

А. С. Булавина

## Районирование водосбора Белого моря по степени воздействия материкового стока на морскую водную среду

Разработана и апробирована методика интегральной оценки потенциального влияния материкового стока на морскую водную среду применительно к территории водосбора Белого моря. В границах гидрологических районов рассчитаны интегральные показатели потенциала загрязнения (ПЗ) и потенциала самоочищения (ПС) речных вод. При расчете ПЗ учитывались следующие показатели: объем сточных вод и плотность населения на водосборе (антропогенные составляющие выноса загрязняющих веществ), сток наносов (природная составляющая выноса загрязняющих веществ). При расчете ПС рассматривались такие природные параметры, как озерность, лесистость и роль рельефа в самоочищении рек. Соотношение предложенных интегральных показателей отражает качество речных вод, поступающих в море. На основании количественного соотношения показателей ПЗ и ПС проведено районирование водосбора по степени негативного влияния речных вод на качество вод Белого моря. Полученная схема районирования позволяет наглядно продемонстрировать целостную картину, отражающую сложившийся комплекс природно-хозяйственных факторов на речных водосборах бассейна Белого моря. Выявлено, что речной сток с большей части водосбора не оказывает значительного загрязняющего воздействия на воды Белого моря. Наибольшее загрязняющее влияние на морские воды оказывают реки Северная Двина и Нива. Полученные данные хорошо соотносятся с данными гидрохимических наблюдений в заливах Белого моря. Объективность интегральной оценки обеспечивается опорой на большое количество натурных данных и исключением из оценки показателей, не имеющих количественного выражения. Полученные результаты могут быть использованы для разработки научно обоснованного комплекса природоохранных мероприятий и при планировании промышленного развития территории водосбора.

**Ключевые слова:** водосбор Белого моря, материковый сток, интегральная оценка, антропогенная нагрузка, самоочищение рек.

### Введение

В условиях возрастающего техногенного воздействия на гидросферу актуально изучение влияния материкового стока на моря. Реки, впадающие в моря, являются основными поставщиками химических компонентов с материка как природного, так и антропогенного происхождения.

Как правило, оценка реального масштаба воздействия речного стока на экосистемы морей выполняется на основании результатов сравнения качества речных и морских вод по гидрохимическим показателям, сравнения количества загрязняющих веществ (ЗВ) в природных водах с их ПДК, а также знания антропогенного воздействия на материковый водосбор. Этого недостаточно по ряду причин, а именно:

- содержание ЗВ в морской воде отражает не только воздействие речного стока, но их приход в морскую среду с воздушными массами, деятельность человека на открытой акватории моря, попадание химических веществ в воду в результате естественных процессов, происходящих на морском дне;
- условность имеющихся данных о концентрациях ЗВ. Наблюдения за состоянием загрязнения морских и материковых водных объектов проводит преимущественно гидрометеослужба. Результаты, представленные в ежегодниках, обобщены в виде средних и максимальных концентраций ЗВ. Количество съемок по отдельным акваториям морей и речным системам обычно составляет 2–4 раза в год. Вычисленные по такому количеству съемок осредненные данные слабо отражают реальную обстановку. Кроме того, такие наблюдения неоднородны по срокам и количеству. Таким образом, одно из ключевых требований к проведению мониторинга – стандартизация наблюдений в пространстве и во времени – не всегда соблюдается [1];
- само понятие ПДК является весьма условным. Нормативы ПДК отдельных веществ рассмотрены с точки зрения возможного влияния этих веществ на человека и совершенно не учитывают действие этих веществ на природные экосистемы;
- воздействие речного стока на морскую водную среду зависит не только от количества антропогенных выбросов ЗВ. Природные особенности водосбора могут усугублять либо нивелировать техногенные воздействия. Материковые водные объекты способны как частично или полностью ассимилировать антропогенные ЗВ, так и напротив, выносить с водосбора в моря природные вещества, негативно влияющие на качество морской среды.

В вопросе оценки загрязняющего влияния материкового стока на морские воды полезны регулярные измерения концентраций ЗВ в замыкающих створах рек. Вычисленный по результатам съемок удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) для годовых интервалов дает возможность оценить уровень загрязненности речных вод. К сожалению, в настоящее время такие наблюдения ведутся только на крупнейших реках России. Малые реки, а следовательно, огромные участки водосборов морей, остаются без регулярных гидрохимических наблюдений. Так как гидрохимические показатели не подлежат осреднению

по водосбору ввиду уникальности формирования гидрохимического режима под действием природных и антропогенных факторов, то оценка совокупного воздействия малых водотоков на морские воды по УКИЗВ невозможна.

Цель настоящей работы заключается в разработке методики оценки потенциального влияния материкового стока на водную среду Белого моря на основании известных природных и антропогенных особенностей водосбора. Актуальность исследования определяется его согласованностью с одним из приоритетных направлений арктических исследований – прогнозированием экологической и социально-экономической ситуации в Арктике на фоне разнонаправленных изменений природного фона и расширяющейся хозяйственной деятельности [2].

Влияние материкового стока на морскую водную среду рассматривается как потенциальное, так как в настоящей работе учтены лишь особенности водосбора. Действительное же влияние речного стока на морскую среду складывается из двух основных составляющих: загрязняющий потенциал рек и особенности непосредственно морской среды (гидрология моря, функционирование морских экосистем). Здесь будет рассмотрена только первая составляющая.

## Материалы и методы

### Методика интегральной оценки

Универсальный способ соизмерения любых частных оценок – балльная система, наиболее распространенная для получения интегральных оценок геосистем [3]. При обращении к методике определения индивидуальных баллов для каждого фактора природной среды можно получить численную оценку действия этого фактора.

