

ОСНОВНЫЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВЕРХНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ЯНА

М. И. Ксенофонтова, кандидат географических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института прикладной экологии Севера СВФУ, ksemaria@mail.ru, Якутск, Россия

В статье приведены результаты гидрохимического мониторинга в бассейне верхнего течения р. Яна. На отдельных участках исследуемого водотока проводятся горнодобычные работы по освоению месторождений золота. Для водотоков бассейна р. Яна характерна очень мягкая вода с малой минерализацией и слабощелочной реакцией среды, состав воды преимущественно $\text{SO}_4\text{—Mg—Ca}$. В микроэлементном составе воды выделяются Mn, Cu и Fe общее. В среднем превышения нормативов предельно-допустимых концентраций для рыбохозяйственных целей по меди составляет 1,2 раз и по общему железу до 2,0 раз. Локальные участки бассейна р. Яна, подверженные техногенному воздействию, по сравнению с региональными фоновыми уровнями имеют высокие значения по Mn, Cu и Fe общему. На таких участках рек отмечается довольно высокое содержание взвешенных веществ, а также наблюдается замещения сульфата как доминирующего аниона и кальция как катиона хлоридами и натрием соответственно.

The article presents the results of hydrochemical monitoring in the upstream of the Yana River basin. Mining operations for the development of gold deposits are carried out in the selected areas of the studied watercourse. The watercourses of the Yana River basin are characterized by low salinity with a weak alkaline medium with very soft water, the composition of the water is mainly $\text{SO}_4\text{—Mg—Ca}$. In the trace element composition of the water, Mn, Cu and Fe are distinguished. On average, the excess of standards for maximum permissible concentrations for fishery purposes for copper is 1.2 times and for total iron up to 2.0 times. The local areas of the Yana River basin exposed to anthropogenic impact, as compared to regional background levels, have high Mn, Cu and Fe values. A relatively high content of suspended solids is noted in the sections of rivers with a technogenic load, and there is also a substitution of sulfate as the dominant anion and calcium as a cation with chlorides and sodium, respectively.

Ключевые слова: река Яна, гидрохимия, поверхностные воды, донные отложения, минерализация, состав воды.

Keywords: the Yana River, hydrochemistry, surface water, sediments, mineralization, composition of water.

Введение. Постоянный мониторинг качества поверхностных вод в бассейне р. Яна по гидрохимическим показателям осуществляется Якутским УГМС. Существующая сеть постов наблюдений подразделений Росгидромета за качеством поверхностных водных объектов организована, в основном, в 60—70-е годы XX века.

В настоящее время на этапе интенсивного промышленного освоения природных ресурсов и урбанизации бассейна р. Яна информационная эффективность государственной системы мониторинга признается недостаточной. В связи с этим ряд научно-исследовательских организаций проводят эпизодические исследования качества вод в бассейне р. Яна, кроме того на участках, подверженных интенсивным техногенным воздействиям, мониторинг осуществляют государственные контролирурующие органы.

Река Яна образуется при слиянии рек Дулгалаах и Сартанг, впадает в море Лаптевых. Длина реки 872 км, площадь водосбора 238 тыс. км², средний годовой расход воды в устье — 1000 м³/с. Название реки имеет эвено-эвенкийское происхождение: йэнэ — большая река. Водосбор реки сложен в основном трудновыщелачиваемыми породами возраста перми, триаса и юры (песчаниками, сланцами, алевролитами и т. д.). Верховья Яны (реки Дулгалаах и Сартанг) имеют горный характер. После выхода в Верхоянскую впадину Яна протекает в широкой долине и приобретает равнинный характер. Русло реки до впадения Адычи узкое, острова и отмели встречаются крайне редко. Река сильно меандрирует, в долине наблюдается множество старичных озер. Ниже впадения р. Адыча водность Яны резко увеличивается. Появляются многочисленные острова, мелкие протоки и галечные отмели. По классификации М. И. Львовича на р. Яна наблюдается смешанный тип питания с преобладанием дождевого [1].

По литературным данным речные воды Яны имеют малую минерализацию (до 89,3 мг/дм³), относятся к гидрокарбонатному типу группы кальция. В летний период вода очень мягкая, в зимнюю межень — мягкая. Величина pH воды на всем протяжении реки изменяется в течение года от 6,60 до 7,80, чаще же она составляет 6,80—7,40. Содержание биогенных элементов незначительно. Кислородный режим удовлетворительный. К наиболее загрязняющим веществам относятся легко- и трудноокисляемые (по БПК₅ и ХПК) органические вещества, соединения меди, железа и фенолы [2].

