

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВЫНОСОМ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С РЕЧНЫМ ВОДНЫМ СТОКОМ НА ТРАНСГРАНИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

Клименко О.А., Геков В.Ф., Чмыхов А.А.

ФГБУ «Гидрохимический институт», г. Ростов-на-Дону

E-mail: info@gidrohim.com

В работе представлены предложения по усовершенствованию организации систематических гидрохимических наблюдений на трансграничных участках рек, разработанные по результатам наблюдений и расчета выноса загрязняющих веществ на трансграничных участках рек Днепр, Западная Двина и Сож за период 2010-2017 гг.

Ключевые слова: вещества, вынос, речной сток, усовершенствование наблюдений

Характеристики выноса (массопереноса) загрязняющих веществ с речным водным стоком являются существенным дополнением оценок качества воды в створах систематических гидрохимических наблюдений. Для перехода к качеству воды в данном случае используют значения сверхнормативного выноса (массопереноса) загрязняющих веществ. Весьма важной данная характеристика является для оценки влияние на качество речной воды притоков первого порядка и рассредоточенного поступления в реку загрязняющих веществ со склоновыми водами с водосбора и подземным водным стоком (количество сосредоточенного поступления загрязняющего вещества со сточными водами в связи с повсеместной обязательной их очисткой и небольшими расходами воды, как правило, в общей величине массопереноса вещества не превышает погрешности определения значений речного водного стока).

В результате исследования выноса (массопереноса) загрязняющих веществ на трансграничных участках рек Днепр, Западная Двина и Сож на российской территории и на территории Республики Беларусь за период 2015-2017 гг. было выявлено, что в створах систематических гидрохимических наблюдений в пределах многоводного и маловодного периодов внутри годового цикла или в целом в годовом цикле во многих случаях имеют место достоверные статистические связи зависимости концентрации растворенных химических веществ от расхода речной воды $C=f(Q)$.

Было также установлено, что указанные статистические связи в выделяемых характерных периодах (сезонах) годового цикла обычно нелинейны и могут иметь противоположную направленность (например, в период половодья с увеличением расхода воды концентрация загрязняющего вещества увеличивается, в остальной период с увеличением расхода воды концентрация загрязняющего вещества снижается, т.е.

сказывается эффект разбавления загрязненных вод). Пример изменения направленности статистической связи в разные периоды (сезоны) годового цикла в одном и том же створе наблюдения, полученный с использованием разработанной в ФГБУ «Гидрохимический институт» программы для персонального компьютера (ПК) показан на рисунках 1, 2.

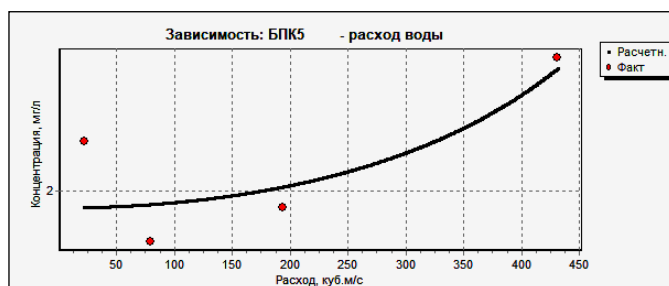


Рисунок 1 – Статистическая связь «расход речной воды – значение БПК₅» (коэффициент корреляции $r=0,74$) в р. Западная Двина у г. Велиж (Республика Беларусь) в период высоких расходов воды в реке (03-08 месяцы) в 2015 г.

