

ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ РЕКИ НИЖНЯЯ ТУНГУСКА КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА

ДУРНЕВ В.Ф.

Главный специалист НИЛ «ЭПРИС», к.г.н., г. Красноярск

epris@inbox.ru

КОСМАКОВ И.В.

Директор Научно-исследовательской лаборатории по экологии природных систем (НИЛ «ЭПРИС»), д.г.н., г. Красноярск

epris@inbox.ru

Аннотация

В статье приведены результаты совместного анализа данных по средним месячным расходам воды и относительному содержанию основных ионов в реке Нижняя Тунгуска. Показана возможность негативных изменений в гидрохимическом режиме реки при антропогенном воздействии

Ключевые слова

Нижняя Тунгуска; минерализация; расходы воды; основные ионы, экологический риск



Введение

Река Нижняя Тунгуска берет начало на северном склоне Лено-Ангарского водораздела. Ее длина составляет 2989 км, площадь водосбора - 473 000 км² [9]. Бассейн реки расположен в пределах Среднесибирского плоскогорья в зоне вечной мерзлоты. Мощность мерзлых пород на водо-

разделах составляет 200-300 м, в долине реки - 40-80 м, а под руслом их преимущественно нет [2]. Под толщей мерзлых пород залегают подземные рассолы с содержанием солей от 200 до 500 г/дм³ [2, 5].

На своем протяжении Нижняя Тунгуска делится по гидрографическим особенностям на два характерных участка. На первом, от ее истока до устья реки Нижняя Кочема, она течет в северном направлении по дну широкой долины, выработанной в толще осадочных песчано-глинистых пород. Ширина реки достигает здесь 200-300 м. Ниже устья Нижней Кочемы долина Нижней Тунгуски суживается и имеет ряд крупных излучин. Ниже села Наканно река поворачивает к западу и на остальном протяжении (1600 км) пересекает Среднесибирское плоскогорье. Чередование твердых коренных пород с более мягкими обуславливает здесь то резкое расширение долины до 2-3 км (рис. 1), то превращение ее в узкое и глубокое каньонообразное ущелье, ограниченное крутыми скалистыми берегами высотой 100-200 м, где в русле встречаются пороги со скоростью течения воды до 4-5 м/с (рис. 2). Ниже устья реки Северная русло достигает ширины 700-800 м, причем глубина воды колеблется от 20 до 100 м.



Рис. 1. Расширение русла реки Нижняя Тунгуска при пересечении Тунгусского плато Среднесибирского плоскогорья



Рис. 2. Сужение русла реки Нижняя Тунгуска при пересечении Тунгусского плато Среднесибирского плоскогорья

Детальному исследованию водного режима Нижней Тунгуски препятствует прежде всего недостаточная изученность ее бассейна. Один створ гидрометрических и гидрохимических наблюдений приходится здесь на площадь 26 300 км², причем водомерные посты в большинстве случаев размещены на выходах рек из гор. Таким образом, значительный спектр природных условий не охвачен сетью таких наблюдений.

Исследования водного режима реки были в полной мере учтены при подготовке справочного издания [9].

Климатические условия рассматриваемого бассейна определяют ряд специфических особенностей формирования качества вод, обуславливающих их уязвимость к антропогенным нагрузкам. Во время снеготаяния почва находится в промерзшем состоянии, так что ее верхний слой является трудно проницаемым для воды в течение этого периода. В летнее же время слабое развитие растительности и тонкий почвенный покров обеспечивают высокий дренаж выпадающих осадков. Следствием преобладания осадков над испарением и замедленной минерализации органических веществ является наличие большого количества мелких заболоченных верховых озер с высоким содержанием гумуса и природно-кислыми водами.

Питание Нижней Тунгуски в большей степени определяется атмосферными осадками, до 75-90% годового стока приходится на весенне-половодье и летне-осенние дождевые паводки. Для режима реки характерны большие подъемы уровня во время весеннего половодья, проходящего обычно в мае - июне в виде одной мощной волны, сформированной талыми снеговыми водами. Максимум половодья на верхнем участке реки приходится на май, в среднем течении и низовье - обычно на июнь (табл. 1).