Материалы и методика. Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера СВФУ в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ с 2015 по 2017 г. проводил комплексные экологические исследования в бассейне верхнего течения р. Яна. В данной статье

приводятся результаты гидрохимических исследований, проведенных в бассейне верхнего течения р. Яна. Всего отобрано 20 проб поверхностных вод и донных отложений в период летне-осенней межени.

Химико-аналитические работы проведены в лаборатории физико-химических методов анализа НИИПЭС СВФУ методами капиллярного электрофореза, атомно-абсорбционной спектроскопии, флуориметрии, титриметрии, потенциометрии, гравиметрии.

В период 2015–2017 гг. гидрохимическое опробование охватывает участки притоков р. Яна, подверженных техногенному воздействию в связи с добычей россыпного месторождения золота. Результаты гидрохимических исследований приведены в табл. 1.

Результаты и обсуждение. В период исследования вода р. *Сартанг* на участке слияния с р. Дулгалах очень мягкая и отличается малой минерализацией (до 30,0 мг/дм³) с нейтральной средой. Состав воды р. Сартанг по классификации Алекина О. А. (1953) [3] преимущественно SO₄—Mg—Ca. Превышения нормативов предельно-допустимых концентраций для рыбохозяйственных целей (далее ПДК_{вр}) выявлено по Mn и Fe_{общ} до 1,9 и 1,3 раз соответственно.

Река *Дулгалах* также характеризуется очень мягкой водой с малой минерализацией (до 37,2 мг/дм³) и нейтральной средой. Состав воды

SO₄—Mg—Ca. Превышения нормативов ПДК_{вр} зафиксированы по марганцу до 1,3 раз и общему железу до 6,9 раз.

Вода р. *Яна* на участке выше и ниже г. Верхоянск имеет малую минерализацию до 35,9 мг/дм³ с нейтральной средой. Состав воды преимущественно SO₄—Mg—Ca. Превышений нормативов ПДК_{вр} по изученным гидрохимическим показателям не выявлено.

Исследованная вода р. Яна на участке выше и ниже п. Батагай характеризуется малой минерализацией с нейтральной средой. В ионном составе воды доминируют SO₄—Mg—Ca. Превышения нормативов ПДК_{вр} в воде р. Яна выявлены по следующим показателям:

- р. Яна выше п. Батагай — Mn до 1,2 раз, Fe до 10,0 раз;
- протока р. Янау п. Батагай — Fe 4,8 раз;
- р. Яна ниже п. Батагай, превышений нормативов ПДК_{вр} не выявлено.

Участок р. Яна выше и ниже впадения р. Адыча характеризуется малой минерализацией до 36,3 мг/дм³. Среда воды нейтральная с очень мягкой водой, состав преимущественно SO₄—Ca—Mg. Превышения нормативов ПДК_{вр} отмечены по Fe до 1,6 раз на участке выше устья р. Адыча.

В бассейне р. Адыча исследованы несколько участков, в том числе 4 ее притока — реки Сентачан, Соревнование, Нельгесе, Чаркы.

Река Адыча — является правым притоком р. Яна. Длина реки составляет 715 км. Площадь бассейна — 89,8 тыс. км². Исток реки находится на южных склонах хребта Боронг на высоте 1815 м. На первых 15 км отметки уровня воды снижаются до 1150 м. В верховьях реки течет в глубоком каньоне со скальными стенками высотой 100–120 м, огибая слева хребет Нендельгинский. Ниже следует чередование широких (до 2 км) и узких (150–200 м) участков долины с крутыми каменистыми склонами.

На химический состав воды р. Адыча, которая до впадения р. Сентачан характеризуется как гидрокарбонатно-магниева, оказывают влияние воды ее притоков (рис. 1), в бассейнах которых ведутся горные работы по добыче месторождений полезных ископаемых (р. Сентачан, руч. Соревнование).