Загрязнение рек различными химическими компонентами обусловлено как антропогенным воздействием, так и природными особенностями их водосборов: геологическим строением, климатом, особенностями рельефа, естественной кислотностью природных вод, озерностью территории, характером биоты водосбора и другими. Для процессов, не поддающихся непосредственному измерению и характеризующихся качественно, были подобраны результирующие их деятельности, которые могут быть оценены количественно.

Выделены две составляющие, определяющие потенциальное влияние речного стока на морскую среду: потенциал загрязнения (ПЗ) и потенциал самоочищения (ПС) рек. При расчете ПЗ были учтены следующие показатели: объем сточных вод и плотность населения на водосборе (антропогенные составляющие выноса ЗВ), сток наносов (природная составляющая выноса ЗВ). При расчете ПС учитывались такие природные параметры, как озерность, лесистость и роль рельефа в самоочищении рек.

Для оценки объема сбросов сточных вод в бассейнах отдельных рек были использованы официальные данные о состоянии и использовании водных ресурсов<sup>1</sup>. Плотность населения на водосборах рек рассчитана как отношение количества человек, проживающих на водосборе, к площади водосбора. Число жителей на водосборах было рассчитано по данным всероссийской переписи населения в 2010 г.<sup>2</sup>, площади водосборов вычислены при использовании ГИС MapViewer.

Средний годовой объем стока наносов рассчитывался с использованием данных государственного водного кадастра<sup>3</sup> [4; 5] по формуле:

$$V = R \cdot W,$$

где  $R$  – содержание взвеси в объеме воды, т/км<sup>3</sup>;  $W$  – средний годовой объем речного стока, км<sup>3</sup>/год.

Показатели озерности и лесистости водосборов получены по данным карт атласа<sup>4</sup> и выражены в процентах.

Показатель роли рельефа в самоочищении рек рассчитывался по формуле:

$$H = \frac{H_{\max}}{L},$$

где  $H_{\max}$  – максимальная высота водосбора, м;  $L$  – расстояние от точки  $H_{\max}$  до места впадения реки в море или до ближайшей точки на побережье (для объединенных водосборов), км.

Все отобранные показатели представлены в табл. 1.

<sup>1</sup> Качество поверхностных вод Российской Федерации : ежегодник (2011–2015). Ростов н/Д : Росгидромет, 2012–2016 ; Правительство Архангельской области. В помощь водопользователям. URL: <https://old.dvinaland.ru/power/departments/comeco/supportwp/index.php?print=Y> ; Государственный доклад "О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году". М. : НИА Природа, 2010. 288 с.

<sup>2</sup> Всероссийская перепись населения 2010. URL: [http://www.gks.ru/free\\_doc/new\\_site/perepis2010/croc/perepis\\_itogi1612.htm](http://www.gks.ru/free_doc/new_site/perepis2010/croc/perepis_itogi1612.htm).

<sup>3</sup> Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики : (За 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 1. Кольский полуостров. Л. : Гидрометеиздат, 1974. 235 с. ; Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики : (За 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 3. Северный край. Л. : Гидрометеиздат, 1979. 432 с.

<sup>4</sup> Атлас СССР. М. : Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1983. 155 с.

Таблица 1. Матрица оценочных показателей для речных водосборов бассейна Белого моря  
Table 1. The matrix of indicators for river catchment areas of the White Sea basin

Водосбор	1	2	3	4	5	6
Северная Двина	0,4	70	0,07	1 297,8	3,5	491,00
Мезень	0,6	70	0,38	308,00	0,5	0,12
Кулой	2,0	87	0,39	70,21	0,5	0,05
Поной	2,1	30	0,69	7,45	0,5	0,10
Варзуга	3,0	30	0,80	4,74	0,5	0,05
Умба	13,1	30	1,20	0,99	1	0,20
Нива	12,0	50	3,77	10,34	3,0	1,10
Ковда	14,0	50	0,50	17,38	1,5	0,30
Кереть	11,2	50	1,10	1,88	1,5	0,10
Кемь	9,3	50	0,53	17,64	3	26,90
Нижний Выг	14,0	50	0,87	16,54	3	32,00
Онега	3,0	65	0,28	25,10	3	8,82
Малые реки западной части водосбора	10,2	50	0,32	15,38	3	15,00
Малые реки восточной части водосбора	1,8	80	0,21	182,99	0,5	12,16
Малые реки Поной-Варзугского района	3,5	35	0,30	3,72	0,1	0,05

Примечание. 1 – озерность водосбора, %; 2 – лесистость водосбора, %; 3 – роль рельефа в самоочищении рек, м/км; 4 – объем стока наносов, т/год; 5 – плотность населения, чел/км<sup>2</sup>; 6 – сброс промышленно-бытовых стоков, млн м<sup>3</sup>.

Отобранные показатели нормировались на среднее для каждого показателя значение. Полученным числовым рядам были заданы балльные значения от 1 до 10. Балльные шкалы имеют прямое или обратное направление, соответственно направлению влияния фактора. Так, например, шкала оценки роли рельефа в самоочищении речных водосборов направлена от большего к меньшему. Водосборы с наименьшим значением  $H$  получили оценку 10 баллов, с наибольшим  $H$  – 1 балл, так как чем больше уклон водосбора в сторону моря, тем быстрее ЗВ с водосбора достигнут моря и тем меньшая их часть будет ассимилирована в пределах водосбора.

Интегральные показатели ПС и ПЗ находились путем сложения баллов отобранных оценочных показателей с учетом их весовых коэффициентов. Для нахождения коэффициентов была проведена экспертная оценка. Ранжирование выполнялось методом прямой расстановки. Объективность этого метода высока при небольшом количестве факторов (до 6) [6]. Весовые коэффициенты были заданы в интервале от 0 до 1, где 0,1 – минимальное влияние фактора, 1 – определяющее влияние фактора (табл. 2). Сумма весовых коэффициентов в пределах каждого интегрального показателя равна 1, что в совокупности с равным количеством оценочных показателей обеспечивает равномерность оценки ПС и ПЗ и дает возможность их последующего сравнения.