Табл. 1

Средние месячные и годовые расходы воды на различных участках реки Нижняя Тунгуска, $\text{м}^3/\text{с}$

| Пункт наблюдений* | Период набл., гг. | F^* , км^2 | Расход за месяц | | | | | | | | | | | | Расход за год |
|------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------|------|------|------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------------|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| фактория Кислокан | 1952-2003 | 155 000 | 46 | 34 | 28 | 33 | 228 0 | 305 0 | 704 | 495 | 464 | 249 | 11 3 | 70 | 632 |
| пгт Тура | 1939-1995 | 268 000 | 61 | 44 | 36 | 43 | 398 0 | 911 0 | 239 0 | 152 0 | 157 0 | 527 | 15 4 | 97 | 1640 |
| фактория Большой Порог | 1938-2006 | 447 000 | 32 6 | 25 1 | 21 2 | 22 9 | 756 0 | 195 00 | 496 0 | 288 0 | 341 0 | 181 0 | 66 0 | 46 9 | 3530 |

* F - площадь водосбора.

Модуль среднемноголетнего стока увеличивается по длине реки. Так, у фактории Кислокан он равен 4,08, у поселка городского типа Тура - 6,12, а у фактории Большой Порог - 7,90 $\text{л}\cdot\text{с}/\text{км}^2$ (максимальные расходы воды приведены в табл. 2) Рост модуля стока по длине реки говорит об увеличении водообильности притоков и о большей увлажненности их бассейнов. В основном это реки, берущие начало на плато Путорана.

Табл. 2

Максимальные расходы воды на различных участках реки Нижняя Тунгуска, $\text{м}^3/\text{с}$

| Общая характеристика расхода | Пункт наблюдений | | |
|------------------------------|---------------------|---------------------|------------------------|
| | фактория Кислокан | пгт Тура | фактория Большой Порог |
| Средний | 7210 | 20 200 | 40 300 |
| Наибольший | 11 900 (1994 г.) | 41 300 (1990 г.) | 74 000 (1959 г.) |
| Наименьший | 3700 | 9880 | 18 500 |

Нижняя Тунгуска протекает по малоосвоенной территории с низкой антропогенной нагрузкой. Площадь загрязненных земель в водосборе реки не превышает 2% [6]. Техногенная трансформация этой территории в основном связана со строительством и обустройством буровых площадок и инфраструктуры для проведения геофизических работ, а также с пожарами.

Воды реки используются в качестве источника хозяйствственно-питьевого водоснабжения населенных пунктов, расположенных по ее берегам. Централизованные системы водоснабжения в сельских населенных пунктах отсутствуют.

Гидрохимический режим и качество вод Нижней Тунгуски в основном определяются природными факторами: гидрологическим режимом, составом пород, слагающих водосборную площадь, сплошным распространением многолетнемерзлых грунтов, разгрузкой в русло реки высокоминерализованных подземных вод и др.

Методика исследований

С целью формирования современных представлений о качестве вод реки Нижняя Тунгуска были обобщены результаты многолетних (1984-2008 гг.) гидрохимических наблюдений, ведущихся Государственной сетью наблюдений и контроля загрязнения поверхностных вод суши в створах у поселка городского типа Тура и фактории Большой Порог.

Результаты наблюдений за расчетный период, полученные в указанных точках контроля, были усреднены по значениям расхода воды в соответствующих створах.

Полученные результаты и их обсуждение

Оценка, выполненная согласно методическим указаниям [7], показала наличие значимых статистических связей между концентрацией вещества C и расходом воды Q в реке Нижняя Тунгуска. Значения параметров, рассчитанных для оценки качества связей $C = f(Q)$, приведены в табл. 3.