Вода р. Адыча после впадения р. Соревнование остается маломинерализованной со слабощелочной средой, очень мягкая. Состав воды преимущественно HCO₃—SO₄—Mg—Ca. Превышения нормативов ПДК_{вр} в воде р. Адыча ниже впадения р. Соревнование не выявлено. Вода р. Адыча выше устья р. Нельгесе очень мягкая и имеет низкую минерализацию со слабощелочной

Таблица 1

Основные показатели регионального фона гидрохимических параметров бассейна р. Яна

Показатели	Max	Min	Региональный фон (n = 50)
Сумма минеральных веществ, мг/дм ³	75,1	20,8	33,0
Водородный показатель, pH	7,9	7,3	7,6
Жесткость, мг-экв/л	0,9	0,1	0,3
Взвешенные вещества, мг/дм ³	365	2,0	42,2
Ca ²⁺	7,1	1,2	4,0
Mg ²⁺	9,2	0,5	1,7
Na ⁺	2,5	<0,5	0,9
K ⁺	2,1	<0,5	0,9
HCO ₃ ⁻	42,7	6,1	6,7
Cl ⁻	14,9	<0,5	1,1
SO ₄ ²⁻	51,9	3,9	15,5
NO ₃ ⁻	1,0	<0,2	1,0
Mn	0,019	0,004	0,007
Cu	0,002	<0,001	0,0012
Fe общ	1,02	<0,05	0,20

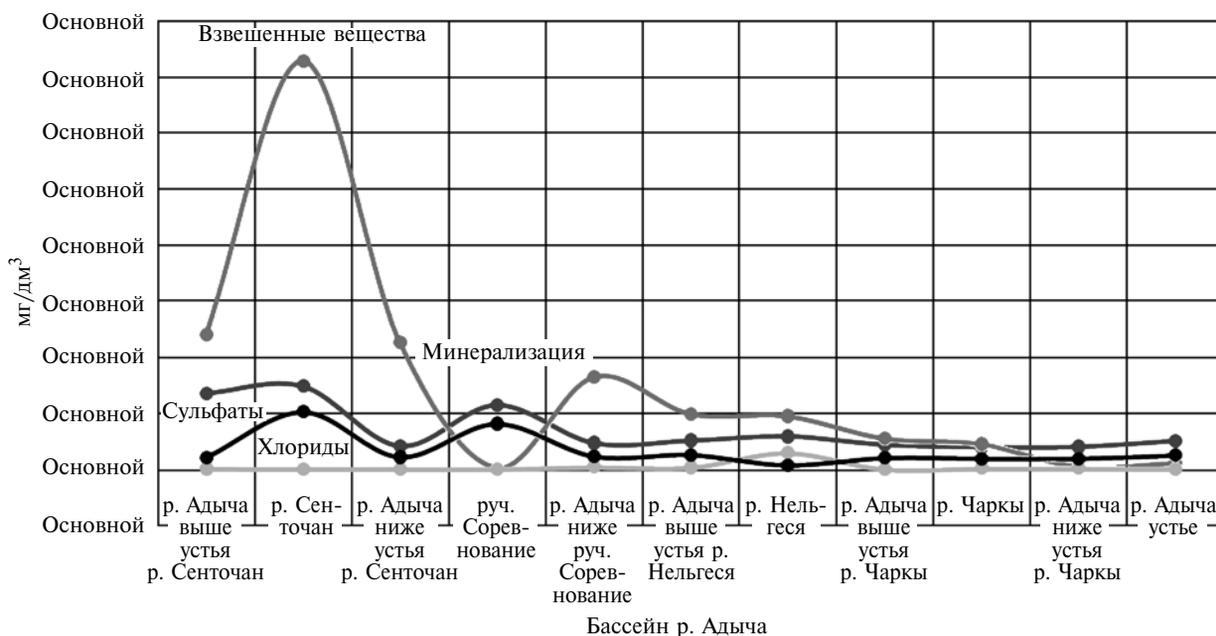


Рис. 1. Изменения содержания некоторых показателей в воде бассейна р. Адыча

средой. В анионном составе воды доминируют SO_4 и HCO_3 , а в катионном — Ca и Mg . Превышения нормативов ПДК_{вр} отмечаются только по общему железу до 5,7 раз.

Река Адыча на участке выше и ниже устья р. Чаркы характеризуется также очень мягкой водой с малой минерализацией и слабощелочной средой. Состав воды р. Адыча по классификации Алекина О. А. преимущественно $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Mg—Ca}$. Превышения нормативов ПДК_{вр} выявлено по марганцу до 1,4 раз в точке наблюдения ниже устья р. Чаркы. Остальные показатели находятся в пределах нормативов ПДК_{вр} или ниже предела обнаружения анализа.

Река Чаркы — правый приток р. Адыча — в период исследования обладает очень мягкой водой с малой минерализацией и слабощелочной средой. Содержание взвешенных веществ составляет 23,0 мг/дм³. Состав воды р. Чаркы преимущественно $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Ca}$. Превышений нормативов ПДК_{вр} по изученным гидрохимическим показателям не выявлено.