Таблица 2. Весовые коэффициенты оценочных показателей ПЗ и ПС  
Table 2. The weights of the integral indicators PP and SPC

Оценочные показатели	Вес балла
Потенциал самоочищения	
Озерность	0,3
Лесистость	0,2
Рельеф	0,5
Потенциал загрязнения	
Сток наносов	0,1
Плотность населения	0,2
Сточные воды	0,7

### Результаты и обсуждение

Соотношение величин природных и антропогенных оценочных показателей отражает степень влияния речного стока на морскую водную среду. Эти свойства изменяются в пределах водосборов морей. Поэтому для установления роли стока их необходимо выявить и обобщить на уровне гидрологического районирования водосбора.

Поскольку речной водосбор является геосистемой, в которой все природные комплексы связаны переносом вещества и энергии, то водосборы крупнейших рек региона рассмотрены отдельно. Небольшие реки проанализированы в пределах их совокупных водосборов. При выделении совокупных водосборов учитывалось гидрологическое районирование водосбора Белого моря с выделением его западной и восточной частей, обоснованное в работе [7]. Приняв во внимание неполное соответствие восточной части Кольского полуострова критериям районирования, предложенным в работе и имеющим значение для настоящего исследования, выделим эти территории в качестве самостоятельного района (рис. 1).

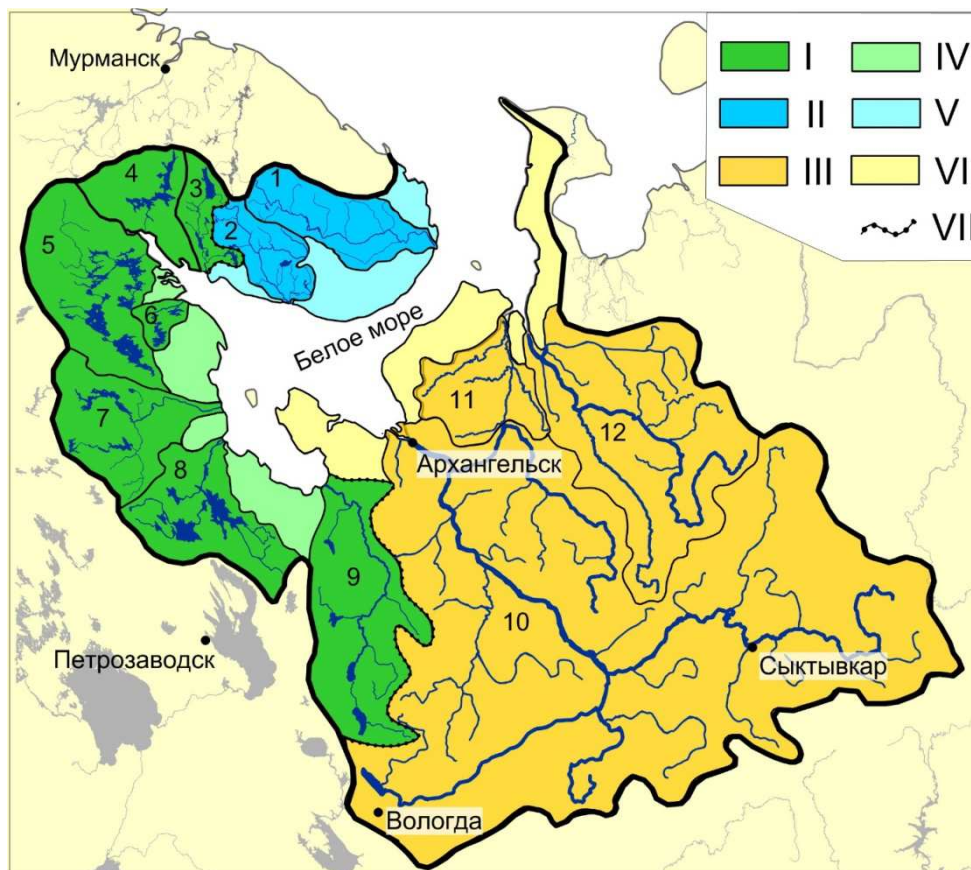


Рис. 1. Водосборы рек бассейна Белого моря. Цветом показано гидрологическое районирование: I – западная часть водосбора Белого моря; II – Поной-Варзугский гидрологический район; III – восточная часть водосбора Белого моря; IV – малые реки западной части водосбора; V – малые реки Поной-Варзугского гидрологического района; VI – малые реки восточной части водосбора; VII – граница между западной и восточными частями водосбора Белого моря [7]. Цифрами обозначены водосборы рек: 1 – Поной; 2 – Варзуга; 3 – Умба; 4 – Нива; 5 – Ковда; 6 – Кереть; 7 – Кемь; 8 – Выг; 9 – Онега; 10 – Северная Двина; 11 – Кулой; 12 – Мезень

Fig. 1. Watersheds of the rivers of the White Sea basin.

Hydrological zoning: I – Western part of the White Sea basin; II – district of the rivers Ponoj and Varzuga; III – Eastern part of the White Sea basin; IV – small rivers of the western part of the White Sea basin; V – small rivers of the district of the rivers Ponoj and Varzuga; VI – small rivers of the eastern part of the White Sea; VII – the boundary between the western and eastern parts of the White Sea basin [7]. Watersheds of the rivers: 1 – Ponoj; 2 – Varzuga; 3 – Umba; 4 – Niva; 5 – Kovda; 6 – Keret; 7 – Kem; 8 – Vyg; 9 – Onega; 10 – Severnaya Dvina; 11 – Kuloj; 12 – Mezen

Западная и восточная части водосбора сильно отличаются по характеру воздействия природных факторов на формирование стока и качество речных вод.

Учитывая разнородное геологическое строение и слагающие породы западной и восточной частей водосбора Белого моря, можно предположить, что комплекс и объем химических веществ, выносимых речными водами в морскую среду, также будет различен.

