

В. А. Знаменский

Оптимальная схема расчёта допустимой нагрузки на бассейн реки

Аннотация. Описывается алгоритм решения задачи распределения ассимилирующей способности реки между водопользователями. Дано определение свободного ресурса и ассимилирующей способности. Расшифрованы их численные значения. Показаны варианты распределения ассимилирующей способности реки. Дан пример распределения нагрузки на бассейн реки.

Ключевые слова и фразы: струя водотока, струя массотока, водохозяйственный баланс, потоковый баланс.

1. Алгоритмы расчётов нагрузки

Алгоритм расчётов предельно допустимой нагрузки (ПДН) предложен Михеевым Н. Н., Яковлевым С. В. и другими [1]. Это наиболее общий документ, вобравший в себя все научные решения и оставляющий некоторую свободу для развития. Он основан на использовании ассимилирующей способности водного объекта, хотя ставит её в соответствие ПДН. Важнейшее новое правило, которое рекомендовали разработчики алгоритма: «естественные фоновые концентрации должны быть всегда меньше расчётных значений ПДН», что означает: всегда должно соблюдаться условие «ПДК больше естественного фона». Системы рыбохозяйственных и иных ПДК этого правила не придерживаются. Алгоритм не конкретизирует, какими балансами можно пользоваться. В настоящее время для многих бассейнов главных рек ведутся разработки ПДН на основе балансов масс веществ в реке, которые считаются накапливаемыми в русле реки за некоторый период или за год [2].

Работа поддержана средствами Енисейского бассейнового водного управления: «Отчёт о выполнении работ по теме „Схема комплексного использования и охраны водных ресурсов р. Енисей“ (Часть 1, 2009 г.)».

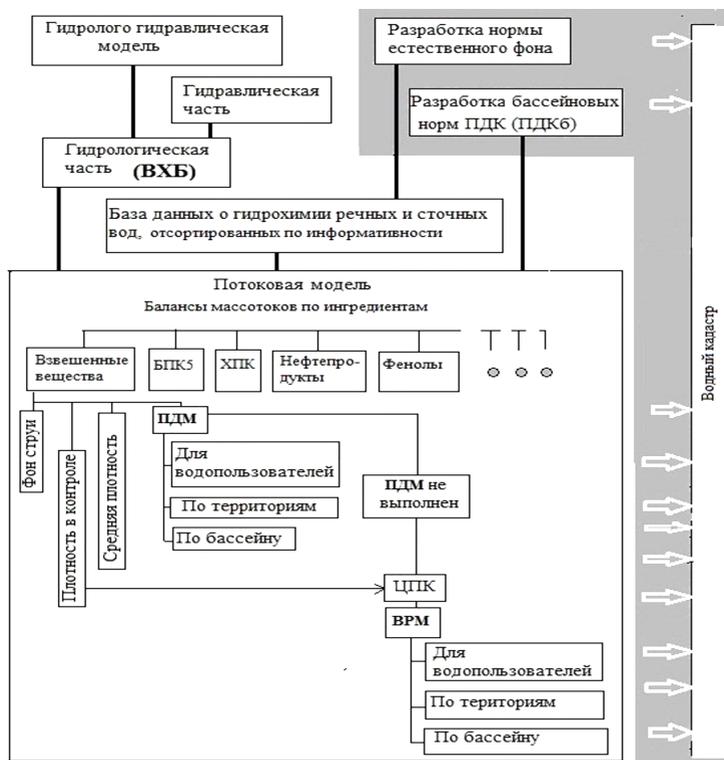


Рис. 1. Алгоритм разработки нормативов ПДМ и ВРМ на реку, для территорий и водопользователей. Серым фоном выделены работы, не входящие в программу, но связанные с ней функционально

В модели реки [3] реализован алгоритм иного содержания. Норматив, рассчитываемый в модели, назван ПДМ — предельно допустимым расходом массы (массотоком, потоком) вещества в сточных водах, что соответствует его физическому смыслу.

На рис. 1 показана принципиальная схема потоковой модели, предназначенной для административного органа, который управляет использованием вод в бассейне реки.

