажнения и отказалась от массовых оросительных мелиораций по экономическим соображениям.

Показатели удельного водопотребления в разных странах существенно разнятся между собой. Например, нормы водопотребления в л/сут. чел составляют: в Германии – 105, в Чехии – 125, в Дании – 150, в Польше – 180, в США – 190, в России от 160 до 250, в Украине – 260.

Удельное водопотребление в бытовом секторе Беларуси за весь рассматриваемый период с 2000 по 2014 г. постепенно уменьшается. Минимальное водопотребление, равное 137 л/сут. чел., отмечалось в 2014 г., максимальное – в 220 л/сут. чел. имело место в 2002 г. На рисунке 6 представлен сравнительный анализ удельного водопотребления некоторых стран Европы. Как видно из рисунка, удельное водопотребление Беларуси и Украины стремится к показателям удельного водопотребления Германии.

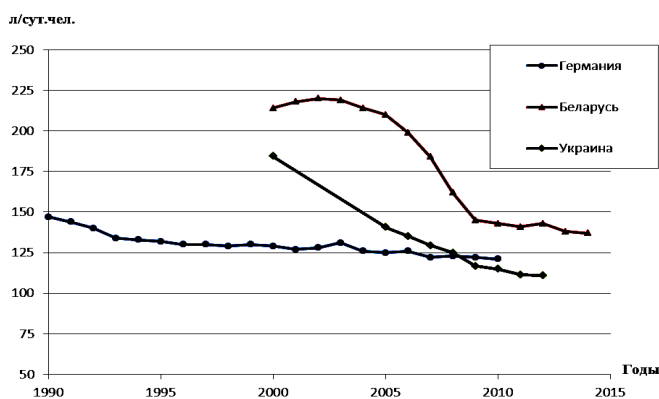


Рисунок 6 – Удельное водопотребление в Беларуси, Украине и Германии, л/сут.чел.

Можно предположить, что столь высокое удельное водопотребление в бытовом секторе в 2002 году, существенно превышающее нормативы многих стран, связано не с повышением комфортности быта основной массы белорусов и их расточительным потреблением пресной воды, а с утечками из разводящих водопроводных сетей, которые не учитывались отдельной статьёй в отчетных документах, а списывались на бытовое потребление. Что же касается показателей удельного водопотребления в 2014 году, то оно близко к нормам, которые актуальны в европейских странах. При сохранении существующего положения удельное водопотребление в быту составит в 2020 г. около 122 л/сут.чел., что соответствует показателям водопотребления Германии [6].

Нормирование водопотребления и повышение цен за воду при соблюдении ряда других условий безусловно должно и будет способствовать уменьшению водопотребления, особенно среди малообеспеченной части населения.

В Республике Беларусь достаточно часто пересматривается порядок начисления коммунальных платежей. Так, 28 сентября 2011 года вышло постановление Совета Министров Республики Беларусь № 1300 «О внесении изменений в постановление Совета Министров Республики Беларусь от 25 августа 1999 г. № 1332 и от 4 февраля 2011 г. № 138», которое свидетельствует о том, что плата за услуги водоснабжения, водоотведения (канализации) взимается с граждан, проживающих в жилых домах (квартирах), которые оснащены приборами индивидуального учета расхода воды.

Было установлено, что стоимость за расход воды взимается по тарифам, установленным законодательством Республики Беларусь, расход на одного зарегистрированного человека в квартире составляет 140 л/сут. – это норма расхода холодной и горячей воды в сумме (2423,1 бел. руб. за 1 м<sup>3</sup> согласно тарифу от 09.04.2015 г., где холодное водоснабжение – 1453,0 руб./м<sup>3</sup>, канализация – 970,1 руб./м<sup>3</sup>). В случае превышения данной нормы оплата взимается по установленным законодательством Республики Беларусь тарифам, обеспечивающим полное возмещение экономически обоснованных затрат на их оказание.

Снижение водопотребления нельзя решить в одночасье, однако определение и признание проблем водного сектора Беларуси – это первый шаг в направлении более эффективного использования водных ресурсов и оптимизации работы предприятий водоснабжения и водоотведения.

Развитие водопотребления сопровождается увеличением объемов обработанных вод, которые в той или иной мере попадают в водные источники. В стране проводится работа по сокращению количества попадающих в источники загрязнений. Значительные средства вкладываются в создание оборотных систем водоснабжения (без сброса сточных вод в водоемы), в разработку безотходных технологических процессов и др. Однако, если в динамике загрязнения водных источников отходами промышленности в некоторых районах и намечается перелом, то решение проблемы в целом требует еще немалых усилий и крупных капиталовложений. Дело в том, что помимо загрязнений водоемов удобрениями и ядохимикатами, поступающими с полей в виде дренажных вод, а также с талыми водами, обильные загрязнения приносят с собой кислотные дожди и ливневые стоки городов. Рост некомпенсируемого изъятия воды из рек повлечет за собой сокращение лимитов воды на функционирование экосистем.

Крайне важно определить величину допустимых изъятий воды. Надо продолжить исследования, направленные на выработку системных методических подходов, пригодных для различных ситуаций, где должны учитываться хозяйственные и природоохранные аспекты как в зоне намечаемого изъятия вод, так и в зоне их использования.

Проблему водообеспечения страны нельзя решать без учета социальных аспектов и прежде всего без:

- выполнения требований питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения к качеству гарантируемых в этих целях объемов воды;
- поддержания занятости населения (с учетом естественного прироста) в традиционных отраслях, связанных с режимом водных источников (их водностью и качеством вод) или путем создания новых рабочих мест в отраслях хозяйства, функционирование которых не будет ущемляться при возможном нарушении режима природных вод и водных объектов;
- сохранения связанных с режимом водных объектов условий для отдыха, спорта, рекреаций или развития альтернативных путей удовлетворения указанных потребностей общества.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Болгов, М.В. Современные проблемы оценки водных ресурсов и водообеспечение / М.В. Болгов, В.М. Мишон, Н.И. Сенцов. – М.: Наука, 2005. – 318 с.
2. Окружающая среда и природные ресурсы Республики Беларусь: статистический сб. / Минстат Республики Беларусь, НИИ статистики. – Минск, 1995–2012.
3. Государственный водный кадастр. Водные ресурсы, их использование и качество вод. – Минск: Минприроды Республики Беларусь, 1994–2008.
4. Государственный водный кадастр Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cricuwr.by/gvk/default.aspx>. – Дата доступа: 15.12.2015.
5. Вода для людей, вода для жизни – Доклад о состоянии водных ресурсов мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556r.pdf>. – Дата доступа: 10.01.2016.
6. Мировой Атлас Данных [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knoema.ru/atlas/Германия/topics/Водные-ресурсы>. – Дата доступа: 10.01.2016.
7. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. – Дата доступа: 20.02.2016.

Материал поступил в редакцию 13.06.2016

#### VOLCHAK A.A., ZUBRYTSKAYA T.E. Problems of water supply in Belarus

The article deals with the problem of water consumption in Belarus, presented the results of a study of the total water consumption, differentiated for individual sectors and the determinants for the period 1990 to 2014, and a comparative analysis of specific consumption of Belarus and some countries of Europe.