Кроме того, твердые магматические и метаморфические горные породы, слагающие западную часть водосбора, менее подвержены эрозии, чем осадочные породы восточной части. Геолого-геоморфологическое строение территорий определяет скорость эрозии водоразделов и объем стока наносов. Модуль твердого стока рек, расположенных на Фенноскандинавском щите, невысок. В частности, мурманское побережье

характеризуется низким твердым стоком (не превышает  $5 \text{ т/км}^3$ ) [4]. Можно предположить, что на части побережья Белого моря, приуроченной к Фенноскандинавскому щиту, твердый сток будет близок к указанному значению. Твердый сток рек, приуроченных к Русской плите, достигает  $29 \text{ т/км}^3$  (р. Северная Двина) [8].

Способность рек переносить взвешенные вещества, а следовательно, и объем стока наносов (взвешенных и влекомых по дну), также зависит от характера продольного профиля и уклона, обусловленных рельефом. При прочих равных характеристиках реки с большими скоростями течений обладают большей транспортной способностью [8]. По данному критерию реки западной части водосбора, обладающие большими перепадами высот, имеют больший транспортный потенциал, чем равнинные реки восточной части водосбора.

Снизить объем выносимых в море растворенных и взвешенных химических веществ, а также опосредованное через речной сток антропогенное воздействие на морские акватории могут благоприятные условия самоочищения рек. Самоочищению может способствовать большое количество проточных озер, частично ассимилирующих загрязнение, а также особенности биоты водосбора и непосредственно водных объектов.

Реки западной части водосбора Белого моря отличаются наличием большого числа крупных проточных озер, то есть являются озерно-речными системами. Длина озер, входящих в эти системы, достигает 67 % (р. Ковда) от общей длины озерно-речных систем. На водосборах рек западной части водосбора преобладают слабопроточные (аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные) озера [7]. Это говорит о значительной способности озер задерживать, накапливать и преобразовывать различные растворенные и взвешенные вещества, в том числе антропогенного происхождения. Большое количество таких озер, расположенных на водосборах рек, может значительно снизить поступление твердого стока и растворенных химических веществ в море. Восточная часть водосбора, напротив, имеет низкую линейную озерность, что является неблагоприятным фактором для самоочищения материковых вод. Конечно, высокая озерность – не единственный фактор, способствующий ассимиляции ЗВ. На самоочищение озерно-речных систем влияет множество физических, химических и биологических процессов, работающих как индивидуально, так и оказывающих взаимное влияние. К факторам, влияющим на нейтрализацию и депонирование ЗВ в озерах, относят температуру и pH воды, турбулентные процессы, особенности биоты, обуславливающие включение ЗВ в круговороты в биогеоценозах [9–11].

На территории водосбора находится несколько природных зон – от южной тайги до тундры. Территория Карелии целиком, почти вся Архангельская область и большая часть Республики Коми расположены в природной зоне тайги, которая подразделяется на подзоны с размытыми границами: северная тайга (севернее  $64\text{--}65^\circ$  с.ш.), средняя тайга ( $61\text{--}63^\circ$  с.ш.) и южная тайга (южнее  $61^\circ$  с.ш.). Северная тайга с преобладанием сосны плавно переходит в среднетаежные области с большей долей еловых лесов. С востока на запад господство сибирских лесообразующих пород (ель сибирская, сибирская пихта, лиственница) постепенно сменяется западноевропейскими растительными формами (ель европейская, сосна обыкновенная). Условной границей служит бассейн р. Онега.

Пресноводная растительность как востока, так и запада водосбора Белого моря довольно скудна, несмотря на обилие водных просторов. Сказывается суровый северный климат. Прибрежная растительность характеризуется наличием камышей, тростника, хвощей, осок. Согласно исследованию [10] тростники и камыши способны улучшать качество воды по бактериологическим показателям и снижать содержание тяжелых металлов в воде. Водоросли-макрофиты, обитающие в эстуариях рек и прибрежных морских водах, способны аккумулировать ЗВ из воды. Известна роль *Fucus Vesiculosus* в очистке воды от нефтяного загрязнения за счет аккумуляции НП и включения их в метаболизм растения [12].

Поной-Варзугский гидрологический район сочетает в себе черты как востока, так и запада. Принадлежность к Фенноскандинавскому щиту обуславливает низкие скорости водно-эрозионных процессов и отсутствие растворимых горных пород, преимущественно равнинный рельеф – низкую транспортную способность взвешенных веществ, малая озерность – низкий потенциал самоочищения рек.

Большая часть предложенных характеристик природной среды носит описательный характер и не имеет количественного выражения. Подобное описание влияния природной среды водосбора на качество речных вод, поступающих в морскую среду, позволяет лишь оценить направление действия каждого отдельно взятого фактора для отдельного гидрологического района. Использование расчетных оценочных показателей позволяет количественно соотнести факторы среды, действующие разнонаправленно.

Нормированные величины в пределах водосбора Белого моря изменяются в широком диапазоне, что свидетельствует о значительном разнообразии условий среды (табл. 3).

К полученным рядам нормированных величин были составлены шкалы оценки баллов, индивидуальные для каждого оценочного параметра. При их построении мы опирались на алгоритмы построения балльных шкал, описанные в работе [3]. Так, величины оценочных параметров получили балльные значения (табл. 4).