Табл. 3

Параметры оценки качества статистических связей между концентрацией основных ионов и расходом воды в реке Нижняя Тунгуска

| Пункт наблюдений | Параметр* | Ионы | | | | | | |
|------------------------|--------------------------------|------------------|--------------------|---------------|------------------|------------------|----------------------------|-----------------|
| | | HCO_3^- | SO_4^{2-} | Cl^- | Ca^{2+} | Mg^{2+} | $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ | NH_4^+ |
| пгт. Тура | r | -0,91 | -0,79 | -0,94 | -0,89 | -0,93 | -0,91 | 0,71 |
| | S/σ | 0,43 | 0,61 | 0,37 | 0,46 | 0,38 | 0,80 | 0,68 |
| | Качество статистич. связи [10] | хорошая | удовл. | хорошая | хорошая | хорошая | удовл. | удовл. |
| Фактория Большой Порог | r | -0,94 | -0,94 | -0,96 | -0,96 | -0,97 | -0,96 | - |
| | S/σ | 0,30 | 0,37 | 0,31 | 0,27 | 0,25 | 0,38 | - |
| | Качество статистич. связи [10] | хорошая | хорошая | хорошая | хорошая | хорошая | хорошая | - |

* r - коэффициент корреляции линейной связи между концентрацией основных ионов C и расходом воды Q ; σ - среднеквадратическое отклонение для анализируемого ряда значений C ; S - среднеквадратическая погрешность результатов проверочных расчетов значений C по найденному уравнению регрессии.

Оценка с помощью непараметрического статистического критерия Вилкоксона - Манна - Уитни [10] показала значимые различия между выборками концентраций главных ионов (Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^-) в исследуемых створах.

Совместный анализ данных по средним месячным расходам воды (см. табл. 1) и относительному содержанию основных анионов (рис. 3) показал, что вода в створе у пгт Туры в диапазоне среднемесячных расходов относится к классу хлоридных вод группы кальция III типа. Содержание анионов Cl^- изменяется от 25 до 42 %-экв., HCO_3^- - от 11 до 21 %-экв. На пике весеннего половодья, когда расходы воды достигают максимальных значений (см. табл. 2) в течение непрерывного периода, класс воды может измениться на гидрокарбонатный (см. рис. 3). Среди катионов на протяжении всего гидрологического цикла преобладают ионы Ca^{2+} , содержание которых изменяется от 19 до 26 %-экв. Содержание $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ колеблется от 9 до 22 %-экв., Mg^{2+} - от 6 до 10 %-экв.

В период зимней межени минерализация воды составляет от 220 до 410 мг/л, достигая в отдельные годы значений 0,85-1,10 г/л. Во время пика и на спаде весеннего половодья характерно резкое снижение минерализации до 42-160 мг/л.

