

УДК 504.06

О. С. РЕШЕТНЯК

Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону,  
Институт наук о Земле Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону**АНТРОПОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ РЕКИ КОЛЫМЫ**

На основе многолетней режимной гидрологической и гидрохимической информации Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды Росгидромета проведены расчет объемов и модулей притока химических веществ и оценка изменчивости антропогенной нагрузки на различных участках по длине р. Колымы. Антропогенная нагрузка на отдельный участок реки оценивалась с использованием максимальных значений модуля притока растворенных химических веществ в конкретном пункте наблюдений. По притоку химических веществ она определена как малая и умеренная в отношении легкоокисляемых органических веществ, азота аммонийного и нефтепродуктов почти на всех исследуемых участках. Показана тенденция снижения содержания азота аммонийного и нефтепродуктов вниз по течению реки. Наиболее напряженная ситуация наблюдается в районе пос. Усть-Среднекан, где антропогенная нагрузка характеризуется как критическая. В случае, когда антропогенная нагрузка по притоку соединений азота аммонийного, легкоокисляемых органических веществ или нефтепродуктов практически не различается, проводилось сравнение среднесезонных или максимальных значений модулей притока химических веществ со значениями, рассчитанными в соответствии с ПДК. Это позволило выявить направленность изменений уровня антропогенной нагрузки по притоку химических веществ.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, р. Колыма, водные экосистемы, приток химических веществ, модуль притока.

*Long-term routine hydrological and hydrochemical information from the State Service for Observation and Monitoring of the Natural Environment at Rosgidromet was used to calculate the volumes and modules of the inputs of chemical substances, and to assess variability in anthropogenic load on different stretches along the length of the Kolyma river. An assessment of the anthropogenic load on a separate stretch of the river was made by using maximum values of the input modulus of dissolved chemical substances at a particular observation point. According to the inputs of chemical substances, it was assessed as small and moderate in respect to readily oxidizable organic matter, ammonia nitrogen and petroleum products in almost all the stretches under investigation. The tendency for a decrease in content levels of ammonia nitrogen and petroleum products downstream the river is demonstrated. The most severe situation is observed in the area of the village of Ust'-Srednekan where the anthropogenic load is characterized as critical. In the case where the assessment results indicated that the anthropogenic load was identical according to the inputs of ammonia nitrogen compounds, readily oxidizable organic matter or petroleum products, a comparison was made of mean long-term or maximum values of the input modules of chemical substances with the values calculated in accordance with MPC. It was thus possible to identify the trend of changes in the level of anthropogenic load from the inputs of chemical substances.*

Keywords: anthropogenic load, Kolyma river, water ecosystems, input of chemical substances, input modulus.

**ВВЕДЕНИЕ**

Антропогенная нагрузка рассматривается как прямое и косвенное воздействие человека и его деятельности на окружающую среду в целом или на ее отдельные компоненты (ландшафты, почвы, атмосферу, гидросферу, биоту и др.). Речной бассейн как единая геосистема испытывает определенную внешнюю нагрузку, которая различается на разных участках. Это обусловлено региональными особенностями и степенью освоенности территории, спецификой антропогенного воздействия и самоочищающей способностью водных экосистем.

Адаптационная способность речного бассейна не бесконечна, но достаточно велика, и до некоторой стадии природный самоочищающий потенциал справляется с антропогенным воздействием, поддерживая экосистему на определенном уровне. Если воздействие превышает возможность экосистемы к самовосстановлению, то происходит ее изменение и переход в новое состояние.

В последнее время отмечается рост антропогенной нагрузки на водные объекты от точечных источников загрязнения, что обусловлено увеличением численности населения и усилением процесса урбанизации, а также широким использованием в промышленности и бытовой сфере «мокрых» технологий, значительно загрязняющих поверхностные воды [1].

Возрастает и нагрузка в бассейнах крупных рек России, которые собирают растворенные и взвешенные в воде вещества с огромных площадей и транспортируют их вниз по течению. Компонентный

состав речного стока формируется под влиянием таких факторов, как региональное распространение загрязняющих веществ, сорбция их речным льдом из атмосферы и самой реки в течение ледостава, миграция химических веществ, биоаккумуляция и вовлечение их в пищевые цепи и др. [2–4].