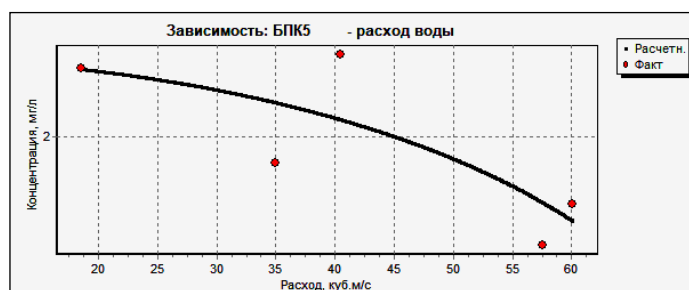


Рисунок 2 - Статистическая связь «расход речной воды – значение БПК₅» (коэффициент корреляции $r=0,77$) в р. Западная Двина у г. Велиж (Республика Беларусь) в период низких расходов воды в реке (09-02 месяцы) в 2015 г.

В конкретные годы в целом в одном и том же створе также может меняться направленность статистической связи типа $C=f(Q)$, что указывает на возможное изменение условий формирования выноса рассматриваемого вещества в разные годы наблюдений (рисунки 3, 4).

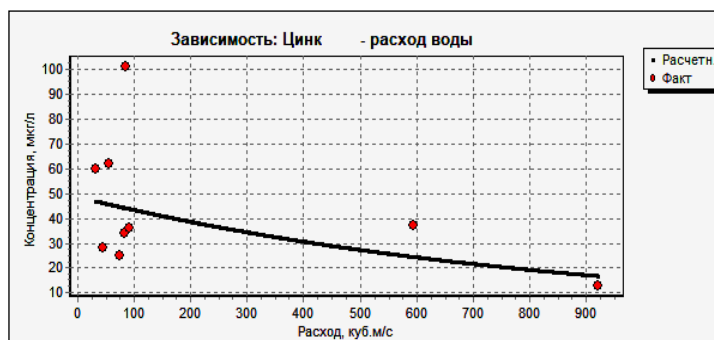


Рисунок 3 - Зависимость концентраций соединений цинка от расхода речной воды (коэффициент корреляции $r=0,65$) в р. Западная Двина 0,5 км выше пгт. Сураж (Республика Беларусь) в течение 2011 г.

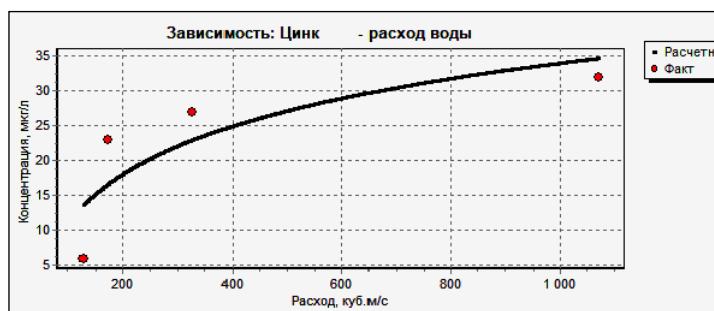


Рисунок 4 - Зависимость концентраций соединений цинка от расхода речной воды (коэффициент корреляции $r=0,92$) в р. Западная Двина 0,5 км выше пгт. Сураж (Республика Беларусь) в течение 2012 г.

Не учёт при расчете выноса вещества с речным водным стоком наличия достоверных (значимых для расчета выноса) статистических связей типа ($C=f(Q)$) в случаях малого количества проведенных наблюдений при высоких расходах речной воды в случае положительной направленности зависимости концентраций вещества от расхода воды может приводить к существенному занижению рассчитанных значений выноса вещества, при отрицательной направленности данной зависимости – к завышению рассчитанных значений выноса вещества.

Примечание - Статистическую связь типа $C=f(Q)$ для расчета выноса (массопереноса) вещества рекомендуется принимать значимой, если коэффициент корреляции составляет не менее $r=0,60$ и отношение среднеквадратической ошибки связи к средней концентрации вещества равно не более $0,70$. Если связь оказалась незначимой, то расчет выноса вещества выполняется с использованием средней концентрации вещества за рассматриваемый период.

