

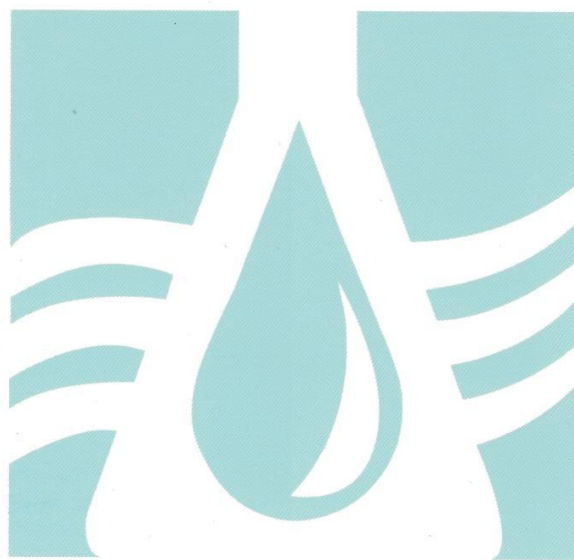
**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ И МОНИТОРИНГУ  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОХИМИИ И МОНИТОРИНГА  
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД**

**СБОРНИК СТАТЕЙ, ПОСВЯЩЕННЫЙ 100-ЛЕТИЮ СО ДНЯ  
ОБРАЗОВАНИЯ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА**

**Часть 2**



Ростов-на-Дону  
2020

### **СЕКЦИЯ 3. НАУЧНЫЕ И ПРАВОВЫЕ ОСНОВЫ МОНИТОРИНГА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ И ТРАНСГРАНИЧНЫХ ВОД**

#### **К УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ И РАСЧЕТА МАССОПЕРЕНОСА (ВЫНОСА) ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ С РЕЧНЫМ ВОДНЫМ СТОКОМ**

О.А. Клименко, В.Ф. Геков

*Гидрохимический институт, Ростов-на-Дону, [info@gidrohim.com](mailto:info@gidrohim.com)*

Для оценки качества речных вод обычно используют два вида информации: результаты наблюдений за максимальной концентрацией загрязняющих веществ в створе наблюдения (по данным в максимально загрязненной струе) и данные в этом или другом интересующем створе по рассчитанному значению массопереноса (выноса) загрязняющих веществ. Для перехода к качеству воды в обоих случаях используют действующие нормативы качества природных вод. В первом случае для перехода к качеству воды обычно рассматривают степень превышения норматива максимальной концентрацией основного загрязняющего вещества, во втором случае - значение сверхнормативного массопереноса (выноса) с речным водным стоком наиболее приоритетного загрязняющего вещества. Первая оценка обычно используется для определения в контрольном створе влияния на качество речной воды одного или совокупности вышерасположенных сосредоточенных выпусков сточных вод. Вторая оценка используется для характеристики, главным образом, влияние на качество речной воды притоков первого порядка и рассредоточенного поступления в реку загрязняющих веществ со склоновыми водами с водосбора и подземным водным стоком (сосредоточенные выпуски загрязняющих веществ со сточными водами в массопереносе, как правило, не превышают погрешности определения значений речного водного стока).

Первая оценка в связи с интенсивным влиянием на формирование качества речной воды ниже сброса сточных вод процессов смешения и разбавления загрязненных масс воды, а также химико-биологическими процессов трансформации загрязняющих веществ весьма существенно ограничена рассматриваемым контрольным створом наблюдения, ниже которого для оценки качества воды, как правило, требуется получение дополнительных результатов наблюдений в нижерасположенных створах.

Вторая оценка не связана с учетом процессов смешения и разбавления загрязненных масс воды, и поэтому может быть более представительной на довольно большом речном участке ниже рассматриваемого створа систематических наблюдений. В настоящее время для повышения представительности второй оценки требуется усовершенствование организации наблюдений за массопереносом (выносом) отдельных химических веществ и усовершенствование методики расчета значений их массопереноса.

В процессе выполнения НИР по оценке сопоставимости результатов наблюдения на трансграничных участках рек на территории Российской Федерации и Республики Беларусь было выявлено, что в створах систематических гидрохимических наблюдений в пределах многоводного и маловодного периодов в годовом цикле во многих случаях для загрязняющих веществ имеют место достоверные статистические связи типа «расход речной воды – концентрация химического вещества». Причем указанные статистические связи в этих периодах обычно нелинейны и могут иметь противоположную направленность (т.е. 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). Наиболее типичный графический вид таких противоположно направленных статических зависимостей, полученных по разработанной в ФГБУ «Гидрохимический институт» для персонального компьютера программе «ГХМ-вынос-2019», показан на рисунках 1, 2. В отдельные годы вид таких зависимостей в створе наблюдения может изменяться.