Река Колыма — одна из крупных рек северо-восточной части Сибири. Своеобразие природных условий региона существенно сказалось на формировании речной сети. Более 80 % площади водосбора Колымы имеет горный рельеф, а остальная часть приходится на Колымскую низменность. Кроме того, река питается водами многочисленных притоков, основная часть которых находится в верховьях. В низменной части водосбора заметно снижается питание подземными водами и поступление атмосферных осадков вследствие их затрудненной инфильтрации из-за сильного промерзания грунтов [5].

При изучении состояния водных экосистем или оценке антропогенной нагрузки необходимо учитывать экологическую ситуацию на водосборе, качество вод и важность водотока. Региональная значимость Колымы состоит в обеспечении оптимального функционирования одной из приоритетных отраслей — рыбохозяйственной, которая во многом зависит от качества воды.

В силу своего географического положения и гидрологических особенностей речные экосистемы Колымы и ее притоков являются средой обитания и местом сохранения генофонда ценных промысловых видов рыб Восточно-Сибирского рыбохозяйственного бассейна. Различные их участки служат местами нереста и нагула жилых (хариус, ленок, сиг-пыжьян, тугун, пелядь и др.) и полупроходных (сиг, омуль, осетр, ряпушка, чир, нельма, муксун) рыб. Через дельту и нижнее течение Колымы пролегают миграционные пути проходных и полупроходных рыб, осуществляются откорм и формирование нерестовых стад нельмы, ряпушки, омуля и муксуна [6–8].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на основе многолетней режимной гидрологической и гидрохимической информации Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды Росгидромета. Основные характеристики пунктов наблюдений по длине р. Колымы (расстояние от устья, площадь водосбора и среднегодовалый водный сток, рассчитанный за период с 1980 по 2010 г.) приведены в табл. 1.

Оценка антропогенной нагрузки на отдельный участок реки проводилась по максимальным значениям модуля притока растворенных химических веществ в конкретном пункте наблюдений [10, 11]. В число используемых параметров включены легкоокисляемые органические вещества (ЛООВ), азот аммонийный и нефтепродукты, резкое изменение содержания которых в водной среде может оказать негативное воздействие на состояние экосистемы в целом, а также привести к нарушению структурно-функциональных характеристик сообществ водных организмов.

Для определения значений модуля притока (как отношения среднегодового объема притока к площади водосбора) сначала проводится расчет объемов притока растворенных химических веществ (в соответствии с РД 52.24.508) [12] по формуле

$$G = \sum_{i=1}^m W_i \cdot \bar{C}_i, \quad (1)$$

где  $G$  — количество перенесенного вещества за расчетный период, тыс. т;  $m$  — число интервалов расчетного периода;  $W_i$  — объем стока воды за  $i$ -й интервал расчетного периода, км<sup>3</sup>;  $\bar{C}_i$  — средняя концентрация вещества за  $i$ -й интервал расчетного периода, мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 1

Характеристика пунктов наблюдений по длине р. Колымы [9]

Пункт наблюдений	Расстояние от устья, км	Площадь водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	Среднегодовой водный сток, км <sup>3</sup>
пос. Дебин	1804	81,5	14,7
пос. Усть-Среднекан	1623	99,4	23,3
г. Среднеколымск	641	361,0	64,7
с. Колымское	273	526,0	101,0
пос. Черский	120	635,0	122,2

## Классификатор оценки антропогенной нагрузки по модулю притока растворенных химических веществ [10, 11]

Антропогенная нагрузка	Диапазон значений модуля притока, превышающих верхнюю границу модального интервала, т/(км <sup>2</sup> ·год)		
	азота аммонийного	ЛООВ (по БПК <sub>5</sub> )	нефтепродуктов
Малая	<0,05	<0,50	<0,05
Умеренная	0,06–0,10	0,51–1,0	0,06–0,10
Критическая	0,11–0,20	1,1–1,5	0,11–0,30
Высокая	0,21–0,30	1,6–2,0	0,31–0,50
Очень высокая	0,31–0,60	2,1–3,0	0,60–1,00
Экстремальная	>0,60	>3,0	>1,00

Использование модуля притока химических веществ позволяет не только оценивать антропогенную нагрузку, но и сравнивать по этому показателю речные экосистемы или их участки, различающиеся объемами годового водного стока и площадями водосбора [10, 11]. Критерии оценки антропогенной нагрузки по модулю притока химических веществ представлены в табл. 2.

## ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКАХ РЕКИ КОЛЫМЫ

Основными источниками загрязнения поверхностных вод в бассейне реки продолжают оставаться сточные воды предприятий золотодобывающей и углеперерабатывающей промышленности, жилищно-коммунального хозяйства, а также поверхностный сток с территорий населенных пунктов в периоды повышенной водности. В водные объекты бассейна поступают различные загрязнители, в том числе большое количество взвешенных веществ и соединений тяжелых металлов. Загрязнение нефтепродуктами происходит за счет маломерного флота, стоянки которого имеются во всех поселках, расположенных по берегам Колымы [13].

Из условий формирования притока растворенных веществ наиболее характерным является повсеместное распространение мощного слоя многолетней мерзлоты, сильно ослабляющей способность реки к самоочищению. В связи с этим следует считать определяющими в отношении объемов и компонентного состава растворенных химических веществ, поступающих в русло реки, такие факторы загрязнения, как сбросы сточных вод с объектов водного транспорта, угольной промышленности, коммунального хозяйства и энергетики.

Проведенные ранее расчеты объемов притока основных загрязняющих веществ [10, 13] и оценка их изменчивости по длине Колымы показали, что речной перенос следует рассматривать как основной механизм распространения загрязнителей [13]. Значительные объемы таких вредных веществ, как ЛООВ, фенолы, нефтепродукты и соединения тяжелых металлов, попадают на устьевый участок за счет транспорта по реке и локального поступления, изменяя при этом компонентный состав водной среды. Так, среднесезонный объем притока по нефтепродуктам возрастает в 6 раз при речном переносе от пос. Дебин (1,51 тыс. т/год) к пос. Черский (9,05 тыс. т/год), расположенному в 120 км от устья. Среднесезонный объем притока по фенолам при речном переносе возрастает в 20 раз: от 0,034 тыс. т/год у пос. Дебин и 0,018 тыс. т/год на замыкающем створе реки у г. Среднеколымска до 0,370 тыс. т/год на речной границе у с. Колымского и 0,698 тыс. т/год в вершине дельты у пос. Черский [10, 13].

Результаты расчета и определения диапазона максимальных значений модулей притока химических веществ (превышающих верхнюю границу модального интервала значений) на различных участках р. Колымы позволили оценить изменчивость антропогенной нагрузки по длине водотока. По длине реки она определена (табл. 3) как: малая и умеренная по притоку ЛООВ на всех исследуемых участках; малая и умеренная по притоку азота аммонийного у г. Среднеколымска и с. Колымского и переходная в критическую и критическая у пос. Усть-Среднекан и пос. Дебин; малая и умеренная по притоку нефтепродуктов почти на всех исследуемых участках, кроме пос. Усть-Среднекан, где нагрузка оценивается как критическая.

В целом можно говорить о тенденции снижения антропогенной нагрузки по притоку азота аммонийного вниз по течению (от критической к малой и умеренной).

Диапазон устойчивости экосистемы на разных участках реки будет зависеть от региональных особенностей, локальных источников загрязнения и многих других факторов. Обнаружено, что ант-

Таблица 3

## Антропогенная нагрузка по модулю притока химических веществ на различных участках р. Колымы

Пункт наблюдений	Азот аммонийный		ЛООВ (по БПК <sub>5</sub> )		Нефтепродукты	
	Модуль притока (min–max), т/(км <sup>2</sup> ·год)	Антропогенная нагрузка	Модуль притока (min–max), т/(км <sup>2</sup> ·год)	Антропогенная нагрузка	Модуль притока (min–max), т/(км <sup>2</sup> ·год)	Антропогенная нагрузка
пос. Дебин	0,111–0,210	Критическая	0,411–0,545	Малая	0,022–0,068	От малой к умеренной
пос. Усть-Среднекан	0,091–0,143	От умеренной к критической	0,255–0,551	Малая	0,134–0,206	Критическая
г. Среднеколымск	0,016–0,024	Малая	0,027–0,404	Малая	0,010–0,019	Малая
с. Колымское	0,020–0,061	Малая	0,530–1,120	Умеренная	0,020–0,036	Малая
пос. Черский	0,060–0,078	Умеренная	0,540–0,856	Умеренная	0,020–0,090	Умеренная

ропогенная нагрузка по притоку соединений азота аммонийного, ЛООВ и нефтепродуктов мало различается на протяжении реки, поэтому для более глубокого исследования выполнено сравнение среднесуточных или максимальных значений модулей притока химических веществ со значениями, рассчитанными в соответствии с ПДК. Это позволяет выявить направленность изменений уровня антропогенной нагрузки.