Объединение расходов масс вещества в струях воды происходит, согласно основному закону [4], пропорционально долям расходов воды струй, несущих это вещество. Следовательно, требуется создавать

две модели: объединения струй воды (гидролого-гидравлическую) и объединения массотоков (гидрохимическую). Здесь используются во взаимной связи два баланса: водохозяйственный и материальный. Это позволяет рассматривать изменение качества воды в реке, как результат хозяйственного пользования двумя речными расходами: воды (водотока) и массы вещества (массотока, потока).



Рис. 2. Алгоритм разработки нормативов ПДН и ВСН на водный объект [1]

Свободный ресурс используется в схеме иначе, чем в схеме алгоритма расчёта ПДН, показанной на рис. 2. Существенное различие проявлено в предмете управления (потоки веществ вместо масс, г/ч вместо т), алгоритме расчёта допустимой нагрузки и методе расчёта процесса формирования качества воды в реке.

Основные особенности схемы:

- Не выполняем работы «Оценка состояния водного объекта» и «Оценка естественного фона». Они имеют специфичное назначение и должны быть исполнены до начала работ по моделированию. Предусмотрено, что они осуществлены при раскрытии тем «Разработка нормы естественного фона» и «Разработка бассейновых норм ПДКб», которые выделены в блоки, вынесенные за пределы схемы.

- Создаём модель расходов воды в виде водохозяйственного баланса, выраженного в $\text{м}^3/\text{ч}$.
- Формируем базы данных по концентрациям веществ в речных водотоках и сточных водах, отсортированных по признаку информативности данных в системе.
- Создаём модель материального баланса ($\text{г}/\text{ч}$) на основе водохозяйственного баланса и рассчитываем по три значения концентраций вещества в речной воде «выше выпуска сточных вод», «в контрольном створе» и «при предполагаемом полном завершении объединения водотоков».
- Разрабатываем норматив ПДМ и при наличии, и при отсутствии ресурса. В последнем случае, в соответствии со вторым законом потоков веществ, норму ПДМ принимаем равной качеству речных вод на уровне естественного фона.
- Устанавливаем временную норму равную заявленному сбросу сточных вод, чтобы разрешить предприятию существовать. Одновременно разрабатываем на следующий этап целевой показатель качества (ЦПК) и, соответствующий ему, временно разрешаемый массоток (ВРМ). Этим авансируем требования, которые будут задействованы для владельца сточных вод по истечении назначенного срока действия временной нормы.
- Не разрабатываем мероприятия для достижения очередного уровня ВРМ или ПДМ. Это — обязанность водопользователя, которую он должен выполнить в процессе оформления ВРМ на заявленный сброс.

2. Свободный ресурс и ассимилирующая способность

Модель формирования качества воды в реке основана на струйной теории объединения водотоков [4]. Применение информации о качестве воды, собранной со всех деталей речной сети, позволило учесть суммарные результаты различных антропогенных воздействий на водосборной площади, так как они, в конечном итоге, выражены качеством воды в притоках реки и боковой приточности. Работа с моделью позволила определить количественные значения свободного ресурса и ассимилирующей способности реки.

В природе нет свободного ресурса. Он возник с момента установления ПДК (1908, Англия [5]) как административного средства ограничения антропогенного воздействия на питьевое качество

воды. Оказалось, что власть условно выделила часть физического расхода речной воды для растворения вещества, добавляемого людьми к такому же веществу, содержащемуся в реке от природы.

Свободный ресурс зависит от естественной (природной) концентрации вещества в воде и предельно допустимого изменения этой величины, которое устанавливается не природой. Это изменение создаёт признак существования свободного ресурса в воде. Признак можно записать так:

$$R_j = 1 - \frac{C_j^e}{C_j^{\text{ПД}}},$$

где C_j^e — концентрация естественного фона, нижняя граница условия существования ресурса; $C_j^{\text{ПД}}$ — ограничивающая концентрация, верхняя граница условия, обычно равная ПДК.

Когда $R_j = 0$, свободный ресурс отсутствует. В этих условиях сточные воды должны иметь предельную концентрацию, равную естественному фону. Если $R_j < 0$, то свободный ресурс имеет дефицит. В этих условиях сточные воды должны быть чище естественного фона, но по экономическим соображениям этого рекомендовать нельзя. Условно принимаем, что и здесь $R_j = 0$. Так что свободный ресурс реки начинается от нуля.