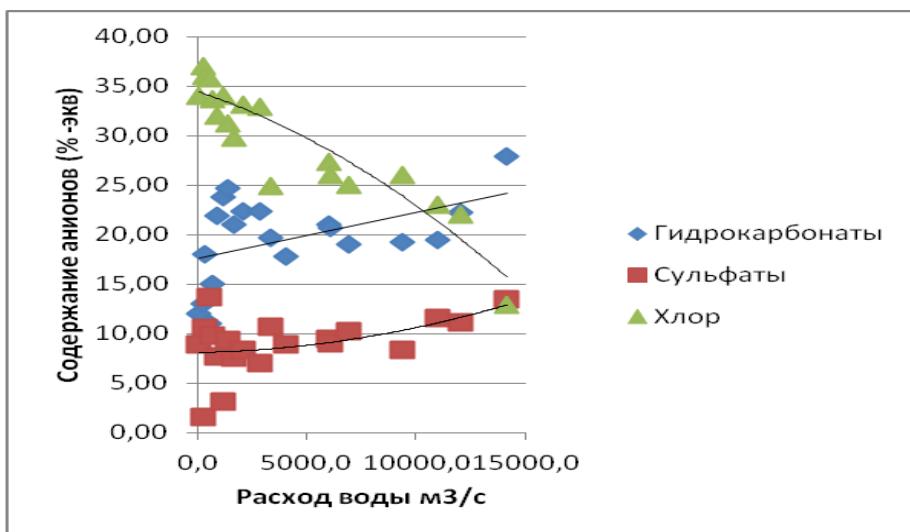


Рис. 3. Связь расходов воды с содержанием анионов (%-экв.) в створе у пгт Туры

В нижнем течении реки (в створе у фактории Большой Порог) вода носит хорошо выраженный хлоридный характер в (27-34 %-экв. ионов Cl^-) в период зимней и летней межени при средней общей минерализации 209-460 мг/л. Содержание гидрокарбонатных ионов (рис. 4) в этот период составляет (13-25 %-экв.). С начала до спада весеннего половодья класс воды меняется и при среднемесячных расходах более 4700 м³/с носит гидрокарбонатный характер (см. рис. 4). За этот период содержание растворенных солей резко снижается и минерализация составляет 36-92 мг/л. Среди катионов наблюдается резко выраженное преобладание ионов Ca^{2+} (27-30 %-экв.). Относительное содержание ионов Na^+ - K^+ колеблется от 6 до 9 %-экв., Mg^{2+} - от 6 до 11%-экв.

В таблице 4 представлены данные по содержанию в воде основных ионов в среднем и нижнем течении реки Нижняя Тунгуска по накопленным частотам по эмпирическим функциям распределений.

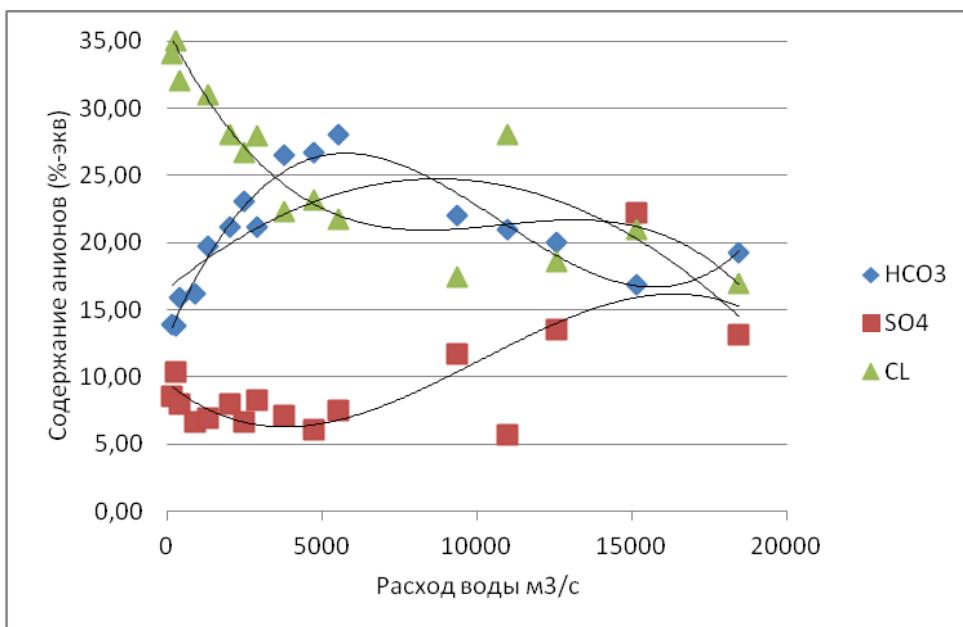


Рис. 4. Связь расходов воды с содержанием анионов (%-экв.) в створе у фактории Большой Порог

Содержание в воде основных ионов, мг-экв./л (распределение по накопленным частотам), в среднем и нижнем течении реки Нижняя Тунгуска

