

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2025, Том 17, № 4 / 2025, Vol. 17, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2025.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/13NZVN425.pdf>

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Бархатов, К. А. Оценка безопасности воды реки Амур для купания в районе г. Хабаровск / К. А. Бархатов, И. В. Гладун, П. Р. Городянка // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/13NZVN425.pdf>.

**For citation:**

Barkhatov K.A., Gladun I.V., Gorodyanko P.R. Assessment of the safety of water in the Amur River for swimming in the Khabarovsk region. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(4): 13NZVN425. Available at: <https://esj.today/PDF/13NZVN425.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 614.7

**Бархатов Кирилл Александрович**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Ассистент Высшей школы управления природными ресурсами, аспирант

E-mail: 012723@togudv.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1528-5333>

РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1214781](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1214781)

**Гладун Игорь Владимирович**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
Доцент Высшей школы управление природными ресурсами

Кандидат биологических наук

E-mail: 006209@togudv.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8667-3019>

**Городянка Полина Романовна**

ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск, Россия  
E-mail: 2018102314@ togudv.ru

## Оценка безопасности воды реки Амур для купания в районе г. Хабаровск

**Аннотация.** Стратегия социально-экономического развития Хабаровского края предполагает развитие рекреационного туризма и отдыха на водоемах в окрестностях краевого центра — г. Хабаровск. На качественный состав вод р. Амур у г. Хабаровск существенное влияние оказывает сток р. Сунгари, загрязненный потенциально токсичными элементами, способными оказывать отрицательное воздействия на здоровье человека. Однако в научной литературе не существует исследований, оценивающих риск для здоровья человека при купании в водах р. Амур в окрестностях г. Хабаровск. В данном исследовании была рассмотрена динамика содержания ряда растворимых металлов в водах р. Амур и пр. Амурская, а также выполнена оценка их потенциального воздействия на здоровье человека в купальный сезон. Общая концентрация растворимых форм металлов в воде пр. Амурская и р. Амур формировала следующий концентрационный ряд: Fe > Al > Mn > Zn > Cu > Pb > Cd. Потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с попадающими в организм металлами при купании пероральным и кожными путями, были меньше 1, что указывало на фоновый уровень заболеваемости. Из особенностей изменения неканцерогенных рисков по фазам гидрологического режима следует отметить, что они возрастали по большинству изученных металлов в летне-осеннюю межень. Выполненная оценка для канцерогенных элементов Cd и

Р<sup>б</sup> дополнительной вероятности развития рака показала, что канцерогенный риск является приемлемым. В воде пр. Амурская величина канцерогенного риска Cd при пероральном поступлении повышалась для детей в фазу дождевого паводка, а в р. Амур — летне-осеннюю межень. Результаты исследования расширяют знания о качестве воды р. Амур и ее безопасности для здоровья населения в купальный сезон.

**Ключевые слова:** Хабаровский край; купальный сезон; поверхностные природные воды р. Амур; потенциально токсичные элементы; оценка риска для здоровья; неканцерогенный риск; канцерогенный риск

## Введение

Одной из важных глобальных целей устойчивого развития, утвержденной ООН в «Повестке дня в области устойчивого развития на период до 2030 года», является «Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех», предусматривающая комплексное управление водными ресурсами, с особым вниманием к качеству пресной воды, ее безопасности для здоровья человека и природных экосистем [1]. В связи с этим, большое внимание уделяется содержанию в природных водоемах потенциально токсичных элементов (далее — ПТЭ), включая тяжелые металлы, повышенные концентрации которых представляют риск для здоровья населения [2].

Увеличивающиеся темпы индустриализации и урбанизации в бассейне р. Амур, а также климатические изменения, обуславливают привнос ПТЭ на депонирующие среды водосборного бассейна — почву и снежный покров, в дальнейшем повышающий поступление ПТЭ в воды реки в отдельные фазы водного режима и накопление в донных осадках. Обусловлено это тем, что основным видом питания рек водосборного бассейна Амура являются осадки, доля которых составляет 50–70 % годового стока [3; 4].