Таблица 3. Диапазон колебаний нормированных величин оценочных показателей ПЗ и ПС  
Table 3. The fluctuation ranges of normalized indicators of PP and SPC

Оценочные показатели	Диапазон колебаний нормированных величин
Потенциал самоочищения	
Озерность	0,06–2,10
Лесистость	0,56–1,51
Рельеф	0,09–4,96
Потенциал загрязнения	
Сток наносов	0,01–9,83
Плотность населения	0,06–2,09
Сточные воды	0,001–10,58

Таблица 4. Матрица баллов оценочных показателей для речных водосборов бассейна Белого моря  
Table 4. The matrix of scores of the indicators for river catchment areas of the White Sea basin

Водосбор	А	Б	В	Г	Д	Е
Северная Двина	1	9	10	10	10	10
Мезень	1	9	9	8	2	1
Кулой	2	10	9	2	2	1
Поной	2	4	9	1	2	1
Варзуга	3	4	8	1	2	1
Умба	9	4	7	1	3	1
Нива	8	7	1	1	9	1
Ковда	10	7	9	1	5	1
Кереть	8	7	7	1	5	1
Кемь	6	7	9	1	9	8
Нижний Выг	10	7	8	1	9	9
Онега	3	9	10	1	9	2
Малые реки западной части водосбора	7	7	10	1	9	6
Малые реки восточной части водосбора	2	10	9	5	2	3
Малые реки Поной-Варзугского района	3	4	9	1	1	1

Примечание. А – озерность водосбора; Б – лесистость водосбора; В – роль рельефа в самоочищении рек; Г – объем стока наносов; Д – плотность населения; Е – сброс промышленно-бытовых стоков.

Значения интегральных показателей ПС и ПЗ для исследуемых речных водосборов, рассчитанные с учетом весовых коэффициентов, показаны на рис. 2.

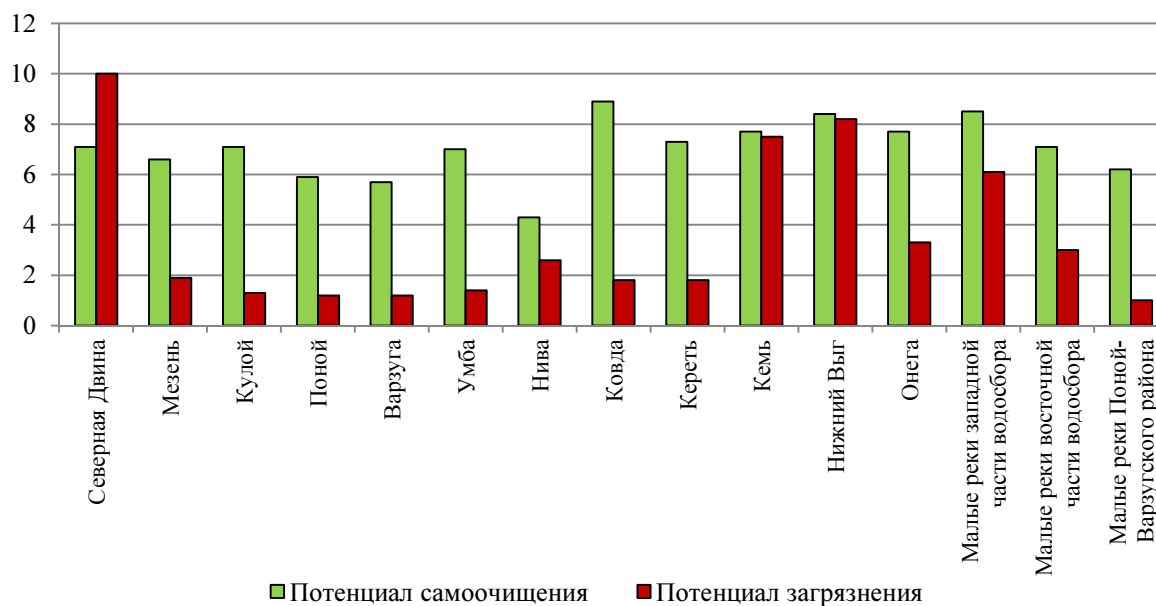


Рис. 2. Соотношение интегральных показателей ПЗ и ПС речных водосборов бассейна Белого моря  
Fig. 2. The ratio of the integral indicators PP and SPC for river catchment areas of the White Sea basin

Полученные результаты были использованы для районирования водосбора по степени негативного влияния речных водосборов на качество вод Белого моря. Водосборы ранжировались по степени их влияния, исходя из соотношения интегральных показателей ПС и ПЗ (рис. 3).