| Пункт наблюдений | Ионы | Накопленные частоты [*] , % | | | | | | |
|------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| | | 2,5 | 10 | 25 | 50 | 75 | 90 | 97,5 |
| пгт. Тура | HCO ₃ ⁻ | 0,149 | 0,254 | 0,400 | 0,800 | 1,620 | 3,000 | 3,610 |
| | SO ₄ ²⁻ | 0,070 | 0,093 | 0,155 | 0,350 | 0,868 | 2,459 | 3,440 |
| | CL ⁻ | 0,102 | 0,246 | 0,380 | 1,580 | 3,836 | 12,550 | 16,100 |
| | Ca ²⁺ | 0,148 | 0,259 | 0,411 | 1,070 | 2,400 | 6,200 | 8,290 |
| | Mg ²⁺ | 0,065 | 0,122 | 0,173 | 0,378 | 0,800 | 1,746 | 2,850 |
| | Na ⁺ +K ⁺ | 0,039 | 0,123 | 0,254 | 0,835 | 1,560 | 6,940 | 9,840 |
| фактория Большой Порог | HCO ₃ ⁻ | 0,156 | 0,235 | 0,364 | 0,748 | 1,050 | 1,840 | 2,050 |
| | SO ₄ ²⁻ | 0,065 | 0,101 | 0,128 | 0,225 | 0,438 | 1,072 | 1,640 |
| | CL ⁻ | 0,112 | 0,156 | 0,357 | 0,784 | 1,785 | 3,850 | 4,620 |
| | Ca ²⁺ | 0,224 | 0,275 | 0,480 | 0,841 | 1,415 | 3,264 | 3,780 |
| | Mg ²⁺ | 0,075 | 0,107 | 0,181 | 0,263 | 0,418 | 0,763 | 1,100 |
| | Na ⁺ +K ⁺ | 0,059 | 0,105 | 0,210 | 0,407 | 0,906 | 1,856 | 2,880 |

* Число случаев (%), в которых наблюдаемая величина равна или меньше показанной.

Особенности водосборной площади обуславливают повышенное содержание в воде Нижней Тунгуски хлоридов, сульфатов, железа, меди, фенолов. Высокое содержание хлоридов и сульфатов характерно для зимней межени, когда сток реки определяется подземным питанием. Представляется, что это происходит за счет природных факторов и обусловлено разгрузкой через трещины в земной коре глубинных рассолов с высоким содержанием хлоридов кальция и натрия при низких уровнях воды в реке [5].

С 2005 года в соответствии с РД 52.24.643-2002 [8] для комплексной оценки качества поверхностных вод введен расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) - комплексного показателя для водных объектов по 14-15 загрязняющим веществам. Значения УКИЗВ могут варьировать в водах различной степени загрязненности от 1 до 16. Большему значению этого индекса соответствует худшее качество воды.

Классификация качества воды по степени загрязненности осуществляется с учетом числа критических показателей загрязненности (КПЗ) и повторяемости случаев превышения предельно допустимых концентраций (ПДК). Значение КПЗ отражает устойчивую либо характерную загрязненность высокого (В3) или экстремально высокого загрязнения (ЭВ3).

Комплексная оценка качества вод реки Нижняя Тунгуска приведена в табл. 5.

Табл. 5

Удельный комбинаторный индекс загрязненности вод реки Нижняя Тунгуска, безразм.

| Пункт наблюдений | Год | | | | | | | | | |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| пгт Тура | 6,04 | 4,18 | - | 6,08 | 5,46 | 6,05 | 5,53 | 5,09 | 4,90 | |
| факт. Большой Порог | 4,79 | 4,71 | 4,43 | 4,54 | 5,29 | 4,17 | 4,29 | 4,84 | 4,28 | |

В соответствии с методическими указаниями [8] по состоянию загрязнения вода Нижней Тунгуски в районе поселка городского типа Тура на протяжении последних лет характеризуется как «очень грязная» и относится к четвертому классу разряда «в», а в районе фактории Большой Порог - как «грязная» и относится к четвертому классу разряда «а» [3, 4].

Анализ и статистическая обработка многолетней (1984-2008 гг.) режимной гидрохимической информации показали, что водная экосистема в течение длительного периода функционирует в условиях поступления в водную среду избыточного количества органических веществ и соединений тяжелых металлов. Основными загрязняющими веществами являются фенолы, нефтяные углеводороды и соединения тяжелых металлов (железа, меди, цинка, алюминия, марганца), средние за исследуемый период концентрации которых превышают ПДК_{рбхз} (предельно допустимые концентрации токсичных компонентов для рыбохозяйственных водоемов) (табл. 6).