Прогнозируется, что ухудшение качества природной воды в бассейне р. Амуре из-за поступления и накопления ПТЭ благодаря антропогенной деятельности, может оказать отрицательное влияние на экономическое развитие и здоровье населения в регионах РФ и провинциях КНР [5; 6].

Стратегия социально-экономического развития Хабаровского края на период до 2030 года предполагает развитие комфортных условий жизни населения и развитие туристической привлекательности региона, включая рекреационный туризм и отдых на водоемах в окрестностях краевого центра — г. Хабаровск.<sup>1</sup> В связи с этим необходимо оценить качество и безопасность для здоровья человека основных водных объектов города — пр. Амурская и р. Амур в летний период, благоприятный для купания детей и взрослых. Актуальность исследования обусловлено тем обстоятельством, что на качественный состав вод р. Амур у г. Хабаровск существенное влияние оказывает сток р. Сунгари, загрязненный ПТЭ и тяжелыми металлами [7; 8], в том числе и от организованных источников сброса производственных вод [9; 10]. В настоящем исследовании была рассмотрена динамика содержания ряда растворимых металлов в водах р. Амур и пр. Амурская, а также выполнена оценка их потенциального воздействия на здоровье человека в купальный сезон.

<sup>1</sup> «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Хабаровского края на период до 2030 года» / постановление Правительства Хабаровского края от 13.06.2018 № 215-пр [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2700201806180001?ysclid=mcu8fm8nau616947274> (дата обращения: 26.06.2025).

### Методика исследования

Бассейн реки Амур, площадью более 1 млн км<sup>2</sup>, занимает 9 место среди крупнейших речных бассейнов мира, река протекает по территории трех государств — России, Китая и Монголии [11]. Объектом исследования служил качественный состав природных вод пр. Амурская и р. Амур в районе г. Хабаровск в купальный сезон, длящийся 40–50 дней [12]. Период купального сезона в участках наблюдения включал три фазы гидрологического режима: конец весеннего половодья (первая декада июня), летне-осенняя межень (вторая декада июня — третья декада июля), дождевой паводок (первая — третья декады августа).

Гидрохимические исследования проводили в 2018–2020 гг. в двух створах: створ № 1 — пр. Амурская; № 2 — р. Амур (с. Владимировка, ЕАО) (рис. 1). Протока Амурская имеет паводочный режим, основным видом питания является дождевое (70–80 % общего объема), обуславливающее многоводность реки в теплый период года, в течение которого проходит 90 % годового стока. Средняя глубина в районе участка наблюдения составляла 0,543 м.