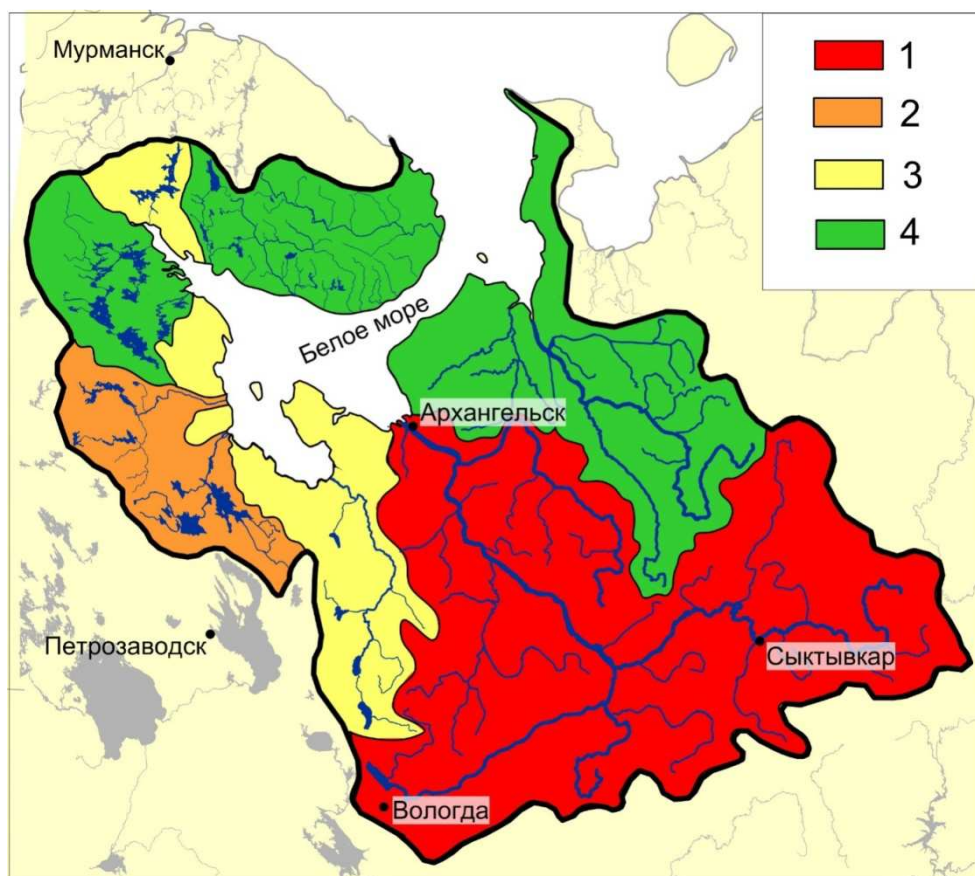


Рис. 3. Районирование водосбора Белого моря по степени негативного воздействия речного стока на качество морских вод. Потенциальное воздействие речного стока на морские акватории:

1 – недопустимое; 2 – допустимое; 3 – слабое; 4 – незначительное

Fig. 3. The zoning of the catchment area according to the degree of the negative impact of river waters on water quality in the White Sea. The potential impact of river runoff on the sea:

1 – unacceptable; 2 – acceptable; 3 – low; 4 – insignificant

Сравним полученные результаты с данными гидрохимических наблюдений в заливах. Данных о качестве вод заливов Белого моря по гидрохимическим показателям немного. Наиболее хорошо изучено качество вод Двинского залива. В заливе проводятся регулярные гидрохимические съемки на 7 станциях, а также многочисленные целевые гидрохимические съемки в рамках частных исследований разных авторов. Анализ качества вод Двинского залива показал, что вода не соответствует санитарным нормам. Было зафиксировано превышение ПДК нефтяных углеводородов, фенольных соединений, СПАВ, меди и цинка [13–17]. В целом, экологическая ситуация в Двинском заливе характеризуется как напряженная, а в южной его части – как критическая.

Согласно данным ежегодника [13] в районе порта г. Кандалакша качество воды по комплексному индексу загрязненности (ИЗВ) в 2015 г. оценивалось классом 3, "умеренно загрязненные". Следует учитывать, что уровень загрязнения морских вод в портах, как правило, связан в большей степени с судоходством и портовыми операциями. В Кандалакшском заливе за пределами порта превышения ПДК по основным загрязнителям обнаружено не было.

Данных наблюдений за качеством вод Онежского залива по гидрохимическим показателям крайне мало. В работе [18] отмечено загрязнение поверхностных вод Онежского залива при относительно высоком качестве глубинных вод. Учитывая особенности распространения речных вод в морской среде (растекание материковых вод по поверхности слоя повышенной солености), загрязнение поверхностного слоя прибрежных вод и вод заливов чаще всего связывают именно с воздействием речного стока. В работе [16] отмечено эпизодическое превышение ПДК по нефтепродуктам, фенолам и меди в кутовых частях залива.

Потенциальное влияние вод р. Северная Двина характеризуется как недопустимое, что означает неспособность природных условий водосбора реки нивелировать процессы загрязнения речных вод.

Согласно результатам, полученным в ходе интегральной оценки, для водосборов рек Выг и Кемь потенциальное влияние речного стока на морскую водную среду характеризуется как допустимое. ПС и ПЗ их водосборов близки к равновесию, но дальнейшее увеличение выбросов ЗВ может негативно сказаться на качестве морских вод. Водосбор р. Онега, исходя из соотношения ПС и ПЗ, хорошо справляется с существующими антропогенными нагрузками и сток р. Онега не должен оказывать существенного негативного влияния на воды Онежского залива. По нашей оценке, реки водосбора Кандалакшского и Мезенского заливов хорошо справляются с загрязнителями, поступающими на их водосборы. Однако переходя к сравнению данных гидрохимических наблюдений за качеством морских вод с результатами интегральной оценки, следует учитывать, что действительное влияние речного стока на морскую среду складывается из двух составляющих: загрязняющий потенциал рек и особенности гидрологии моря. Интенсивность водообмена в заливах различна. Заливы с более длительным периодом водообмена наиболее подвержены воздействию речного стока. Из рассматриваемых заливов Онежский имеет самую низкую интенсивность водообмена. Полное обновление вод залива занимает около 1,5 лет [19]. Это может способствовать накоплению ЗВ в заливе и создавать значительные их концентрации в морской воде, даже при небольшом их поступлении. Двинский залив отличается умеренной скоростью водообмена (полный водообмен занимает 0,69 года), что позволяет при значительных нагрузках со стороны водосбора сдерживать их негативное воздействие на качество вод залива. В Кандалакшском заливе происходит интенсивное обновление вод (полный водообмен – 0,06 года), способствующее быстрому выносу загрязняющих веществ из залива.

В целом, данные гидрохимических наблюдений хорошо соотносятся с результатами интегральной оценки.

### **Заключение**

Объективность интегральной оценки обеспечивается опорой на большое количество натуральных данных и исключением из оценки показателей, не имеющих количественного выражения. Полученные результаты хорошо соотносятся с данными о качестве морских вод заливов. Очевидно, что увеличение количества оценочных показателей способно повысить объективность оценки. Однако при вводе дополнительных показателей необходимо проводить оценку их корреляции с уже существующими, чтобы избежать эффекта искусственного взаимоусиления параметров.

В целом, данный метод стоит рассматривать как первое приближение к оценке природно-антропогенных систем "водосборный бассейн – море". Полученная схема районирования позволяет наглядно продемонстрировать целостную картину, отражающую сложившийся комплекс природно-хозяйственных факторов на речных водосборах бассейна Белого моря. Следует отметить, что предложенная схема районирования может быть использована для разработки научно обоснованного комплекса природоохранных мероприятий, а также разработки плана промышленного развития территорий.