Кроме фоновых участков бассейна верхнего течения р. Яна исследованы 2 локальных участка, где ведется добыча россыпного месторождения золота «Лазо» и «Сенточан». Характеристика химического состава вод представлена ниже.

Участок «Лазо». Вода р. Нельгеся очень мягкая и имеет малую минерализацию со слабощелочной средой. Концентрация взвешенных веществ достигает 48,0 мг/дм³. Состав воды р. Нельгеся отличается хлоридно-кальциево-магниевым составом за счет увеличения доли хлоридов и нат-

рия. Превышения нормативов ПДК_{вр} до 2,0 раз зафиксировано в воде р. Нельгеся только по меди.

Участок «Сенточан». Вода р. Сенточан имеет малую минерализацию со слабощелочной средой, также очень мягкая. Отмечается очень высокое содержание взвешенных веществ, достигающее 365 мг/дм³, что выше в среднем в 2 раза, чем в воде р. Адыча. Состав воды преимущественно сульфатно-кальциево-магниевый. Превышение нормативов ПДК_{вр} выявлено по марганцу — до 1,4 раз, по меди — до 2,0 раз и общему железу — до 7,7 раз.

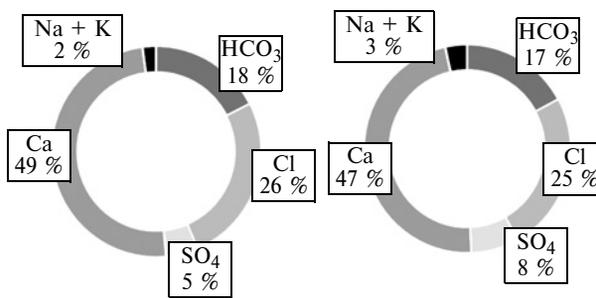
Для оценки качества исследованных вод верховья бассейна р. Яна был рассчитан удельный комбинаторный индекс загрязненности вод (УКИЗВ). Это относительный комплексный показатель степени загрязненности поверхностных вод, который в виде безразмерного числа условно показывает долю загрязняющего эффекта, вносимого в общую степень загрязненности воды, обусловленную одновременным присутствием ряда загрязняющих веществ, в среднем одним из учтенных при расчете комбинаторного индекса ингредиентов и показателей качества воды. Он позволяет проводить сравнение степени загрязненности воды в различных створах и пунктах (РД 52.24.643—2002) [4]. Результаты расчета УКИЗВ представлены в табл. 2.

Характерным загрязняющим веществом в водах рр. Яна и Адыча является общее железо, на отдельных участках — марганец. Возможно, высокие концентрации этих показателей связаны с высоким уровнем воды в период отбора проб.

Донные отложения поверхностных водотоков традиционно используются в качестве экологического индикатора для выявления состава, интенсивности и масштабов техногенного загрязнения. Известно, что русловые отложения как наиболее важный компонент аллювиальных ландшафтов выступают в роли конечного звена всей общей системы сопряжений, объединяющей в себе и геологическую среду, и все составные элементы современных экосистем, включая почвы, природные воды, растительность и атмосферные осадки [5].

Водородный показатель pH исследованных донных отложений варьирует в пределах от 5,8 до 7,2, что соответствует слабокислой и нейтральной среде. По усредненным данным водной вытяжки в ионном составе донных отложений изученных водотоков доминируют хлориды, гидрокарбонаты и кальций (рис. 2).

Для поверхностных водотоков, находящихся в верховьях бассейна р. Яна, рассчитан локальный геохимический фон подвижных форм по цинку, меди, марганцу и свинцу, экстрагированных 1 N азотной кислотой ($n = 20$). Донные отложения изученных водотоков по рассчитанным коэффициентам концентрации (Кк) отличаются прояв-



Нижнее течение р. Адыча Верховья бассейна р. Яна

Рис. 2. Ионный состав исследованных донных отложений

лением повышенных относительно локального геохимического фона концентраций ряда химических элементов. По значениям коэффициентов концентрации построены микроэлементные накопительные ряды, характеризующие состав донных отложений изученных водных объектов (табл. 3), за исключением точек отбора проб, где превышений не зафиксировано.

Выявлено, что наибольшим спектром ряда накопления обладают донные отложения нижнего течения р. Адыча. В р. Сентачан отмечаются относительно высокие коэффициенты накопления меди, цинка и марганца. В остальных пунктах наблюдения превышений значений локального фона не зафиксировано.