Для этого рассчитывали среднесуточные значения объемов притока (тыс. т/год) и модуля притока (т/(км<sup>2</sup>·год)) химических веществ за период с 1980 по 2010 г. Если данные по водному стоку за какой-либо год отсутствовали, то в расчете использовали значение среднесуточного водного стока в конкретном пункте наблюдений (см. табл. 1). Значения объемов притока химических веществ вычисляли по их ПДК и среднесуточным значениям водного стока с применением формулы (1). При этом значения модулей притока, вычисленные как отношение значений допустимого объема притока химического вещества к площади водосбора в конкретном пункте наблюдений, также можно считать допустимым модулем притока.

В дальнейшем максимальные значения модуля притока химических веществ, используемые при определении антропогенной нагрузки, сравнивали с их допустимыми значениями и определяли, есть ли превышение и во сколько раз.

Таблица 4

## Характеристики объемов притока химических веществ на различных участках по длине р. Колымы

Пункт наблюдений	Показатель	Азот аммонийный	ЛООВ (по БПК <sub>5</sub> )	Нефтепродукты
пос. Дебин	I	17,11 (7,190)	44,42 (26,70)	5,54 (1,51)
	II	0,210 (0,088)	0,545 (0,328)	0,068 (0,018)
	III	5,73 (0,070)	29,4 (0,361)	0,735 (0,009)
пос. Усть-Среднекан	I	14,21 (7,92)	54,77 (26,1)	20,48 (8,85)
	II	0,143 (0,079)	0,551 (0,262)	0,206 (0,089)
	III	9,09 (0,091)	46,6 (0,469)	1,16 (0,012)
г. Среднеколымск	I	8,66 (3,17)	145,84 (68,0)	6,86 (3,15)
	II	0,024 (0,009)	0,404 (0,188)	0,019 (0,009)
	III	25,2 (0,070)	136,0 (0,377)	3,23 (0,009)
с. Колымское	I	32,09 (11,63)	589,1 (222,7)	18,94 (5,94)
	II	0,061 (0,022)	1,12 (0,423)	0,036 (0,011)
	III	39,4 (0,066)	202,0 (0,339)	5,05 (0,008)
пос. Черский	I	49,53 (14,77)	543,6 (264,5)	57,15 (9,05)
	II	0,078 (0,023)	0,856 (0,416)	0,090 (0,014)
	III	47,6 (0,074)	244,4 (0,378)	6,11 (0,009)

Примечание. I — максимальный и среднесуточный (в скобках) объемы притока химических веществ, тыс. т/год; II — максимальный и среднесуточный (в скобках) модуль притока химических веществ, т/(км<sup>2</sup>·год); III — объем притока химических веществ (тыс. т/год) и значение модуля притока химических веществ (т/(км<sup>2</sup>·год)), рассчитанные по их ПДК.

Так, сравнивая максимальные значения модуля притока нефтепродуктов (см. табл. 3 и 4), при которых нагрузка на экосистему оценена как малая, и значения, рассчитанные по ПДК, можно отметить, что превышение составляет 7,6 раза в районе пос. Дебин, 4,5 — у с. Колымского и 2,1 раза — на участке у г. Среднеколымска. Это косвенно свидетельствует о снижении нагрузки по нефтепродуктам вниз по течению реки. На участке у пос. Черский, где антропогенная нагрузка по притоку ЛООВ и нефтепродуктов условно оценивается как умеренная (см. табл. 3), максимальные значения модулей притока этих веществ превышают значения, рассчитанные по ПДК, в 2,3 и 10 раз соответственно (см. табл. 4).

Наибольшую (критическую) антропогенную нагрузку по притоку азота аммонийного и нефтепродуктов испытывает экосистема реки у пос. Усть-Среднекан. При этом отметим, что если превышение по максимальным значениям модуля притока для азота аммонийного (над значением модуля притока, рассчитанного по ПДК) составляет всего 1,6 раза, то для нефтепродуктов — 17,2 раза, т. е. нагрузка по притоку нефтепродуктов более существенна.

Таким образом, в случае если по классификатору антропогенная нагрузка заметно не отличается (малая или умеренная), то использование приведенного выше подхода дает возможность дифференцировать степень негативного воздействия человека на разных участках водотока, выявить тенденции изменения нагрузки по притоку химических веществ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценка антропогенной нагрузки на водные объекты представляет собой достаточно сложную задачу в силу динамичности водотоков, комплексности антропогенного воздействия, глобальных климатических изменений, специфичности региональных природных факторов формирования химического состава воды и различных геоэкологических явлений.

