

УДК 502/504

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТНОШЕНИЯ
ХИМИЧЕСКОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ КИСЛОРОДА
К КОНЦЕНТРАЦИЯМ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ
(ПАРАМЕТРА ХПК/ВВ)
В ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ
ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА**

^{1,2}Мискевич И.В., ^{1,3}Нецветаева О.П., ²Кузнецов Е.А.

¹ФГБУН Институт океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук, Москва,
e-mail: szoiran@mail.ru;

²ФГАУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: Kuznetsov2302@yandex.ru;

³Национальный парк «Русская Арктика», Архангельск

Рассмотрены результаты исследований по использованию соотношения параметра ХПК и концентраций взвешенных веществ (ХПК/ВВ) в речных водах и в устьях рек европейского севера России. При этом величина ХПК рассматривалась как индикатор суммарного содержания органических веществ в поверхностных водах. Получено, что параметр ХПК/ВВ может использоваться для качественной оценки вклада природных и антропогенных факторов в загрязнение водной среды. Приведен пример для определения влияния сброса дренажных вод с месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова на Беломорско-Кулойском плато, которые содержат высокие концентрации сапонита. Рассмотрена изменчивость параметра ХПК/ВВ в зоне смешения речных и морских вод в устьях Онеги и Северной Двины в меженные периоды. Зафиксировано его возрастание по мере увеличения солёности устьевых вод. Наиболее интенсивно такое увеличение отмечается на гравитационной ступени маргинального фильтра в диапазоне солёности менее 5 ‰. Предложено использовать рассматриваемое соотношение для контроля последствия дампинга грунта, вынимаемого при дноуглублении морских судоходных каналов. Ожидается, что на графиках связи параметра ХПК/ВВ и солёности его постепенное возрастание будет деформировано за счет появления локального максимума на границе гравитационной и коагуляционно-сорбционной ступеней, или только в зоне второй ступени маргинального фильтра на участке дампинга грунта. Сделан вывод о возможности эффективного использования параметра ХПК/ВВ для проведения геоэкологических исследований водных объектов таежной зоны. Для них характерно повышенное содержание органики и взвесей, формируемое за счет как антропогенных, так и природных факторов.

Ключевые слова: ХПК, взвесь, соотношение, реки, сточные воды, сезон, месторождение алмазов, устья рек, солёность, маргинальный фильтр

**USING THE RATIO OF CHEMICAL OXYGEN CONSUMPTION
TO SUSPENDED MATTER CONCENTRATIONS (COD/BB PARAMETER)
IN GEOECOLOGICAL STUDIES OF WATER BODIES THE EUROPEAN NORTH**

^{1,2}Miskevich I.V., ^{1,3}Netsvetaeva O.P., ²Kuznetsov E.A.

¹Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, e-mail: szoiran@mail.ru;

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk,
e-mail: Kuznetsov2302@yandex.ru;

³Russian Arctic National Park, Arkhangelsk

The results of studies on the use of the ratio of the COD parameter and the concentration of suspended solids (COD/SS) in river waters and in the mouths of the rivers of the European North of Russia are considered. At the same time, the COD value was considered as an indicator of the total content of organic substances in surface waters. It was found that the COD/SS parameter can be used for a qualitative assessment of the contribution of natural and anthropogenic factors to the pollution of the aquatic environment. An example is given to determine the impact of the discharge of drainage water from the Lomonosov diamond deposit on the White Sea Kuloy plateau, which contain high concentrations of saponite. The variability of the COD/SS parameter in the zone of mixing of river and sea waters at the mouths of the Onega and Northern Dvina rivers during low-water periods is considered. Its increase was recorded as the salinity of estuarine waters increased. Such an increase is most intense at the gravitational step of the marginal filter in the salinity range of less than 5 ‰. It is proposed to use the ratio under consideration to control the consequences of dumping of soil removed during dredging of sea navigation channels. It is expected that on the graphs of the relationship between the COD/SS parameter and salinity, its gradual increase will be deformed due to the appearance of a local maximum at the boundary of the gravitational and coagulation-sorption stages, or only in the zone of the second stage of the marginal filter at the soil dumping site. The conclusion is made about the possibility of effective use of the COD/SS parameter for geoeological research of water bodies in the taiga zone. They are characterized by an increased content of organic matter and suspended matter, which is formed due to both anthropogenic and natural factors.