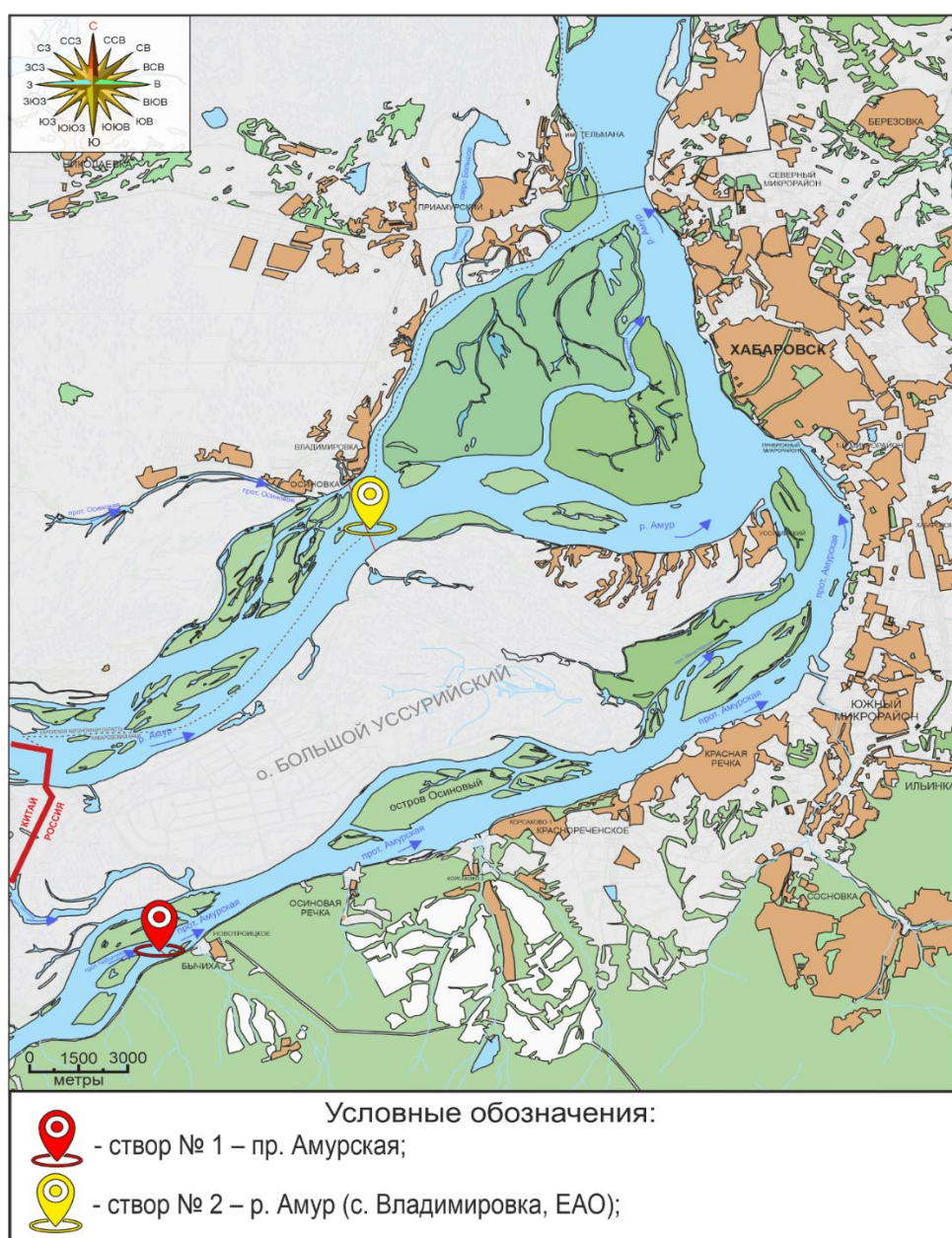


Рисунок 1. Схема расположения створов на пр. Амурская и р. Амур (разработано авторами)

Река Амур в районе с. Владимировка (ЕАО) имеет паводочный режим, основным видом питания является дождевое (70–80 % общего объема), обуславливающее ее многоводность в теплый период года (май-октябрь), в течение которого приходит 90 % годового стока. Средняя глубина в районе участка наблюдения составляла 0,18 м.

Качество воды оценивали по содержанию потенциально токсичных элементов в природной воде в единицах массовых концентраций (мг/дм<sup>3</sup>) — Pb, Zn, Cu, Cd, Al, Fe, Mn. Инструментальный анализ анализируемых металлов был выполнен в аккредитованной лаборатории «Краевой центр экологического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций» (номер записи об аккредитации в реестре аккредитованных лиц RA.RU.21HM79). Отбор проб, хранение образцов природной воды соответствовало требованиям ГОСТ 31861-2012 и ГОСТ Р 59024-2020, химический анализ был выполнен в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.135-98 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации элементов в пробах питьевой, природных, сточных вод и атмосферных осадков методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой» на ISP-спектрометре.

Для оценки риска были выбраны наиболее распространённые и важные пути воздействия воды при купании на здоровье человека: проглатывание и всасывание через кожу [5]. Количество загрязняющих веществ, поглощаемых человеческим организмом при купании, рассчитывается на основе хронического суточного потребления.<sup>2</sup> Стандартная формула расчета средней суточной дозы при случайном заглатывании поверхностной воды при купании:

$$I_{\text{ingestion}} = (C_w \times IR \times EF \times ED \times ET) / (AT \times BW \times 365),$$

где:

$I_{\text{ingestion}}$  — пероральное поступление ПТЭ (мг/(кг×день));

$C_i$  — концентрация ПТЭ в воде (мг/л);

IR — скорость поступления (л/ч);

ET — время воздействия (ч/день);

EF — частота воздействия (дн./год);

ED — продолжительность воздействия (лет);

AT — период усреднения экспозиции (лет); 365 — дней в году.