Величину свободного ресурса $\Delta\Pi_j^e$ выражаем в единицах измерения массотока (г/с):

$$\Delta\Pi_j^e = QR_j C_j^{\text{ПД}} = Q(C_j^{\text{ПД}} - C_j^e),$$

где Q — расчётный расход воды в реке.

Свободный ресурс — это административно выделенная условная доля расхода речной воды для размещения в ней антропогенного массотока за счёт уменьшения расхода воды для естественного массотока, что приводит к повышению концентрации вещества сверх природного состояния в реке до установленного властью.

Большая величина (верхняя граница условия наличия свободного ресурса) $C_j^{\text{ПД}}$ всегда устанавливалась административным назначением ПДК. Она не является строго научно обоснованной и заслуженно подвергается критике. *Естественная (нижняя) граница ресурса статистически определена как многолетняя величина и текущему изменению не подлежит.*

В то же время за счёт повышения ПДК можно временно задавать такую величину свободного ресурса, которая позволяет установить норму массотока в сточных водах, оправдывающую состояние воды в реке хуже ПДК. При ней во всех створах реки будет концентрация вещества не выше ЦПК — целевого показателя качества, установленного после периода времени, достаточного для разработки лучших технологий. Приданием ПДК значения ЦПК устанавливаем временный (льготный для бизнеса) ресурс, что позволяет осуществлять водопользование с ограниченным загрязнением речной воды. По истечении установленного периода в действие вступают новые, меньшие, ЦПК и соответствующие им временные нормы массотоков. Такие циклы продолжаются до момента, когда ЦПК сравняются с ПДК, — конечной целью нормирования.

Ассимилирующая способность. Весь свободный ресурс использовать для обеспечения ($C^{ДП}$) не удастся вследствие особенностей речной системы, сложной динамики струй и уменьшения расхода воды, сохраняемого для естественного фона. Доступная часть ресурса выражается через ассимилирующую способность.

В результате математического экспериментирования установлено, что соблюдение качества воды в реке на уровне ПДК и ЦПК достигается при условии, когда распределяется не весь ресурс, а его часть. Она оценивается коэффициентом допустимой ассимиляции Ω , единым для водной системы, если исходные данные выражены тремя значащими цифрами. Для каждого вещества, которое задано с нарушением этого условия, коэффициент будет иным. Коэффициент подбираем, проигрывая варианты на модели реки так, чтобы в любом контрольном своре не происходило превышение ПДК (ЦПК) более, чем на 5%. Ассимилирующая величина свободного ресурса приобретает значение

$$(1) \quad \Delta П_j^a = Q(\Omega C_j^{ПД} - C_j^e).$$

На рис. 3 изображены графики изменения максимальной плотности вещества в реке в зависимости от коэффициента ассимиляции, использованного при расчёте нагрузки на реку по величине биохимического потребления кислорода. Окружностями обозначены значения Ω , которые обеспечивают не превышение в реке 1.05ЦПК. В данной речной сети эту функцию выполняет коэффициент доступной ассимиляции $\Omega = 0.86$.

Цифрами 1–4 обозначены положения линии коэффициентов ассимиляции, равных, соответственно, 1,0, 0,95, 0,9 и 0,85, когда отсутствуют ограничения ПДМ и ВРП по предельному и по фактическому массотокам вещества. Такие ограничения отмечены линиями с символами, соответственно, $C^{ПД}$ и $C^{СТ}$. Отклонение графиков вправо

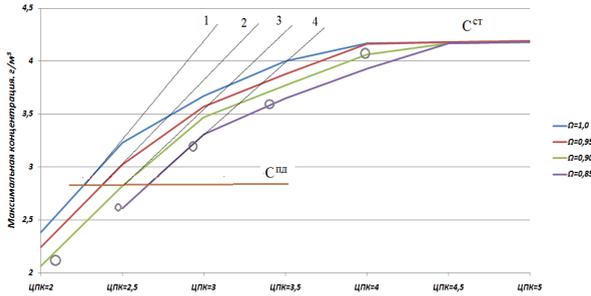


Рис. 3. Максимальная плотность потребления кислорода в р. Каче при разной антропогенной нагрузке и разных коэффициентах ассимиляции. Пояснения в тексте