Заключение. Для водотоков верховья р. Яна характерна очень мягкая вода с малой минерализацией и слабощелочной средой. Концентрация взвешенных веществ в среднем достигает 42 мг/дм³. Состав воды преимущественно сульфатно-магниево-кальциевый.

В микроэлементном составе воды в водотоках бассейна р. Яна выделяются марганец, медь и общее железо. В среднем превышение нормативов ПДК_{вр} по меди составляет 1,2 раз и по общему железу до 2,0 раз. Максимальное превышение ПДК_{вр} по марганцу составляет 1,9 раз, по меди — до 2,0 раз, по общему железу — до 10 раз.

По сравнению с региональными фоновыми уровнями бассейна р. Яна локальные участки, подверженные техногенному воздействию, имеют высокие значения по марганцу, меди и общему железу. На таких участках рек отмечается довольно высокое содержание взвешенных веществ, а также наблюдается замещение сульфата как доминирующего аниона и кальция как катиона хлоридами и натрием соответственно.

Статья подготовлена в рамках выполнения Государственного задания Минобрнауки РФ № 5.8169.2017/БЧ на выполнение проекта «Исследование сукцессий экосистем Севера под воздействием антропогенных факторов».

Таблица 2
Расчет удельного комбинаторного индекса загрязненности вод

Водоток	УКИЗВ	Характеристика состояния загрязненности воды
р. Яна — верховье	0,83	2-й класс разряд «слабозагрязненная»
р. Адыча — нижнее течение	0,92	2-й класс разряд «слабозагрязненная»

Таблица 3
Геохимическая характеристика донных отложений исследованных водотоков

Точка наблюдения	Ряды накопления
нижнее течение р. Адыча	
T-1 — р. Адыча, выше устья р. Сентачан	Zn _{1,9} → Cu _{1,8} → Mn _{1,7}
T-2 — р. Сентачан выше устья	Cu _{2,4} → Zn _{2,3} → Mn _{1,8}
T-3 — р. Адыча, ниже устья р. Сентачан	Zn _{2,3}
T-4 — руч. Соревнование, выше устья	Cu _{1,7} → Zn _{1,6}
T-5 — р. Адыча, ниже устья руч. Соревнование	Cu _{1,6}
T-6 — р. Адыча, выше устья р. Нельгеса	(Cu-Mn) _{1,6} → Zn _{1,5}

Библиографический список

1. Алекин О. А. Основы гидрохимии. — Л.: Гидрометеиздат, 1953.
2. Аржакова С. К., Жирков И. И., Кусатов К. И., Андросов И. М. Реки и озера Якутии. — Якутск: Бичик, 2007. — 136 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР: Гидрологическая изученность. Т. 17. Лено-Индигирский район. — Л.: Гидрометеиздат, 1974.
4. РД 52.24.643—2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. — Ростов на Дону, 2002.
5. Ягнышев Б. С., Ягнышева Т. А., Зинчук М. Н., Легостаева Я. Б. Экология Западной Якутии (геохимия геосистем: состояние и проблемы). — Якутск: Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005. — С. 432.

MAIN HYDRO-CHEMICAL PARAMETERS OF SURFACE WATERS OF THE UPPER FLOW OF THE YANA RIVER

M. I. Ksenofontova, Ph. D. (Geography), Senior Researcher, Research Institute of Applied Ecology of the North, M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, ksemaria@mail.ru, Yakutsk, Russia

References

1. Alekin O. A. Osnovygidrohimii. [Basics of hydrochemistry]. Leningrad, Hydrometeizdat, 1953. [in Russian]
2. Arzhakova S. K., Zhirkov I. I., Kusatov K. I., Androsov I. M. Reki i ozeraYakutii [Rivers and lakes of Yakutia]. Yakutsk, Bichik, 2007. P. 136. [in Russian]
3. Resursypoverhnostnyhvod SSSR Gidrologicheskayaizuchennost. T. 17. Leno-Indigirskijrajon. [Surface water resources of the USSR: Hydrological study. V. 17. Leno-Indigirsky District]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1974. [in Russian]
4. RD 52 24 643—2002 Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagryaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam [The method of integrated assessment of the degree of contamination of surface water by hydrochemical parameters]. Rostov na Donu, 2002. [in Russian]
5. Yagnyshev B. S., Yagnysheva T. A., Zinchuk M. N., Legostaeva Ya. B. Ekologiya Zapadnoj Yakutii geohimiya geosistem sostoyanie i problem [Ecology of Western Yakutia (geochemistry of geosystems: state and problems)]. Yakutsk: Izd-vo YANC SO RAN, 2005. P. 432. [in Russian]