Стандартная формула расчета средней суточной дозы при накожной экспозиции поверхностной воды во время купания в открытых водоемах:

$$I_{\text{dermal}} = DA_e \times EV \times ED \times EF \times SA / BW \times AT \times 365 \times 1000,$$

где:

$I_{\text{dermal}}$  — абсорбированная накожная доза (мг/(кг×день));

$DA_e$  — абсорбированная доза за событие (мг/см<sup>2</sup> событие).

Для неорганических веществ

$$DA_e = K_p \times C_i \times ET$$

<sup>2</sup> Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей природной среды и условиями проживания населения. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду [Электронный ресурс]. Гарант: справочно-правовая система. URL: <https://base.garant.ru/4181873/?ysclid=mcu854fgyc770797386> (дата обращения: 26.06.2025).

где:

$K_p$  — коэффициент кожной проницаемости (см/час) (табл. 2);

$C_i$  — концентрация ПТЭ в воде (мг/л);

ET — время воздействия (час/событие);

EV — частота контактов (дней);

SA — площадь поверхности кожи (см<sup>2</sup>);

EF — частота воздействия (дн./год);

ED — продолжительность воздействия (лет);

AT — период усреднения экспозиции (лет);

BW — масса тела (кг).

Параметры факторов экспозиции в модели риска для здоровья населения при купании в р. Амур и пр. Амурская приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Параметры факторов экспозиции в модели риска для здоровья**

Фактор экспозиции	Значение		Единица измерения	Литературный источник
	Дети	Взрослые		
Скорость поступления (IR)	0,05 <sup>1</sup>	0,0252	л/ч	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Время воздействия (ET)	3,1	0,8	ч/день	[13]
Частота воздействия (EF)	19,91	11,59	дн./год	[13]
Продолжительность воздействия (ED)	6	30	лет	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Частота контактов (EV)	1	1	контакт/день	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Площадь поверхности кожи (SA)	13 100	18 200	см <sup>2</sup>	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Период усреднения экспозиции (AT)	6 канцерогены: 70	30 канцерогены: 70 лет	лет	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Площадь поверхности кожи	1,31	1,82	м <sup>2</sup>	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Фракция кожи, подвергающаяся воздействию (плавание)	1,0	1,0		Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9
Масса тела (BW)	15	70	кг	Р 2.1.10.1920-04. 2.1.9

Составлено авторами

Справочные сведения об анализируемых ПТЭ были получены в Российском регистре потенциально опасных химических и биологических веществ<sup>3</sup> и открытой электронной базе данных Integrated Risk Informational System Агентства по охране окружающей среды США<sup>4</sup> (табл. 2). Расчет суточных доз был выполнен на уровне медианы и 95-го перцентиля ( $p < 0,05$ ).

Такие факторы экспозиции, как частота и продолжительность воздействия при купании должны основываться на результатах специальных региональных исследований. В настоящем исследовании эти параметры были приняты на основании исследования [13].

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов для отдельных ПТЭ проводили на основе расчета коэффициента опасности по формуле:

<sup>3</sup> Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rpohv.ru/online> (дата обращения: 26.06.2025).

<sup>4</sup> Открытая электронная база данных Integrated Risk Informational System Агентства по охране окружающей среды США [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/iris> (дата обращения: 26.06.2025).

$$HQ_i = I_i / RfD_{\text{ingestion}},$$

где:

$HQ_i$  — коэффициент опасности для воздействующего ПТЭ;  $I_i$  — средняя доза ПТЭ (мг/кг);  $RfD_{\text{ingestion}}$  — референтная доза ПТЭ для перорального пути поступления (мг/кг) (табл. 2).