вызвано переходом к значениям ЦПК, которые возникают при превышении предельно допустимого уровня массотока. Вводя ограничения, мы стабилизируем установившееся воздействие на качество речной воды. Начиная со значения ЦПК > 2.8 расчётная норма временно разрешаемого массотока (ВРМ) становится больше фактического массотока. Если бы не было ограничения по фактическому уровню, то процесс пошёл бы по линиям 1–4. По мере увеличения ЦПК ограничение охватывает всё больше струй сточных вод и в них сохраняются существующие характеристики воды. Кривые концентрации всё больше отклоняются от линий 1–4, и после ЦПК = 4,2 коэффициент Ω прекращает действие. Теперь при любом большем значении ЦПК в реке устанавливается стационарная существующая максимальная концентрация 4,2 мг/л, — показатель, который ограничен самой верхней кривой на рис. 3.

Значение коэффициента Ω заключено между 1 и величиной

$$\Omega = \frac{C^e}{C^{ПД}}.$$

Значение величины ЦПК ограничено сверху максимальной существующей концентрацией в реке, а снизу — значением естественной концентрации, увеличенной на 5%.

3. Норма предельно допустимого массотока

Разработанная схема модели реки приводит к иному алгоритму расчёта предельно допустимой и временной нагрузки.

Предлагаем разрабатывать нормы двух видов: часовые и годовые. Часовая норма нужна для эффективного управления потоками вещества. Будучи выраженной часовым расходом массы вещества (г/с), она предельно соответствует природной динамике процесса. Часовая норма включает потоки веществ, полученных в систему водоснабжения из источника, так как перед внедрением в реку их не удаляют из сточных вод.

Годовой норматив допустимого воздействия предназначен для обеспечения глобальных (статистических) потребностей учёта «привноса» вещества. Он выражен в массе вещества (т). Годовая норма устанавливается за вычетом забранного из реки на уровне естественного фона, что обеспечивает её сравнение с предыдущим годом.

Предельно допустимый массоток не зависит от расхода воды в реке. Он зависит от нормы естественного фона и остатка расхода струи сточных вод (μ) в момент пересечения контрольного створа. Существует различие в расчётах по бассейновой схеме и для обособленного выпуска сточных вод.

Бассейновый расчёт ПДМ. При разработке норм ПДМ решается задача определения такого допустимого состава сточных вод, какой соответствует ассимилирующей способности. Он не вызовет изменения плотностей потоков сверх соответствующих ПДК (ЦПК) в определяющей струе на контрольном створе.

При бассейновом расчёте каждому водопользователю выделяем одинаковый свободный ресурс, пропорциональный расходу сточных вод:

$$(2) \quad \Pi_j^{\text{СТ}} = \frac{\Delta \Pi_j^p}{\mu} + \Pi_j^e,$$

где $\Delta \Pi_j^p$ — допустимый свободный ресурс массотока j в струе, равный $Q_j^{\text{СТ}} R_j^p C_j^{\text{ПД}}$; Π_j^e — естественный фоновый массоток в струе, равный $Q_j^{\text{СТ}} C_j^e$.

Окончательное значение ПДМ принимается по условию, отражающему выше рассмотренные ограничения.

$$(3) \quad \text{ЕСЛИ } \Pi_j^{\text{СТ}} \geq \Pi_j^{\text{ИСХ}} \text{ ТО } \Pi_j^{\text{СТ}} = \Pi_j^{\text{ИСХ}}, \text{ ИНАЧЕ } \Pi_j^{\text{СТ}} = \Pi_j^n,$$

где $\Pi_j^{\text{ИСХ}}$ — заданная (фактическая) величина массотока j . Нарушение условия (3) приведёт к провоцированию роста массотока в сточных водах и ухудшению условий для водопотребителей, расположенных ниже по течению.