Анализ вида статистических связей типа ($C=f(Q)$) позволяет ориентировочно оценивать условия формирования качества речной воды (например, существенность или несущественность влияния на качество речной воды в рассматриваемый период годового цикла загрязненных водосборов, расположенных выше створа наблюдения).

На исследованных трансграничных участках рек невозможность установления указанных статистических связей или получение в той или иной степени их искаженного вида обычно была связана с недостаточностью наблюдений при повышенных (особенно близких к максимальным) расходах речной воды в период половодья, а также в период отдельных значимо увеличивающих расход речной воды паводков. Кроме указанного, нередко имели место наблюдения в приграничных створах всего 3-4 раза в год, что для расчетов выноса (массопереноса) загрязняющих веществ недопустимо. В таблице 1 приведены годы с наиболее высокой разницей между измеренными в году максимальными расходами речной воды и максимальными расходами при проведении гидрохимических наблюдений на трансграничных участках рек. Как следует из этой таблицы, во многих случаях пробы речной воды отбирались далеко не при наблюдаемых

максимальных расходах речной воды, что весьма затрудняло или исключало возможность установления и использования для расчета выноса (массопереноса) загрязняющих веществ достоверных статистических связей типа $(C=f(Q))$.

Таблица 1 - Информация о максимальных расходах речной воды при проведении гидрохимических наблюдений и измеренных максимальных расходах речной воды в приграничных створах на территории Республики Беларусь и Российской Федерации

Год наблюдений	Максимальный расход воды при проведенных гидрохимических наблюдениях, м ³ /с	Максимальный измеренный в году расход воды, м ³ /с
Река Днепр		
Республика Беларусь		
2012	318	742
2013	428	959
Российская Федерация		
2012	462	640
2013	478	683
Река Западная Двина		
Республика Беларусь		
2010	646	1245
2012	1071	1511
2013	435	1502
Российская Федерация		
2013	664	1290
2016	266	442
Река Сож		
Республика Беларусь		
2010	49,9	161,8
2012	114,7	161,2
Российская Федерация		
2010	48,6	124
2011	18,2	162
2016	10,6	82,1

Поскольку массоперенос загрязняющего вещества, прежде всего, зависит от расходов речной воды, то естественно наблюдениями в обязательном порядке должны быть охвачены все выделяемые в годовом цикле характерные гидрологические периоды (сезоны), связанные как с существенным изменением расходов речной воды, так и с наличием или отсутствием на реке ледового покрытия. В частности, к таким характерным периодам следует относить начало половодья (чаще всего в этот период происходит основной рост массопереноса загрязняющих веществ в годовом цикле), спад половодья (в конце половодья в талых водах возможно существенное изменение концентраций растворенных загрязняющих веществ) и период расходов речной воды, близких к пику половодья (в этот период чаще всего наблюдаются максимумы переноса загрязняющих веществ). Результаты наблюдений в указанные периоды крайне необходимы для корректного установления нелинейных статистических связей типа $(C=f(Q))$. В целом, на период половодья должно приходиться не менее пяти гидрохимических съемок. Далее

следует выделять зимний меженный период, когда река покрыта льдом. В этот период пробы должны отбираться в начале установления ледяного покрова реки, в середине и конце этого периода (в данный период процессы самоочищения речной воды от загрязняющих веществ минимальны). Затем следует выделять летне-осенний период, когда процессы биохимического самоочищения речной воды наиболее интенсивны: пробы должны отбираться в начале, середине и конце этого периода. В этом периоде пробы должны отбираться при «сухой» погоде (имеется в виду отсутствие стокообразующих осадков непосредственно выше створа наблюдения в течение не менее трех суток для исключения возможного влияния на формирование концентраций вещества в сечении реки образующихся струй с существенно отличающимся качеством воды в результате кратковременного нестационарного поступления в реку загрязняющих веществ с местных водосборов). Всего в летне-осенний период должно проводиться не менее четырех гидрохимических съемок. При этом крайне желательно проведение хотя бы двух съемок в период повышенных расходов речной воды, связанных с влиянием дождевых паводков (имеется в виду выпадение стокообразующих осадков на территории водосборов, расположенных существенно выше створа наблюдения). В целом с учетом наблюдений в период дождевых паводков оптимальное количество съемок в летне-осенний период должно составить 4-5 (минимум – 4).