Таблица 2

**Токсикологические параметры исследуемых металлов, используемые для оценки риска для здоровья**

Химический элемент	CAS	$RfD_{\text{ingestion}}$ , мг/кг×сут.	GIABS	$RfD_{\text{dermal}}$ , мг/кг×сут.	$SF_{\text{ingestion}}$ , мг/кг×сут.	$SF_{\text{dermal}}$ , мг/кг×сут.	$K_p$ , см/час
Cu	7440-50-8	0,019	0,57	0,0228	–	–	0,001
Pb	7439-92-1	0,035	0,117	0,00041	0,0085	0,0009945	0,0001
Zn	7440-66-	0,3	0,2	0,06	–	–	0,0006
Cd	7440-43-9	0,0005	0,05	0,000005	6,1	0,0305	0,001
Al	7429-90-5	1	0,2	0,2	–	–	0,001
Fe	7439-89-6	0,7	0,014	0,0098	–	–	0,001
Mn	7439-96-5	0,14	0,06	0,0084	–	–	0,001

Составлено авторами

В качестве ориентировочной меры допустимого кожного воздействия ( $RfD_{\text{dermal}}$ ) использовали величину поглощенной дозы, рассчитанной исходя из референтной дозы ( $RfD_{\text{ingestion}}$ ) при пероральном пути поступления:

$$RfD_{\text{dermal}} = RfD_{\text{ingestion}} \times GIABS,$$

где:

GIABS — коэффициент абсорбции ПТЭ в желудочно-кишечном тракте (табл. 2).

Индекс опасности HI для условий одновременного поступления нескольких ПТЭ одним и тем же путем рассчитывали по формуле:

$$HI = \sum HQ_i,$$

где:

HI — индекс опасности;

$HQ_i$  — коэффициент опасности для отдельного компонента смеси воздействующих ПТЭ.

Когда значения  $HQ_i$  ( $HI_i$ ) были  $> 1$ , следует учитывать потенциальные неканцерогенные риски для здоровья.

Для канцерогенных ПТЭ дополнительная вероятность развития рака у индивидуума на всем протяжении жизни (CR) оценивали с учетом среднесуточной дозы в течение жизни:

$$CR = I_{\text{ingestion}} \times SF_0,$$

где:

$I_{\text{ingestion}}$  — среднесуточная доза в течение жизни (мг/(кг×день));

$SF_0$  — фактор канцерогенного потенциала (мг/(кг день))<sup>-1</sup>.

При воздействии нескольких канцерогенов суммарный канцерогенный риск для данного пути поступления рассчитывали по формуле:

$$CR_T = \sum CR_j,$$

где:

$CR_T$  — общий канцерогенный риск для пути поступления T;

$CR_j$  — канцерогенный риск для j-го канцерогенного вещества.

Канцерогенный риск считается приемлемым при условии  $1 \times 10^{-6} < CR < 1 \times 10^{-4}$ . При обработке массива данных использовали статистические методы анализа.

### Результаты и обсуждение

В воде исследуемых водных объектов были значительные вариации в содержании растворенных ПТЭ на протяжении купального периода, обусловленные различиями в стоке и химическом составе вод рек Сунгари, Бурея, Зея, Амгунь и Уссури — основных притоков р. Амур (табл. 3). Главное водное питание Амур получает на среднем участке от устья р. Зея до устья р. Уссури. Здесь в Амур впадают российские р. Зея и Бурея, р. Сунгари с китайской стороны и пограничная р. Уссури, 30 % водосбора которой образуется в КНР. Именно этот участок Амура формирует гидрохимическую и санитарную обстановку для всего Хабаровского края [14; 15].

В воде пр. Амурская, образующейся за счет слияния вод р. Уссури и протоки Казакевича выше г. Хабаровск, максимальные концентрации ионов Cu, Mn, Cd, Al, Pb были обнаружены в фазу летне-осенней межени. Максимум содержания Zn был характерен для весеннего половодья, а Fe — для дождевого паводка. Согласно многолетнему ряду наблюдений за уровнями воды в р. Амур и гидрологической базе данных о водном режиме у г. Хабаровск, фаза водного режима между пиками половодья и максимумами дождевых паводков — летне-осенняя межень, обычно наблюдается со второй половины июня по первую половину июля. В эту фазу питание реки происходит в основном за счет грунтовых вод и может составлять 10–30 % общего годового стока [11], а увеличение концентрации растворимых форм металлов может осуществляться как за счет промышленных и коммунально-бытовых сточных вод, так и благодаря десорбции из донных отложений [7; 15].