Для административной территории или бассейнов рек рассчитываем ПДМ как сумму ПДМ водопользователей, расположенных в их границах. Арифметические сложение и вычитание массотоков соответствует сущности физических процессов.

Локальный расчёт ПДМ. При локальном расчёте часовой предельно допустимой нормы (Π_j^n) недоступен коэффициент Ω , а фоновое значение концентрации C_j^p принимается на основе наблюдений

$$(4) \quad \Pi_j^{\text{СТ}} = Q^{\text{СТ}} \left(\frac{\text{ПДКБ}_j - C_j^p}{\mu} + C_j^p \right),$$

где $\Pi_j^{\text{СТ}}$ — ПДМ, г/ч; μ — расчётная доля остатка внедренного водотока в определяющей струе (контрольный створ); ПДКБ_j — бассейновая ПДК, г/м³; C_j^p — фоновая концентрация вещества j , г/м³; $Q^{\text{СТ}}$ — расчётный расход воды во внедряемом водотоке, м³/ч.

Окончательное значение ПДМ принимается по условию (3). Локальный расчёт нагрузки не учитывает ассимилирующую способность реки и взаимодействия струй в речной системе. Не рекомендуем его применять.

Временно разрешаемый массоток. При наличии ЦПК расчёт временно разрешаемого массотока (ВРМ) осуществляется по изменённому свободному ресурсу. Для этого достаточно в формуле расчёта ПДМ заменить ПДК на ЦПК.

Часовая предельно допустимая и временная нормы содержат массоток, содержащийся в воде, забранной в систему водоснабжения из реки или других источников. Нормы разрабатывают для всех видов сточных вод без исключения.

Управляющий орган с наступлением очередного этапа будет устанавливать норму ВРМ по уровню достигнутых характеристик воды в реке, а норма ПДМ останется неизменной, пока не изменятся характеристики естественного фона или ПДК.

Годовую норму массы вещества здесь рассматривать не будем.

4. Практика расчёта нагрузки на реку

В табл. 1 приведены результаты расчётов часовых норм по водопользователям, территориям и бассейну реки на каждом этапе и в пределе.

ТАБЛИЦА 1. Этапный разрешаемый массоток потребления кислорода из воды и ПДМ (г/ч), средняя по бассейну плотность массотока потребления кислорода в сточных водах (мг/л) и коэффициент платежа по бассейну реки за предоставленный ресурс

Водопользователь или положение сброса	Массотоки в 2006 г.	Этап №1 ЦПК = 3,2	Этап №2 ЦПК=2,5	ПДМ ПДК=2
Сброс в р. Крутая Кача	177	84	65	52
Сброс в ручей Тамасул	2787	1585	1058	692
Емельяновские БОС	2420	2420	1488	768
Сброс в р. Бугач	268	99	56	27
Разрешаемые району	5384	4089	2612	1512
То же, Красноярску	268	99	56	27
Всего для бассейна	5652	4188	2668	1539
Концентрация в ВРМ	9,16	6,79	4,33	2,50
Коэффициент платежа	24,9	11,2	3,0	0,0

На каждом этапе качество воды в реке будет соответствовать принятым ЦПК, что показано на рис. 4.

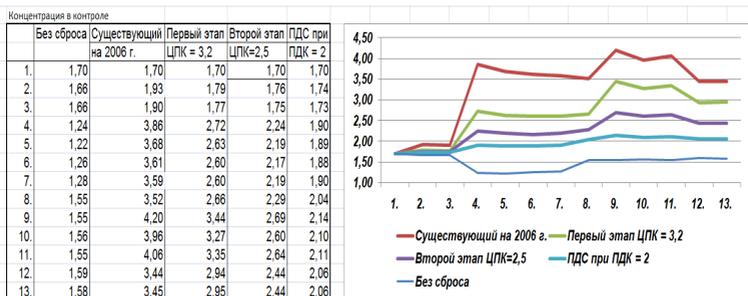


Рис. 4. Прогноз плотности потребления кислорода (мг/л) в бассейне р. Качи по этапам приближения к ПДП

1. Исполнимость требований ПДМ и ВРМ. Концентрации веществ в сточных водах задаются в технически достижимых пределах.
2. Полученный норматив связан с хозяйствующими субъектами. Норматив выделен каждому пользователю, субъекту федерации или иной территории. Он относится также к бассейну (участку бассейна) водного объекта.
3. Результаты нормирования достаточны для планирования и постановки задач перед наукой.