Keywords: COD, particulate matter, ratio, rivers, wastewater, season, diamond deposit, river mouths, salinity, marginal filter

Использование предельно допустимых концентраций (ПДК) для оценки качества поверхностных вод часто осложняется влиянием на контролируемые показатели как антропогенных, так и природных факторов. К таким показателям, в частности, относятся взвешенные вещества (ВВ), химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода (БПК), величина рН, железо и ряд других ингредиентов. При невозможности разделения такого влияния могут возникать серьезные ошибки в тактике и стратегии природоохранной деятельности.

Целью представленных исследований было выяснение возможностей использования параметра (соотношения) ХПК/ВВ для решения геоэкологических задач применительно к водным объектам. Для этих показателей, в частности, имеется большой массив архивных данных по многолетним наблюдениям (за 30–50 лет) Росгидромета на большом количестве рек и озер на территории России. Они также входят в обязательный перечень мониторинговых наблюдений при контроле загрязнения сточных вод промышленных и коммунальных предприятий. Например, ХПК и взвешенные вещества являются опорными показателями при регулировании водопользования на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности [1].

Параметр ХПК является индикатором наличия в водной среде суммарного количества органических веществ. Он измеряется в молекулярной концентрации кислорода, потребляемого на окисление органики в определенном объеме воды (мгО/л), и для вычисления концентрации органических веществ величину ХПК необходимо умножить на коэффициент, равный 0,75 [2]. Возрастание этого показателя в поверхностных водах за счет антропогенного влияния происходит при сбросах сточных вод, а также дренажа территорий интенсивной хозяйственной деятельности, не оборудованных ливневой канализацией. Природными источниками ХПК служат процессы выщелачивания органики из почвенно-растительного покрова, поступление в водные объекты частиц почв и продуктов разложения растительности за счет ливневых дождей и талых вод, эрозии береговой зоны. Возрастание величины ХПК может быть связано и с гидробиологическими процессами, например, при вспышке развития фитопланктона. Наиболее высокие величины ХПК природного генезиса

(до 50–100 мгО/л и более) характерны для северной зоны тайги, где процессы минерализации органики получают сравнительно малое развитие.

Антропогенными источниками поступления взвеси в поверхностные воды служат сбросы сточных вод, включая дренажные стоки, дноуглубительные работы и дампинг вынутаго грунта, карьерный способ разработки месторождений алмазов, гидроразрыв грунта при добыче золота и ряд других технологий добычи полезных ископаемых. Ее природными источниками служат взмучивание донных отложений и разрушение (размыв) берегов водных объектов за счет гидродинамических факторов (ветрового волнения, высоких скоростей течений, паводковых явлений, ливневых дождей), а также различные эрозийные процессы, особенно селевые явления.

В табл. 1 представлены статистики для рассматриваемого параметра для устьев Онеги и Северной Двины в Белом море, а на рис. 1 представлена его связь с распределением солености в зоне смешения морских и речных вод. Были выбраны периоды, когда в указанных устьях рек не производились гидротехнические работы.

Сразу необходимо отметить наличие более высоких значений параметра ХПК/ВВ в устье р. Северной Двины (в дельтовой протоке Маймакса) по сравнению с его величинами в устье р. Онеги. Это обусловлено тем, что протока Маймакса находится в зоне влияния сточных вод Архангельска и Новодвинска, что обеспечивает дополнительное антропогенное поступление в речные (устьевые) воды органических веществ. Данное предположение также подтверждается возрастанием содержания легкорасщелимой органики, идентифицируемой по показателю БПК₅, при увеличении концентраций взвешенных веществ в водах исследуемой протоки [3].

В устье р. Онеги промышленные и коммунальные стоки одноименного города не поступают (они выводятся в Онежский залив), величины ХПК здесь сравнительно низкие, органика в водной среде имеет преимущественно природное происхождение.