### **Благодарности**

Автор выражает благодарность своему научному руководителю Дженюку Сергею Львовичу за ценные советы при планировании исследования и рекомендации в работе над статьей.

### **Библиографический список**

1. Дженюк С. Л. К обоснованию комплексной системы мониторинга морей Западной Арктики // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 2 (21). С. 94–102.
2. Матишов Г. Г., Дженюк С. Л. Проблемы управления морским природопользованием и обеспечения экологической безопасности в российской Арктике // Вестник МГТУ. 2014. Т. 17, № 3. С. 531–539.
3. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте : (Основы теории и логико-математические методы). М. : Мысль, 1975. 287 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность / под ред. Н. Д. Шека. Т. 1 : Кольский полуостров. Л. : Гидрометеиздат, 1963. 133 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность / под ред. Н. Д. Шека. Т. 3 : Северный край. Л. : Гидрометеиздат, 1965. 611 с.
6. Коробов В. Б. Некоторые проблемы применения экспертных методов на практике // Научный диалог. 2013. № 3 (15): Естествознание. Экология. Науки о земле. С. 94–108.
7. Булавина А. С. Особенности формирования речного стока в озерно-речных системах водосбора западной части Белого моря // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 3. С. 161–172. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.
8. Шапов Г. И. Речные наносы. Режим, расчеты и методы измерений. 2-е изд., испр. и доп. Л. : Гидрометеиздат, 1959. 378 с.
9. Папина Т. С. Транспорт и особенности распределения тяжелых металлов в ряду: вода – взвешенное вещество – донные отложения речных экосистем : анализ. обзор. Новосибирск : ГПНТБ СО РАН, 2001. 57 с.



10. Наумова А. М., Гончарова М. Н., Наумова А. Ю. Использование водных растений для очистки воды и грунта рыбохозяйственного водоема от органического и неорганического загрязнения // Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2015. № 2 (14). С. 72–77.
11. Заварзин Г. А. Лекции по природоведческой микробиологии. М. : Наука, 2003. 348 с.
12. Воскобойников Г. М., Пуговкин Д. В. О возможной роли *Fucus Vesiculosus* в очистке прибрежных акваторий от нефтяного загрязнения // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 4. С. 716–721.
13. Качество морских вод по гидрохимическим показателям : ежегодник 2015 / под ред. А. Н. Коршенко. М. : Наука, 2016. 184 с.
14. Брызгалов В. А., Иванов В. В. Многолетняя и сезонная изменчивость химического стока рек Белого моря в условиях антропогенного воздействия // Экологическая химия. 2002. № 11 (2). С. 91–104.
15. Толстикова А. В., Чернов И. А. Антропогенное воздействие на экологическое состояние Белого моря // Научно-исследовательские публикации. 2014. № 15 (19). С. 19–31.
16. Мохова О. Н., Климовский Н. В., Чернова В. Г., Мельник Р. А. О состоянии загрязненности вод Белого моря // Морские биологические исследования: достижения и перспективы : сб. материалов Всероссийской науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции : в 3 т. Севастополь, 19–23 сентября 2016 г. Севастополь : ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. С. 163–167.
17. Немировская И. А., Травкина А. В., Трубкин И. П. Углеводороды в водах и донных осадках Белого моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3 (105). С. 77–89.
18. Кадашова Н. А. Физико-географические аспекты природопользования в Белом море : дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.23. М., 2011. 175 с.
19. Булавина А. С., Дженюк С. Л. Дефицит солености как показатель воздействия речного стока на морскую среду // Наука Юга России. 2017. Т. 13, № 2. С. 50–59.

## References

1. Dzhenyuk S. L. K obosnovaniyu kompleksnoy sistemy monitoringa morey Zapadnoy Arktiki [The rationale for a comprehensive monitoring system of the seas of the Western Arctic] // Vestnik Kolskogo nauchnogo tsentra RAN. 2015. N 2 (21). P. 94–102.
2. Matishov G. G., Dzhenyuk S. L. Problemy upravleniya morskim prirodopolzovaniem i obespecheniya ekologicheskoy bezopasnosti v rossiyskoy Arktike [Problems of management of marine environment and ecological safety in the Russian Arctic] // Vestnik MGTU. 2014. V. 17, N 3. P. 531–539.
3. Armand D. L. Nauka o landshafte : (Osnovy teorii i logiko-matematicheskie metody) [The science of landscape : (Fundamentals of the theory and logical and mathematical methods)]. M. : Mysl, 1975. 287 p.
4. Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost [Resources of surface waters of the USSR. Hydrological knowledge] / pod red. N. D. Sheka. T. 1 : Kolskiy poluostrov. L. : Gidrometeoizdat, 1963. 133 p.
5. Resursy poverhnostnykh vod SSSR. Gidrologicheskaya izuchennost [Resources of surface waters of the USSR. Hydrological knowledge] / pod red. N. D. Sheka. T. 3 : Severnyi kray. L. : Gidrometeoizdat, 1965. 611 p.
6. Korobov V. B. Nekotorye problemy primeneniya ekspertnykh metodov na praktike [Some problems of practical application of expert methods] // Nauchnyi dialog. 2013. N 3 (15): Estestvoznaniye. Ekologiya. Nauki o zemle. P. 94–108.
7. Bulavina A. S. Osobennosti formirovaniya rechnogo stoka v ozerno-rechnykh sistemah vodosbora zapadnoy chasti Belogo morya [Features of river runoff formation in the lake-river water collection system in the western part of the White Sea] // Arctic Environmental Research. 2017. V. 17, N 3. P. 161–172. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.
8. Shamov G. I. Rechnye nanosy. Rezhim, raschety i metody izmereniy [The river sediments. Regime, calculations and methods of measurement]. 2-e izd., ispr. i dop. L. : Gidrometeoizdat, 1959. 378 p.
9. Papina T. S. Transport i osobennosti raspredeleniya tyazhelykh metallov v ryadu: voda – vzveshennoe veschestvo – donnye otlozheniya rechnykh ekosistem [Transport and features of the distribution of heavy metals in the series: water – suspended matter – bottom sediments of river ecosystems] : analit. obzor. Novosibirsk : GPNTB SO RAN, 2001. 57 p.
10. Naumova A. M., Goncharova M. N., Naumova A. Yu. Ispolzovanie vodnykh rasteniy dlya ochistki vody i grunta rybohozyaystvennogo vodoema ot organicheskogo i neorganicheskogo zagryazneniya [The use of aquatic plants for water and soil treatment of fishery reservoir from organic and inorganic pollution] // Rossiyskiy zhurnal Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii. 2015. N 2 (14). P. 72–77.
11. Zavarzin G. A. Lektsii po prirodovedcheskoy mikrobiologii [Lectures on the natural history of microbiology]. M. : Nauka, 2003. 348 p.
12. Voskoboynikov G. M., Pugovkin D. V. O vozmozhnoy roli *Fucus Vesiculosus* v ochistke pribrezhnykh akvatoriy ot neftyanogo zagryazneniya [The possible role of *Fucus Vesiculosus* in the purification of coastal waters from oil pollution] // Vestnik MGTU. 2012. V. 15, N 4. P. 716–721.