Плата за использованный ресурс. В связи с конкретизацией сущности свободного ресурса представляется необходимым изменить принципы экономического природопользования. Так как свободный ресурс есть результат административного вмешательства в природный процесс, то величина платежа определяется не требуемыми затратами на восстановление естественного качества воды, а глубиной вмешательства в природный процесс. Для разработки её могут быть использованы следующие принципы:

- установить единый норматив платежа за долю ресурса по наибольшему результату сравнения существующего массотока с ПДМ;
- не взимать плату за использование ресурса в пределах ПДМ;
- не учитывать временные (этапные) нормы.

Выполнение этих принципов обеспечивается следующей формулой:

$$(5) \quad \text{Пл} = ptK_j,$$

где Пл — платёж за максимальную величину предоставленного ресурса, руб.; p — единый для любого ингредиента норматив платежа, руб. за долю ресурса; t — интервал времени за период оплаты, ч; K_j — коэффициент использования ресурса, равный

$$K_z = \left(\max \left| \frac{\Pi_j^{\text{СТ}}}{\Pi_j^{\text{ПД}}} \right|_{j=1}^z \right)^{2,5} - 1,$$

где z — количество нормированных веществ.

В табл. 1 показаны значения коэффициента платежа по этапам для бассейновой нормы. Для отдельных потребителей коэффициенты будут иметь иные значения.

Заключение

Разработан и реализован алгоритм определения нагрузки на реку, отличающийся предметом управления (расходом массы вещества),

способом использования свободного ресурса и ассимилирующей способности, методом расчёта качества воды в реке и аналитической связи материального баланса с водохозяйственным.

Предложенная схема определения нагрузки на водный бассейн оптимальна, так как соответствует природным процессам объединения водотоков и обеспечивает поэтапную оценку изменения качества речной воды в результате хозяйственного пользования водой. Это позволяет рекомендовать её для применения при разработке Схемы комплексного использования и охраны водного объекта (СКИОВО) и для периодического контроля процессов изменения нагрузки.

Список литературы

- [1] Михеев Н. Н., Яковлев С. В., Нечаев А. П., Набродов Б. С., Мясникова Е. В., Максимов А. В., Шашков С. Н. *Предельно-допустимые экологические нагрузки на водные объекты и принципы оптимизации комплекса водохозяйственных мероприятий* // Инженерная экология, 1997, № 2, с. 19–28. ↑[1](#), [2](#)
- [2] Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. М. : МПР Российской Федерации, 2008. — 80 с. ↑[1](#)
- [3] Знаменский В. А. *Модель антропогенной нагрузки на реку и формирования качества воды* // Программные системы: теория и приложения, 2010. 1, № 2, с. 15–38. ↑[1](#)
- [4] Знаменский В. А. Струйные процессы в водотоках. Красноярск : Издательство СФУ, 2010. ISBN 985–5–7638–1966–0. — 108 с. ↑[1](#), [2](#)
- [5] Черкинский С. Н. // Санитарные условия выпуска сточных вод в водоёмы. — М. : Издат. лит. по строит., 1951, с. 90–106. ↑[2](#)

V. A. Znamenskiy. *The optimum scheme of calculation of a safe load on a river basin.*

ABSTRACT. Contains the description of algorithm of the decision of a problem of distribution of assimilating ability of the river between water users. Definition of a free resource and assimilating ability is made. Their numerical values are deciphered. Variants of distribution of assimilating ability of the river are shown. The example of distribution of loading on a river basin is set.

Key Words and Phrases: Waterway stream, stream of the expense of weight of substance, water economic balance, balance of the expense of weight of substance.

Образец ссылки на статью:

В. А. Знаменский. *Оптимальная схема расчёта допустимой нагрузки на бассейн реки* // Программные системы: теория и приложения : электрон. научн. журн. 2011. № 3(7), с. 29–40. URL: http://psta.psir.ru/read/psta2011_3_29-40.pdf