Общая концентрация растворимых металлов в воде пр. Амурская в купальный сезон формировала следующий концентрационный ряд:  $Fe > Al > Mn > Zn > Cu > Pb > Cd$ . Отметим, что в воде р. Сунгари распределение концентраций тяжелых металлов наблюдали в последовательности  $Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Cd$ , а в донных отложениях и почве прибрежной полосы  $Zn > Cr > Ni > Pb > Cu > Cd$  [16]. Динамика содержания всех ПТЭ в воде р. Амур повторяла картину, отмеченную для пр. Амурская, за исключением Cd, максимум концентрации которого был отмечен в фазу дождевого паводка.

В работе Шестеркина В.П. и Шестеркиной Н.М. было показано, что в водах р. Уссури (в районе с. Казакевичево) наибольшие содержания Zn и Al (до 31 и 84 мкг/дм<sup>3</sup> соответственно) отмечались в период половодья [17]. На спаде паводка 2013 г. в бассейне Амура содержание Cu, Zn и Pb в средней части реки достигало 117,3; 9,0 и 2,0 мкг/дм<sup>3</sup>, что могло быть обусловлено миграцией этих микроэлементов в тонкодисперсной (или крупноколлоидной) форме. Концентрации Cd и Pb в основном были ниже предела обнаружения (< 1,0 мкг/дм<sup>3</sup>). Среднее значение содержания Fe на пике наводнения было в 2013 г. — 280; в 2019 г. — 80 мг/л; на спаде наводнения: в 2013 г. — 190; в 2019 г. — 110 мкг/ дм<sup>3</sup>.

Содержание растворимых металлов в поперечном сечении водной струи р. Амур в районе г. Хабаровск также варьирует в широком диапазоне. Шевцов М.Н. и Мишкин Д.В. [18], проводивших изучение распределения тяжелых металлов по ширине р. Амур в районе г. Хабаровск во время летних и осенних средних паводков (с середины июля до первой трети октября), показали, что величина неравномерности, измеренная при соотношении

максимального и минимального содержания компонента, находилась в пределах 1,3–3,5 (Zn — 29–101 мкг/дм<sup>3</sup>, Cu — 3–9 мкг/дм<sup>3</sup>, Pb — 3–6 мкг/дм<sup>3</sup>). Следует отметить, что в нашем исследовании подтвердился вывод, сделанный авторами, что при подъеме воды р. Амур в ней было больше содержание Pb, но меньше — Cu (табл. 3).

Таблица 3

Средняя концентрация исследуемых металлов в купальный сезон за 2018–2020 гг.

Пункт наблюдения	Фаза гидрологического режима	Медиана, мкг/дм <sup>3</sup>						
		Cu	Mn	Zn	Cd	Pb	Fe	Al
пр. Амурская (сан. «Уссури»)	Весеннее половодье	9,8	н/о	59,0	< 0,1	2,4	550	420
	Дождевой паводок	6,3	59,0	18,0	0,5	3,8	850	180
	Летне-осенняя межень	11,0	86,0	13,0	1,4	3,4	660	420
р. Амур (с. Владимировка)	Весеннее половодье	8,6	102,0	42,0	0,14	10,45	880	н/о
	Дождевой паводок	7,4	88,0	23,0	1,1	н/о	1 260	360
	Летне-осенняя межень	12,0	112,0	15,0	0,48	4,9	880	530
Величина ПДК, мкг/л		1 000	100,0	5 000	1,0	10,0	300	200