13. Kachestvo morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam : ezhegodnik 2015 [The quality of marine waters according to hydrochemical indicators. Yearbook 2015] / pod red. A. N. Korshenko. M. : Nauka, 2016. 184 p.

14. Bryzgalo V. A., Ivanov V. V. Mnogoletnyaya i sezonnaya izmenchivost himicheskogo stoka rek Belogo morya v usloviyah antropogennoogo vozdeystviya [Long-term and seasonal variability of chemical river runoff in the White Sea in conditions of anthropogenic impact] // *Ekologicheskaya himiya*. 2002. N 11 (2). P. 91–104.

15. Tolstikov A. V., Chernov I. A. Antropogennoe vozdeystvie na ekologicheskoe sostoyanie Belogo morya [Anthropogenic impact on ecological condition of the White Sea] // *Nauchno-issledovatel'skie publikatsii*. 2014. N 15 (19). P. 19–31.

16. Mohova O. N., Klimovskiy N. V., Chernova V. G., Melnik R. A. O sostoyanii zagryaznennosti vod Belogo morya [Status of water pollution of the White Sea] // *Morskie biologicheskie issledovaniya: dostizheniya i perspektivy : sb. materialov Vserossiyskoy nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem, priurochennoy k 145-letiyu Sevastopolskoy biologicheskoy stantsii : v 3 t. Sevastopol, 19–23 sentyabrya 2016 g. Sevastopol : EKOSI-Gidrofizika*, 2016. P. 163–167.

17. Nemirovskaya I. A., Travkina A. V., Trubkin I. P. Uglevodorody v vodah i donnykh osadkah Belogo morya [Hydrocarbons in water and bottom sediments of the White Sea] // *Problemy Arktiki i Antarktiki*. 2015. N 3 (105). P. 77–89.

18. Kadashova N. A. Fiziko-geograficheskie aspekty prirodopolzovaniya v Belom more [Physical-geographical aspects of natural resource management in the White Sea] : dis. ... kand. geogr. nauk : 25.00.23. M., 2011. 175 p.

19. Bulavina A. S., Dzhenyuk S. L. Defitsit solenosti kak pokazatel vozdeystviya rechnogo stoka na morskuyu sredu [The salinity deficit as an indicator of the impact of river runoff on the marine environment] // *Nauka Yuga Rossii*. 2017. V. 13, N 2. P. 50–59.

#### **Сведения об авторе**

**Булавина Александра Сергеевна** – ул. Владимирская, 17, г. Мурманск, Россия, 183010; Мурманский морской биологический институт, мл. науч. сотрудник; e-mail: bulavina@mmbi.info

**Bulavina A. S.** – 17, Vladimirskaaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Marine Biological Institute, Junior Researcher; e-mail: bulavina@mmbi.info

A. S. Bulavina

### **Zoning of the White Sea catchment area by the degree of continental runoff influence on the marine environment**

Methodologies for the integral evaluation of the potential impact of continental runoff on the marine aquatic environment have been developed and tested in relation to the catchment area of the White Sea. Integral indicators of pollution potential (PP) and self-purification capacity (SPC) of the river waters have been calculated within the boundaries of the hydrologic areas. The following indicators have been used to calculate the PP: the volume of wastewater and the population density in the catchment area (anthropogenic components of pollution), sediment load (a natural component of pollution). Such natural settings of the catchment as the lake percentage, woodiness and the role of topography in self-purification of rivers have been used to calculate the SPC. The quality of river waters, entering the sea, is the result of the ratio of the proposed integrated indicators. On the basis of the quantitative ratios of PP and SPC, the zoning of the catchment area according to the degree of the negative impact of river waters on water quality in the White Sea has been performed. The resulting zoning scheme is demonstrated as a holistic picture, representing a complex of natural-economic factors on the river catchments of the White Sea basin. It has been revealed that river runoff from a considerable part of the catchment area has not a significant negative impact on the water quality on the White Sea. The greatest pollution effect on the waters of the White Sea has the Northern Dvina River and the Niva River. The obtained data are well correlated with the data of hydrochemical observations in the bays of the White Sea. The objectivity of integrated assessment has been provided by the base on a large number of field data and the exception of the indicators that have not quantitative expression. The obtained results can be used to develop scientifically valid environmental programmes and to plan industrial development in the catchment area.

**Key words:** White Sea catchment area, continental runoff, integral assessment, anthropogenic load, self-purification of rivers.