В условиях быстро меняющихся внешних факторов воздействия наблюдается постепенная трансформация гидролого-гидрохимического состояния водных экосистем на разных участках р. Колымы. Усиление антропогенной нагрузки и ухудшение качества воды происходят в первую очередь из-за поступления заметных количеств загрязняющих веществ с речным стоком, смыва с водосборной территории, а также глобальных процессов загрязнения окружающей среды.

На основе многолетней (1980–2010) режимной гидрологической и гидрохимической информации Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей среды Росгидромета проведен расчет значений модуля притока химических веществ на различных участках р. Колымы, что позволило оценить изменчивость антропогенной нагрузки по длине водотока.

Почти на всех исследуемых участках антропогенная нагрузка по притоку химических веществ оценена как малая и умеренная в отношении легкоокисляемых органических веществ, азота аммонийного и нефтепродуктов. В целом можно говорить о тенденции снижения антропогенной нагрузки по притоку азота аммонийного и нефтепродуктов вниз по течению реки.

Наиболее острая ситуация наблюдается в районе пос. Усть-Среднекан, где антропогенная нагрузка по притоку азота аммонийного и нефтепродуктов оценивается как критическая.

Следует иметь в виду, что усиление негативного воздействия человека на водные экосистемы может ускорить трансформацию абиотической и биотической компоненты, изменить состав и степень загрязненности водной среды, что, в свою очередь, нарушит экологическое состояние реки.

Оценка антропогенной нагрузки на водные экосистемы приобретает важное значение при принятии мер по предотвращению загрязнения водных объектов, сохранению их в естественном состоянии, минимизации риска экологического ущерба качеству поверхностных вод.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Котляков В. М.** Природа России испытывает двойную нагрузку // *Вестн. РАН.* — 1992. — Вып. 8. — С. 65–75.
2. **Никаноров А. М., Брызгалов В. А., Косменко Л. С., Решетняк О. С.** Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области // *Вод. ресурсы.* — 2010. — № 4. — С. 434–444.
3. **Никаноров А. М., Брызгалов В. А., Косменко Л. С. и др.** Роль речного притока растворенных химических веществ в антропогенной трансформации состояния водной среды устьевой области р. Волга // *Вода: химия и экология.* — 2010. — № 7. — С. 6–12.



4. **Никаноров А. М., Брызгалов В. А., Косменко Л. С. и др.** Антропогенная нагрузка на устьевую область р. Дон в современных условиях техногенного воздействия // Вода: химия и экология. — 2011. — № 1. — С. 4–10.
5. **Чистяков Г. Е.** Водные ресурсы рек Якутии. — М.: Наука, 1964. — 256 с.
6. **Новиков А. С.** Рыбы реки Колымы. — М.: Наука, 1966. — 134 с.
7. **Леванидов В. Я.** Экология лососевых рыб Дальнего Востока // Беспозвоночные животные в экосистемах лососевых рек Дальнего Востока. — Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1981. — С. 3–21.
8. **Кириллов А. Ф.** Промысловые рыбы Якутии. — М.: Науч. мир, 2002. — 194 с.
9. **Каталог** кодов пунктов гидрологических наблюдений на реках России. Вып. 9: Бассейны рек восточной части Восточно-Сибирского моря, Чукотского, Берингова и Охотского морей, Сахалина. — М.: ВНИИГМИ-МЦД, 2006. — 46 с.
10. **Никаноров А. М., Иванов В. В., Брызгалов В. А.** Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. — Ростов н/Д: Изд-во «НОК», 2007. — 280 с.
11. **Р 52.24.776–2012.** Рекомендации. Оценка антропогенной нагрузки и риска воздействия на устьевые области рек с учетом их региональных особенностей. — Ростов н/Д: Росгидромет; Изд-во Гидрохим. ин-та, 2012. — 32 с.
12. **РД 52.24.508–96.** Методические указания. Организация и функционирование подсистемы мониторинга состояния трансграничных поверхностных вод суши. — М.: Росгидромет, 1999. — 44 с.
13. **Никаноров А. М., Брызгалов В. А., Косменко Л. С., Решетняк О. С.** Устьевая область р. Колыма в современных условиях антропогенного воздействия // Метеорология и гидрология. — 2011. — № 8. — С. 74–88.

*Поступила в редакцию 15 апреля 2014 г.*