Несмотря на заметные различия в экосистемах устьев рассматриваемых рек и антропогенном влиянии на качество их вод связь параметра ХПК/ВВ с распределением солености в их зонах смешения речных и морских вод имеет схожий характер (рис. 1). Ее, в частности, можно аппроксимировать логарифмическим уравнением.

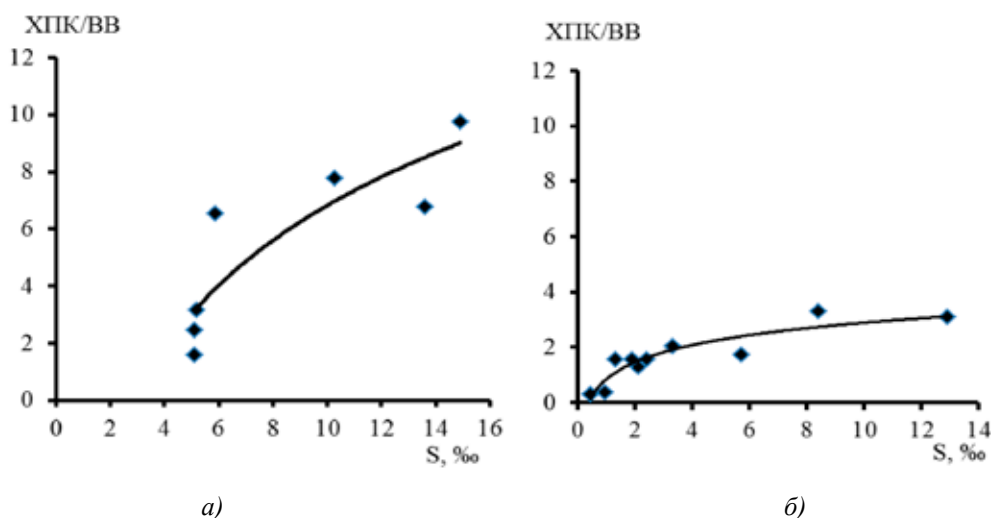


Рис. 1. Графики связи отношения ХПК к концентрациям взвешенных веществ с распределением солености в протоке Маймакса в дельте Северной Двины (а) в марте и в устье Онеги (б) в августе 2022 г.

Таблица 1

Статистические характеристики изменчивости отношения ХПК к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в зонах смешения речных и морских вод в устьях рек Белого моря в меженные периоды

Статистика	Устье р. Онеги (август 2022 г.)	Устье р. Северной Двины (март 2022 г.)
Среднее значение	1,6	5,4
Стандартное отклонение	0,9	3,1
Медиана	1,6	6,5
25 % точка	1,1	2,8
75 % точка	1,9	7,3
Минимум	0,3	1,6
Максимум	3,3	9,8
Количество наблюдений	15	7

Если рассматривать такую связь в рамках модели маргинального фильтра академика А.П. Лисицына, то получаем, что наиболее заметное возрастание соотношения ХПК/ВВ наблюдается на его гравитационной ступени. Оно отмечается и на последующей коагуляционно-сорбционной ступени, но увеличение этого параметра при увеличении солености ослабевает. Механизм данного процесса можно трактовать

следующим образом. По мере смешения речных и морских вод наблюдается снижение концентраций взвешенных частиц за счет их седиментации и турбулентного рассеивания, на растворимые соединения, в том числе дающие вклад в формирование величины ХПК, влияет лишь последний процесс. Седиментация взвесей в устьевых водах происходит быстрее, чем разбавление растворимых веществ, т.е. возрастание параметра ХПК/ВВ в зоне смешения речных и морских вод идет естественным путем за счет специфики гидродинамических процессов.