В случаях неравномерного проведения отбора проб воды в период половодья, с большим их числом в начальный период половодья, расчетное значение выноса с использованием среднеарифметической концентрации рассматриваемого вещества при положительной направленности процесса (рисунок 1) может оказаться существенно заниженным, а при отрицательной направленности процесса (рисунок 2) – существенно завышенным.

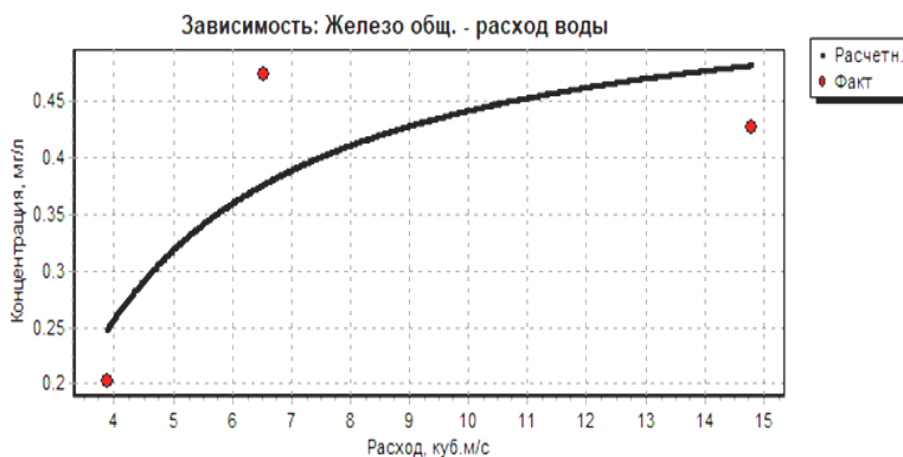


Рисунок 1 – Пример положительной направленности статистической связи «расход воды – концентрация вещества». Российская Федерация. Река Сож в районе пгт. Хиславичи в период 03-06 месяцев 2015 года. Показатель – железо общее. Коэффициент корреляции 0,81. Уравнение регрессии  $Y = 0,566 - (1,2362/X)$ .

Рассмотрение статистических связей типа «расход воды - концентрация вещества» позволило ориентировочно оценивать условия формирования качества речной воды (например, существенность или несущественность

влияния на качество речной воды в рассматриваемый период загрязненного водосбора). На рассмотренных 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 при близких к пиковым) расходах речной воды в период половодья, а также в период отдельных значимо увеличивающих расход речной воды дождевых паводков.

В общем случае для различных участков рек, помимо указанного, невозможность установления рассматриваемых статистических таких связей может быть связана с их существенной (интенсивной) зарегулированностью.

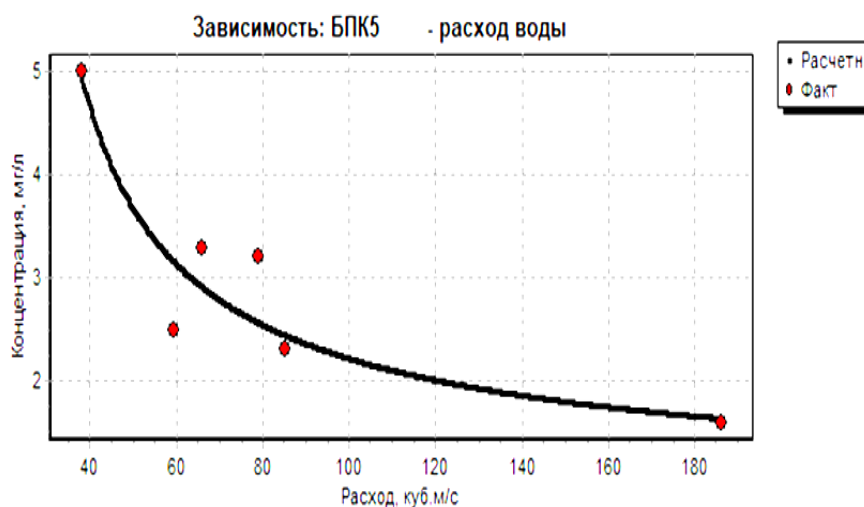


Рисунок 2 – Пример отрицательной направленности статистической связи «расход воды – концентрация вещества. Река Днепр ниже г. Смоленска в период 09-02 месяцев 2012 года. Показатель – БПК<sub>5</sub>.

Коэффициент корреляции 0,93.