Вышеприведенное распределение сроков наблюдения должно обеспечить более высокую вероятность установления статистических связей типа $(C=f(Q))$ и условий формирования химического состава речной воды для представительного расчета выноса (массопереноса) загрязняющих веществ через приграничные створы наблюдений.

При наличии установленных статистических связей типа $(C=f(Q))$, используя полученные уравнения регрессии, рекомендуется рассчитывать ежесуточные значения выноса интересующего загрязняющего вещества с последующим их суммированием в выделенном сезоне (сезонах) (для данной процедуры необходимо наличие в створе наблюдения ежесуточных данных о расходах речной воды). Вынос вещества в целом за годовой цикл получают суммированием полученных данных по выносу за отдельные сезоны (в отдельных сезонах достоверная связь типа $(C=f(Q))$ может отсутствовать). В конечном счете при таком подходе к обработке результатов наблюдения будут учтены особенности прохождения половодья, а также периоды дождевых паводков, в том числе даже периоды дождевых паводков, в которых наблюдения не проводились.

Пример расчета связи типа $(C=f(Q))$, полученной с использованием программы для ПК, иллюстрирующий направленность статистической связи и характер изменения ежесуточных значений массопереноса при «растянутом» периоде половодья показан на рисунках 5, 6.

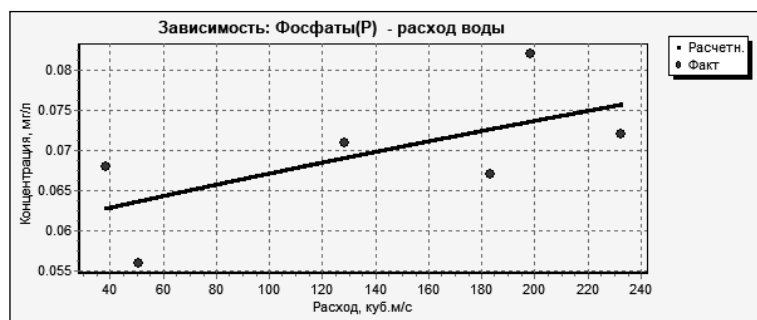


Рисунок 5 - Статистическая связь зависимости концентраций фосфора фосфатов от расхода воды в р. Днепр (коэффициент корреляции $r=0,64$) в черте поселка Сарвиры (Республика Беларусь) в период высоких расходов воды в реке (03-08 месяцы) в 2016 г.

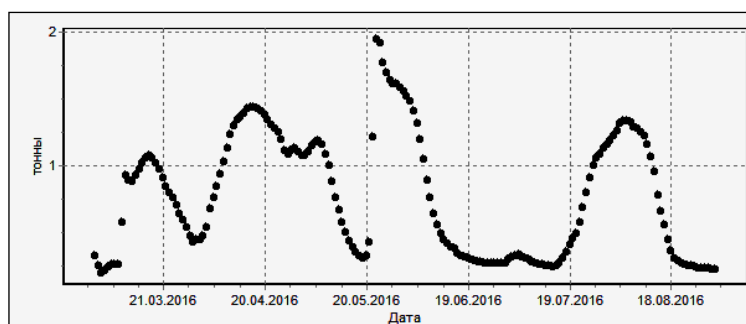


Рисунок 6 – Ежесуточные значения выноса фосфора фосфатов в р. Днепр в черте поселка Сарвиры (Республика Беларусь) в период высоких расходов воды в реке в годовом цикле (03-08 месяцы) в многоводном 2016 г.