Если ориентироваться на данные исследований маргинального фильтра устья р. Северной Двины [4], то дампинг грунта в устьях рассматриваемых рек, вынужденного при производстве дноуглубительных работ, производится на второй ступени маргинального фильтра в диапазоне солености 5–20 ‰. Такой диапазон солености характерен для устьевых взморьев этих рек в летне-осеннюю межень. При проведении операций дампинга грунта, вероятнее всего, следует ожидать снижение величины параметра ХПК/ВВ за счет увеличения вклада в состав взвешенных веществ минеральных частиц из вынимаемого грунта судоводных каналов, расположенных вне территорий городов и удаленных от точек выпуска сточных вод. На небольших пространственных интервалах (десятки-сотни метров) процессы седиментации взвесей и турбулентного рассеивания нерастворимых и раство-

римых веществ не успевают формировать тенденцию к уменьшению параметра ХПК/ВВ по мере возрастания солёности устьевых вод. В данной ситуации можно ожидать кардинальных изменений в графиках, представленных на рис. 1, в первую очередь за счет появления локального минимума в диапазоне солёности, соответствующем участку сброса грунта, вынутого на судодном канале.

При сбросе грунта, вынутого на сильно заиленных участках морского порта в зонах с наличием хорошо выраженного антропогенного влияния, не исключается формирование локального максимума параметра ХПК/ВВ на фоне тренда его постепенного возрастания по мере увеличения солёности устьевых вод. Но это возможно лишь при сильном загрязнении органикой иловых отложений портовых акваторий, что чаще всего характерно для городской территории или участков выпуска сточных вод. Эти предположения планируются уточнить при проведении дальнейших исследований.

Вклад минеральных частиц в повышенные концентрации взвеси в поверхностных

водах обычно наиболее характерен для геологоразведочных работ и промышленного освоения месторождений некоторых полезных ископаемых. В подобных ситуациях в водотоках таежной зоны с наличием высоких величин ХПК в изменения параметра ХПК/ВВ должны наблюдаться заметные различия на фоновом и контрольном створах. Такое предположение подтверждают исследования р. Зимней Золотицы на Беломорско-Кулойском плато, где ведется добыча алмазов. В статье [5] приведены результаты статистических расчетов по изменчивости концентраций взвеси по мониторинговым наблюдениям на этой реке в районе сброса дренажных вод с месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова. Они не позволяют делать какие-либо обоснованные выводы об их влиянии на повышение мутности речных вод. Однако результаты подобных расчетов для параметра ХПК/ВВ дали другой результат (табл. 2). В меженные периоды его величина на контрольном створе ниже сброса дренажных стоков становится значительно ниже, чем на фоновом створе, что указывает на формирование на нем доминанты минеральной взвеси.

Таблица 2

Статистические характеристики отношения ХПК к концентрациям взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) в р. Золотице в различные сезоны

Статистики	Сезоны			
	Зима	Весна	Лето	Осень
Створ 156 км выше устья реки (фоновый створ)				
Среднее значение	86,18	19,59	26,85	32,26
Стандартное отклонение	91,00	22,92	38,96	34,45
Медиана	71,83	9,63	4,35	15,92
Нижний квартиль (25 %)	37,52	6,51	4,35	12,47
Верхний квартиль (75 %)	127,67	22,71	38,09	43,88
Максимальное значение	183,50	56,33	71,83	71,83
Минимальное значение	3,20	2,79	4,35	9,01
Количество наблюдений	3	8	5	3
Створ 152 км выше устья реки (контрольный створ)				
Среднее значение	7,63	13,92	3,14	12,11
Стандартное отклонение	7,07	16,89	0,60	16,52
Медиана	6,69	6,43	3,14	12,11
Нижний квартиль (25 %)	1,96	5,75	2,93	6,27
Верхний квартиль (75 %)	12,50	14,42	3,35	17,95
Максимальное значение	16,92	42,75	3,56	23,79
Минимальное значение	0,10	0,26	2,71	0,42
Количество наблюдений	12	7	3	4