Табл. 6

Среднее многолетнее содержание веществ в водах р. Нижней Тунгуски (мг/дм³)

| Пункт наблюдений | Показатель | Вещества или элементы | | | | | | | |
|------------------------|------------|--------------------------------|--------|-------------|------|--------|--------|--------|--------|
| | | N-NH ₄ [*] | фенолы | неф. уг. ** | Fe | Cu | Zn | Al | Mn |
| пгт. Тура | медиана | 0,45 | 0,006 | 0,50 | 0,27 | 0,0110 | 0,0600 | 0,0470 | 0,0210 |
| | среднее | 0,43 | 0,010 | 0,47 | 0,47 | 0,0139 | 0,0899 | 0,1160 | 0,0303 |
| фактория Большой Порог | медиана | 0,38 | 0,005 | 0,33 | 0,39 | 0,0095 | 0,0430 | 0,0790 | 0,0170 |
| | среднее | 0,38 | 0,005 | 0,33 | 0,39 | 0,0095 | 0,0430 | 0,0790 | 0,0170 |

* N-NH₄ - аммонийный азот.

** неф. уг. - нефтяные углеводороды.

По кратности (*K*) превышения ПДК_{рбхз} [5] воду Нижней Тунгуски можно охарактеризовать как имеющую загрязненность «среднего уровня» ($2 < K < 10$) фенолами, нефтяными углеводородами, аммонийным азотом, соединениями железа, цинка, алюминия и марганца (табл. 7). По содержанию соединений меди вода реки имеет загрязненность «высокого уровня» ($10 < K < 50$).

Табл. 7

Кратность превышения ПДК_{рбхз} загрязняющих веществ в воде р. Нижней Тунгуски

| Пункт наблюдений | Вещество или элемент | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------|----------|-----|------|-----|-----|-----|
| | N-NH ₄ | фенолы | неф. уг. | Fe | Cu | Zn | Al | Mn |
| пгт. Тура | 1,1 | 10,0 | 9,4 | 5,3 | 13,9 | 9,0 | 2,9 | 3,0 |
| фактория Большой Порог | 0,9 | 5,0 | 6,6 | 3,8 | 9,4 | 4,3 | 2,0 | 1,7 |

Анализ загрязненности реки по повторяемости (*F*) случаев превышения ПДК_{рбхз} [8] позволяет говорить об «устойчивом» ($30 < F < 50$) загрязнении реки аммонийным азотом (табл. 8), «характерном» загрязнении фенолами, нефтяными углеводородами, тяжелыми металлами (железом, медью, цинком, марганцем), содержание которых превышает ПДК_{рбхз} более чем в 50% отобранных проб.

Табл. 8

Повторяемость случаев превышения ПДК_{рбхз} загрязняющих веществ в пробах воды из р. Нижней Тунгуски

| Пункт наблюдений | Вещество или элемент | | | | | | | |
|------------------------|----------------------|--------|----------|------|------|------|------|------|
| | N-NH ₄ | фенолы | неф. уг. | Fe | Cu | Zn | Al | Mn |
| пгт. Тура | 51,4 | 81,2 | 82,7 | 80,4 | 93,6 | 90,3 | 52,1 | 77,1 |
| фактория Большой Порог | 42,3 | 80,0 | 82,4 | 84,8 | 94,0 | 83,1 | 55,4 | 54,1 |

Следует признать, что одним из существенных недостатков используемой системы определения УКИЗВ является то, что практически не учитываются региональные условия формирования химического состава поверхностных вод, которые отвечают требованиям существования и воспроизводства видов, адаптированных в процессе эволюционного развития к существованию в условиях конкретного водоема. В этом случае цели планируемых водоохранных мероприятий и требования к их эффективности остаются весьма условными.