Уравнение регрессии  $Y=1/(-0,7374 + 0,594 \lg X)$

На загрязняемых сточными водами участках реки в отдельных случаях невозможность установления таких статистических связей может быть связана с проведением гидрохимических съемок с большим разнесением их во времени суток или отбор проб воды в период выпадения местных осадков. Дело в том, что суточные изменения концентраций веществ на существенно загрязненных участках рек нередко могут существенно превышать их сезонные колебания.

Исходя из вышеприведенного, в целях совершенствования наблюдений за массопереносом (выносом) загрязняющих веществ с речным водным стоком требуется организация гидрохимических съемок в период половодья в количестве не менее пяти с учетом сроков подъема и спада половодья, а число наблюдений в году должно составлять не менее двенадцати. Отбор проб воды должен проводиться примерно в одно и то же время суток при отсутствии местного выпадения осадков.

Для расчета массопереноса (выноса) химических веществ с выявлением и использованием статистических связей типа «расход воды - концентрация вещества» требуется также наличие среднесуточных расходов воды в рассматриваемом створе наблюдения за расчетный период времени. При этом расходы воды, сопровождающие гидрохимические данные, рекомендуется корректировать по окончательно полученным среднесуточным расходам воды в рассматриваемом створе наблюдения.

В результате влияния загрязненного водосбора, притоков и сброса сточных вод, в створе систематических наблюдений может иметь место струйность с массами воды, существенно отличающимися по концентрациям загрязняющих веществ. В таких случаях, если не учитывать струйность (т.е. не учитывать долю расхода этих струй в общем расходе речной воды), не исключена вероятность некорректного расчета массопереноса (выноса) рассматриваемого вещества. Чтобы избежать данного вида ошибок в расчете выноса вещества, требуется проведение систематических наблюдений в сечении реки не менее, чем в трех вертикалях.

При наличии достоверных статистических связей типа «расход воды - концентрация вещества» в выделяемых наиболее характерных сезонах года появляется возможность с использованием полученных уравнений регрессии вычислять посуточный вынос рассматриваемого загрязняющего вещества с последующим расчетом посезонного и годового выноса. При таких расчетах выноса вещества будут учтены даже не наблюдаемые внутригодовые паводки, а также неравномерность изменения расходов речной воды в период половодья, что, естественно, позволяет получать более точные значения массопереноса (выноса) вещества за интересующие периоды времени (примеры посуточного расчета значений массопереноса по выделенным сезонам показаны на рисунках 3, 4; статистические связи для этих расчетов взяты с учетом данных, приведенных на рисунках 1, 2).

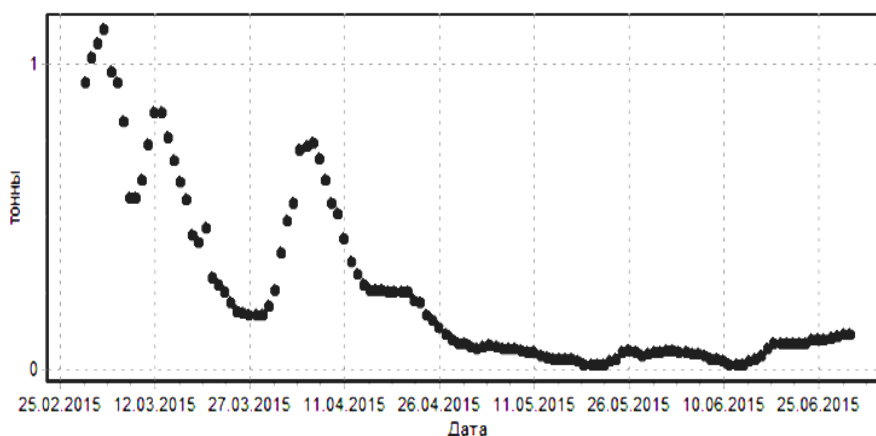


Рисунок 3 – Пример расчета посуточных значений выноса железа р. Сож в районе пгт. Хиславичи по восстановленным среднесуточным концентрациям по статистической связи «расход воды – концентрация вещества» за период 03-06 месяцев 2015 г.