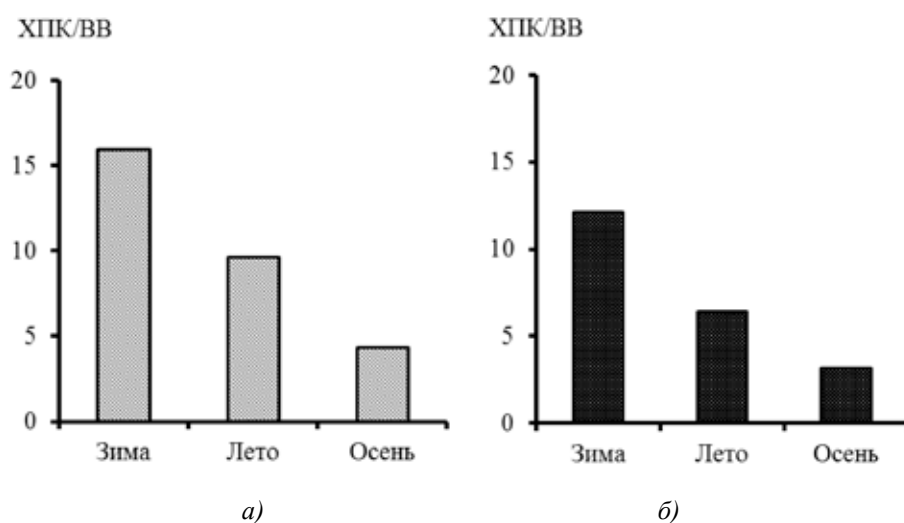


Рис. 2. Сезонная изменчивость соотношения ХПК и взвешенных веществ (параметра ХПК/ВВ) на фоновом (а) и контрольном (б) створах р. Зимней Золотицы в районе сброса дренажных вод месторождения алмазов им. М.В. Ломоносова

Наблюдаемую ситуацию можно объяснить только влиянием дренажных вод, обогащенных сапонитом. Однако необходимо отметить, что смена качественного состава взвешенных веществ в речных водах на контрольном створе реки не сопровождалась возрастанием их концентраций выше фонового уровня. Это можно связать с очень низким содержанием взвесей органического происхождения в дренажных водах, образующихся в осушаемых карьерах месторождения алмазов. При их сбросе они начинают разбавлять речные воды, обогащенные органикой природного генезиса с высокими величинами ХПК. Идентичность сезонных изменений рассматриваемого показателя на фоновом и контрольном створах указывает, что они, в первую очередь, связаны с колебаниями речного стока, а не с техногенным влиянием.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование параметра ХПК/ВВ, как вспомогательный инструмент для оценки влияния антропогенных факторов на качество поверхностных вод в ситуациях, когда необходимо определить происхождение сверхнормативных концентраций взвеси, какая оценка имеет качественный характер и может, например, дополнять экспертный подход при решении геоэкологических задач [6]. Кроме того, его применение позволяет более объективно понимать и трактовать процессы, происходящие в реках таежной зоны, для которых типично высокое содержание органики и взвешенных веществ.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме «Современные и древние донные осадки и взесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек» № FMWE-2021-0006.

Список литературы

1. Боголицын К.Г., Москалюк Е.А., Костогоров Н.М., Шульгина Е.В., Иванченко Н.Л. Применение интегральных показателей качества сточных вод для внутрипроизводственного эколого-аналитического контроля производства целлюлозы // Химия растительного сырья. 2021. № 2. С. 343–352.
2. Зенин А.А., Белоусова Н.В. Гидрохимический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 240 с.
3. Котова Е.И., Мискевич И.В., Нецветова О.П. Особенности вертикальной структуры маргинального фильтра в устьях рек с устойчивым галоклином в зимний период на примере дельты Северной Двины // Успехи современного естествознания. 2022. № 11. С. 61–65.
4. Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Гордеев В.В., Горюнова Н.В., Демина Л.Л. Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П., ред. Немировская И.А. М.: Научный мир, 2012. С. 169–200.
5. Мискевич И.В., Кузнецов Е.А. Характеристика сезонной изменчивости содержания взвеси в речных водах Беломорско-Кулойского плато // Естественные и технические науки. 2022. № 2 (165). С. 189–192.
6. Коробов В.Б. Теория и практика экспертных методов / Под ред. Кочурова Б.И. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2019. 281 с.