Основными поставщиками высокоминерализованных вод в Нижнюю Тунгуску в период межени являются реки Кочечум, Тембенчи [9] и Непа. Так, при исследовании радиационной обстановки в северных районах Иркутской области в декабре 2010 года было определено, что минерализация воды в реке Непа составляет 4,4 г/дм³, а в Нижней Тунгуске на 30 км ниже впадения в нее Непы - 2,18 г/дм³ [1].

В среднем за год через створ у фактории Большой Порог проходит 12 тыс. т минеральных веществ, из них 3 тыс. т хлора. Предполагаемое строительство Туруханского водохранилища приведет к дополнительному сбору высокоминерализованных вод в период межени. Кроме того, существует опасность поступления подземных рассолов при таянии мерзлых пород, которые имеют минерализацию от 200 до 500 г/дм³ [2, 5]. Поступление высокоминерализованных вод в создаваемое водохранилище может стать причиной плотностного расслоения вод. А это значит, что будет происходить постоянное накопление воды с высокой минерализацией у дна. Возникшая плотностная стратификация будет способствовать увеличению объема вод с высокой концентрации солей, что в конечном итоге может привести к значительному осолонению всей чаши водохранилища.

Выводы

Совместный анализ данных по средним месячным расходам воды и относительному содержанию основных анионов показал, что вода в среднем течении реки Нижняя Тунгуска в диапазоне среднемесячных расходов относится к классу хлоридных вод группы кальция III типа. На пике весеннего половодья, когда расходы воды достигают максимальных значений в течение непродолжительного периода класс воды может измениться на гидрокарбонатный. В нижнем течении реки вода носит хорошо выраженный хлоридный характер в период зимней и летней межени.

Анализ и статистическая обработка многолетней (1984-2008 гг.) режимной гидрохимической информации показали, что водная экосистема в течение длительного периода функционирует в условиях поступления в водную среду избыточного количества органических веществ и соединений тяжелых металлов. Анализ загрязненности речной воды по признаку повторяемости (*F*) случаев превышения ПДК_{рбхз} позволяет говорить об «устойчивом» ($30 < F < 50$) загрязнении реки аммонийным азотом, «характерном» загрязнении фенолами, нефтяными углеводородами, тяжелыми металлами (железом, медью, цинком, марганцем), содержание которых превышает ПДК_{рбхз} более чем в 50% отобранных проб.

По величине удельного комбинаторного индекса загрязненности воды (УКИЗВ) на протяжении последних лет вода в реке характеризуется как «очень грязная» и относится к четвертому классу разрядов «а» и «в».

В результате принятия решения о строительстве Эвенкийской ГЭС существует экологический риск, связанный со значительным осолонением воды в будущем Туруханском водохранилище.

Список литературы

1. *Дорохов С.В., Павлов А.В., Синицкий В.В., Черняго Б.П.* Радиационная обстановка в северных районах Иркутской области // Аппаратура и новости радиационных измерений (АНРИ). 2013. № 1 (72). С. 58-65.
2. *Никитин М.Р.* Оценка влияния водохранилищ на гидрогеологические условия. М.: Наука, 1990. 96 с.
3. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2007 год: государственный доклад. Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, 2008. 266 с.
4. О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2008 год: государственный доклад. Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, 2009. 237 с.
5. *Озерский А.Ю., Вахрушев А.М., Кошевой А.А.* Быть ли Туруханскому морю живым? // Энергия: экономика, техника, экология. 1988. № 3. С. 7-9.
6. *Прокачева В.Г., Усачев В.Ф.* Сибирский федеральный округ. Загрязненные земли по районам, городским поселениям и в речных водосборах. СПб.: ЛЕМА, 2010. 164 с.
7. РД 52.24.622-2001. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. М.: Росгидромет, 2001.
8. РД 52.24.643-2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. М.: Росгидромет, 2002.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 16. Вып. 1: Енисей. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 721 с.
10. *Холлендер М., Вулф Д.А.* Непараметрические методы статистики. М.: Финансы и статистика, 1983. 518 с.

Выходные данные: Журнал «Инженерные изыскания», №13/2013, С. 68-73