Соблюдение требований к выбору местоположения и способов отбора проб воды в приграничных створах может играть решающую роль в получении представительных результатов наблюдений за качеством речной воды и выносом (массопереносом) загрязняющих веществ в этих створах. В случае близкого (менее 3-5 км) расположения источников стационарного сосредоточенного поступления загрязняющих веществ от рассматриваемого приграничного створа (сточные воды, загрязненные притоки первого порядка) число вертикалей наблюдения в приграничном створе должно быть не менее трех (в стрежне потока и на среднем расстоянии от каждого берега до стрежня потока) (горизонты на вертикалях должны намечаться в соответствии с положениями, изложенными в РД 52.24.309-2016 «Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши»).

Примечание – При выборе вертикалей для отбора проб воды следует иметь в виду, что качество воды должно оцениваться по содержанию загрязняющего вещества в створе наблюдения в максимально загрязненной струе (местоположение этой струи в створе наблюдения в течение года может широко варьировать), а для расчета выноса вещества требуется определение среднего содержания вещества в створе наблюдения.

Отбор проб речной воды должен проводиться батометром медленного наполнения. В качестве достаточно гарантированных значений времени продолжительности отбора пробы воды таким батометром можно брать: для малых рек (при средней глубине менее 1 м) 2-3 мин, средних – 10 мин, больших – 15 мин. Отбор проб можно также проводить

обычным батометром путем отбора 10-15 равных порций воды в течение указанных промежутков времени для организации сливной пробы в одной емкости. Растворенный кислород, рН и температура воды должны определяться непосредственно в реке с помощью переносных приборов.

В пределах 1 суток время отбора проб воды следует назначать в зависимости от особенностей режима поступления загрязняющих веществ и времени добегания загрязненных масс воды от источника загрязнения до рассматриваемого створа наблюдения (прежде всего, с учетом режима сброса максимального объема сточных вод от вышерасположенных предприятий, а также с учетом времени суток интенсивного таяния снега на загрязненной части водосбора выше створа наблюдения).

Разработанная в ФГБУ «ГХИ» программа для ПК («ГХМ-вынос-2019») позволяет оперативно выполнять расчеты выноса загрязняющего вещества с установлением связей типа ($C=f(Q)$), с выделением на основе статистического анализа наиболее характерных сезонов изменения концентраций загрязняющего вещества в годовом цикле, с оценкой наличия или отсутствия струйности в створе наблюдения, с выполнением специального расчета средних концентраций загрязняющего вещества, обуславливающих его вынос с речным водным стоком, оценкой его сверхнормативного выноса, а также с определением возможной погрешности полученных значений выноса (массопереноса) загрязняющих веществ за рассматриваемые периоды времени внутри года и за год в целом.

Предполагается, что внедрение и использование разработанных предложений для усовершенствования мониторинга за качеством речных вод позволит повысить представительность проводимых гидрохимических наблюдений в приграничных створах рек с целью получения более надежных оценок выноса загрязняющих веществ, оценок качества речных вод, а также позволит выполнять оптимизацию наблюдений и более обоснованно планировать и осуществлять водоохранных мероприятий по снижению загрязненности воды на интересующих трансграничных участках рек.

Работа выполнена по результатам НИР в рамках Программы Союзного государства «Развитие системы гидрометеорологической безопасности Союзного государства» на 2017-2021 гг.

IMPROVING OBSERVATIONS OF THE TRANSFER OF CHEMICALS WITH RIVER WATER RUNOFF ON CROSS-BORDER SECTIONS OF RIVERS

*Klimenko O.A., Gekov V.F.
Hydrochemical Institute, Rostov-on-Don
E-mail: info@gidrohim.com*

Based on the analysis of observations and calculation of the transfer of pollutants on the cross-border sections of the rivers Dnipro, Western Dvina and Sozh for the period 2010-2017, proposals for improvement of the organization of systematic hydrochemical observations on cross-border sections of rivers were developed and presented in this report.

Keywords: substances, takeaways, river runoff, observations