н/о — концентрация не определялась. Разработано авторами

На изменение гидрохимического состава воды пр. Амурская и р. Амур существенное влияние оказывают малые реки Хабаровского края. В работе Платоновой Т.П. с соавт. [19], изучавших содержание металлов в малых реках в районе г. Благовещенск, относящихся к бассейну р. Амур, было показано, что в верховьях рек содержание Zn было выше, чем в низовьях, и часть Zn в воде имела аэротехногенное происхождение. В исследовании Павловой Г.Ю. с соавт., изучавших гидрохимический сток речных вод юга Хабаровского края в период летнего паводка (р. Амур и семи рек бассейна р. Уссури), были обнаружены экстремально высокие величины концентрации растворенного Zn, высокие концентрации растворенного Al, Fe и Pb. В р. Малая Чирка были превышены концентрации растворенного Cd, Cu и Mn по сравнению со средними значениями в 43, 6, 9 и 3 раза соответственно. По мнению авторов, распределение Al в реках юга Хабаровского края представляет несомненный интерес, поскольку алюминий почти не подвержен влиянию антропогенного фактора, мало растворим и является продуктом эрозии земной поверхности [20].

В изучении источников поступления тяжелых металлов в р. Сунгари Li К. с соавт. предположили [16], что Cu в основном поступает из природных (геогенных) источников; Pb может поступать из сельскохозяйственных и транспортных источников; Zn — из промышленной, сельскохозяйственной деятельности и транспорта; Cd — от осаждения промышленных выбросов и неорганизованных сельскохозяйственных сбросов. Источником поступления Cd также могут являться донные отложения р. Сунгари: концентрация этого металла в донном грунте превышала геохимическое фоновое значение почв провинции Хэйлунцзян. Кроме того, относительно высокие концентрации в донном грунте р. Сунгари были обнаружены для Pb и Zn. Китайские исследователи отмечали, что поскольку существенная часть стока Амура формируется на территории КНР (р. Сунгари и трансграничная р. Уссури), то значимое влияние на качество амурской воды оказывает антропогенная деятельность (точечные источники: промышленные стоки и очистные сооружения; неточечные источники: бытовые сточные воды, животноводство и сельскохозяйственная деятельность) и природные условия в провинциях Хэйлунцзян и Цзилинь КНР [21; 22]. В российской части р. Амур, по мнению Крупской Л.Т. с соавт. [23], значительным техногенным источником тяжелых металлов являются действующие горные предприятия и горнопромышленные отходы.

Результаты наших исследований геохимического состава вод пр. Амурская и р. Амур в купальный сезон в окрестностях г. Хабаровск, а также обзор исследований других авторов, показали, что антропогенная деятельность и природные факторы могут оказывать влияние на качество природной воды, и, как следствие, на здоровье человека при купании, в связи с этим

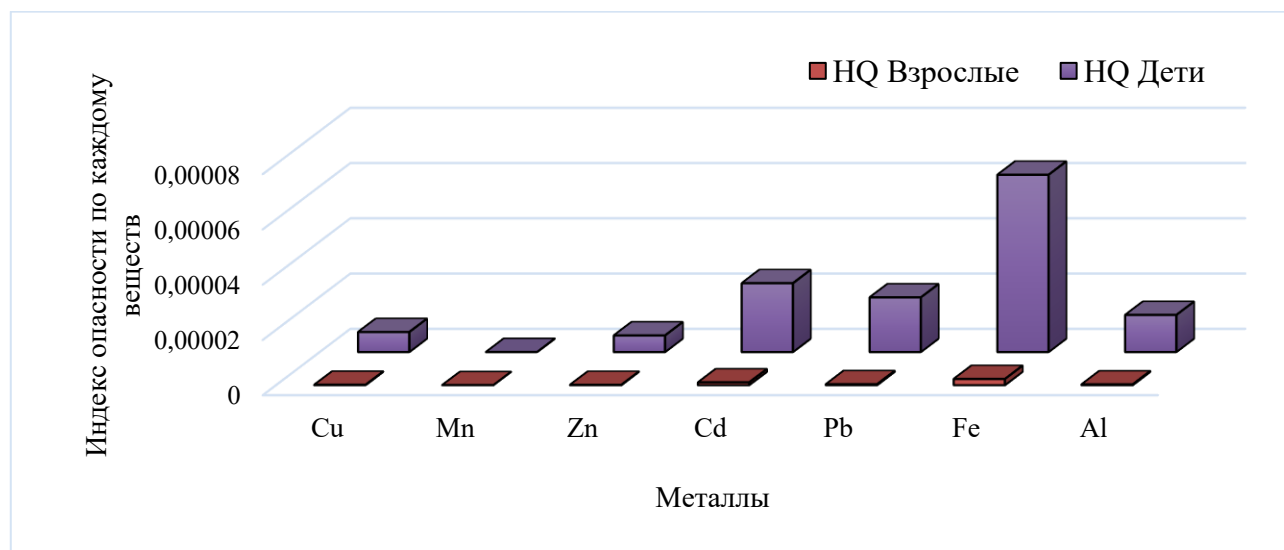
была выполнена оценка риска для здоровья человека. Потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании пероральным и кожными путями, были меньше 1, что указывало на фоновый уровень заболеваемости (табл. 4, 5; рис. 2–7). Из особенностей изменения неканцерогенных рисков по фазам гидрологического режима следует отметить, что они возрастали по большинству ПТЭ в летне-осеннюю межень, а по Zn — в дождевой паводок.