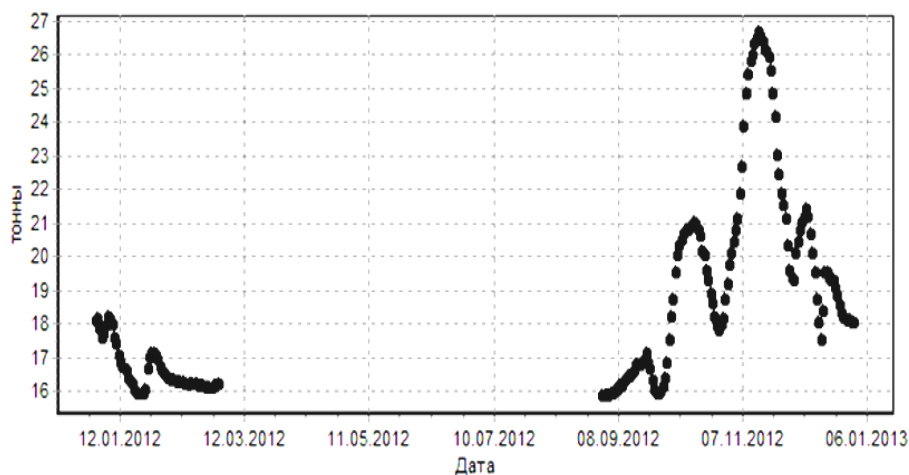


Рисунок 4 – Пример расчета посуточных значений выноса легкоокисляемых органических веществ (по БПК<sub>5</sub>), полученных для реки Днепр ниже г. Смоленска по восстановленным среднесуточным концентрациям по статистической связи «расход воды – концентрация вещества» за период 09-02 месяцев 2012 г. (разрыв в посуточных значениях выноса на графике связан с тем, что зимний период взят не переходящим на следующий год)

Рассчитанные значения массопереноса (выноса) с использованием указанных статистических связей позволяют путем деления значения годового выноса вещества на годовое значение речного водного стока получить более представительную среднегодовую концентрацию вещества, обуславливающую его массоперенос. При этом характерно, что чем более криволинейна статистическая связь, тем значительнее полученная таким образом среднегодовая концентрация будет отличаться от среднеарифметического или медианного среднегодового значения концентрации этого вещества.

Предлагаемая среднегодовая концентрация вещества позволяет более представительно оценивать тенденции изменения во времени его массопереноса и качества воды в целом. В качестве примера на рисунке 5 показаны графики изменения во времени значений средней концентрации легкоокисляемых органических веществ (по БПК<sub>5</sub>) на реке Днепр в трансграничных створах Российской Федерации и Республики Беларусь. По полиномиальным трендам изменения среднегодовых значений БПК<sub>5</sub> можно достаточно достоверно оценить направленность тенденций изменения качества воды в р. Днепр в течение семилетнего периода. Так для Республики Беларусь однозначно было характерно снижение к 2017 г. загрязненности реки Днепр по значениям БПК<sub>5</sub> до уровня ниже ПДК (ПДК = 2 мг/л), в то время как в створе Российской Федерации к 2017 г., напротив, наметился рост загрязненности речной воды легкоокисляемыми органическими веществами (по БПК<sub>5</sub>).

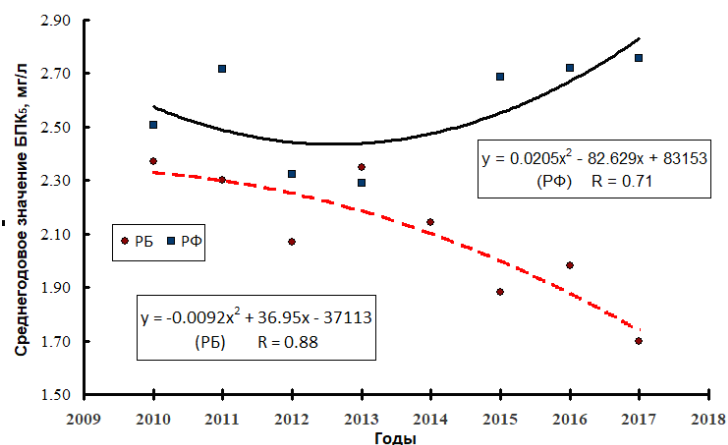


Рисунок 5 – Пример расчета полиномиальных трендов изменения среднегодовых значений БПК<sub>5</sub> за период 2010-2017 гг. в приграничных створах р. Днепр на территории Республики Беларусь (РБ) и Российской Федерации (РФ).

Программа «ГХМ-вынос-2019» позволяет проводить посезонно, за год или за интересующее многолетие расчет массопереноса (выноса) химического вещества с выявлением и использованием статистических связей типа «расход речной воды – концентрация химического вещества», выявлением и учетом струйности водных масс в сечении реки, расчетом погрешности рассчитанных значений выноса, а также расчетом среднегодовых концентраций, обуславливающих массоперенос интересующих химических веществ. В программе предусмотрена автоматическая корректировка расходов воды, сопровождающих гидрохимические данные, по имеющимся среднесуточным расходам воды в рассматриваемом створе наблюдения.

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