Таблица 4

**Неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании (пр. Амурская)**

ПТЭ	Фаза гидрологического режима	HQ <sub>ingestion</sub>		HQ <sub>dermal</sub>		HI = ΣHQ <sub>s</sub>	
		дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые
Cu	Весеннее половодье	6,90E-06	1,11E-07	3,22E-07	1,44E-08	7,23E-06	1,26E-07
	Дождевой паводок	3,55E-05	5,72E-07	1,65E-06	7,40E-08	3,72E-05	6,46E-07
	Летне-осенняя межень	8,52E-05	1,37E-06	3,97E-06	1,78E-07	8,92E-05	1,55E-06
Pb	Весеннее половодье	1,93E-05	1,28E-07	4,39E-07	8,08E-09	1,98E-05	1,36E-07
	Дождевой паводок	2,45E-4	3,94E-06	5,56E-06	2,49E-07	2,50E-4	4,19E-06
	Летне-осенняя межень	3,01E-4	4,85E-06	6,84E-06	3,06E-07	3,08E-4	5,15E-06
Zn	Весеннее половодье	5,56E-06	8,94E-08	4,43E-07	1,98E-08	6E-06	1,09E-07
	Дождевой паводок	1,35E-05	2,18E-07	1,08E-06	4,82E-08	1,46E-05	2,66E-07
	Летне-осенняя межень	1,36E-05	2,19E-07	1,08E-06	4,84E-08	1,47E-05	2,67E-07
Cd	Весеннее половодье	3,95E-06	6,35E-08	2,10E-05	9,38E-07	2,49E-05	1,00E-06
	Дождевой паводок	2,42E-4	3,90E-06	1,29E-3	5,76E-05	1,53E-3	6,15E-05
	Летне-осенняя межень	1,47E-4	2,37E-06	7,82E-4	3,50E-05	9,30E-4	3,74E-05
Al	Весеннее половодье	1,18E-05	1,90E-07	1,57E-06	7,03E-08	1,34E-05	2,61E-07
	Дождевой паводок	4,07E-05	6,55E-07	5,40E-06	2,42E-07	4,61E-05	8,97E-07
	Летне-осенняя межень	1,30E-4	2,10E-06	1,73E-05	7,73E-07	1,48E-4	2,87E-06
Fe	Весеннее половодье	2,21E-05	3,56E-07	4,20E-05	1,88E-06	6,42E-05	2,24E-06
	Дождевой паводок	2,74E-4	4,41E-06	5,20E-4	2,32E-05	7,93E-4	2,76E-05
	Летне-осенняя межень	2,92E-4	4,70E-06	5,54E-4	2,48E-05	8,47E-4	2,95E-05
Mn	Весеннее половодье	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
	Дождевой паводок	9,50E-05	1,53E-06	4,21E-05	1,88E-06	1,37E-4	3,41E-06
	Летне-осенняя межень	1,90E-4	3,06E-06	8,43E-05	3,77E-06	2,74E-4	6,84E-06

н/о — неканцерогенный риск не рассчитывался. Разработано авторами



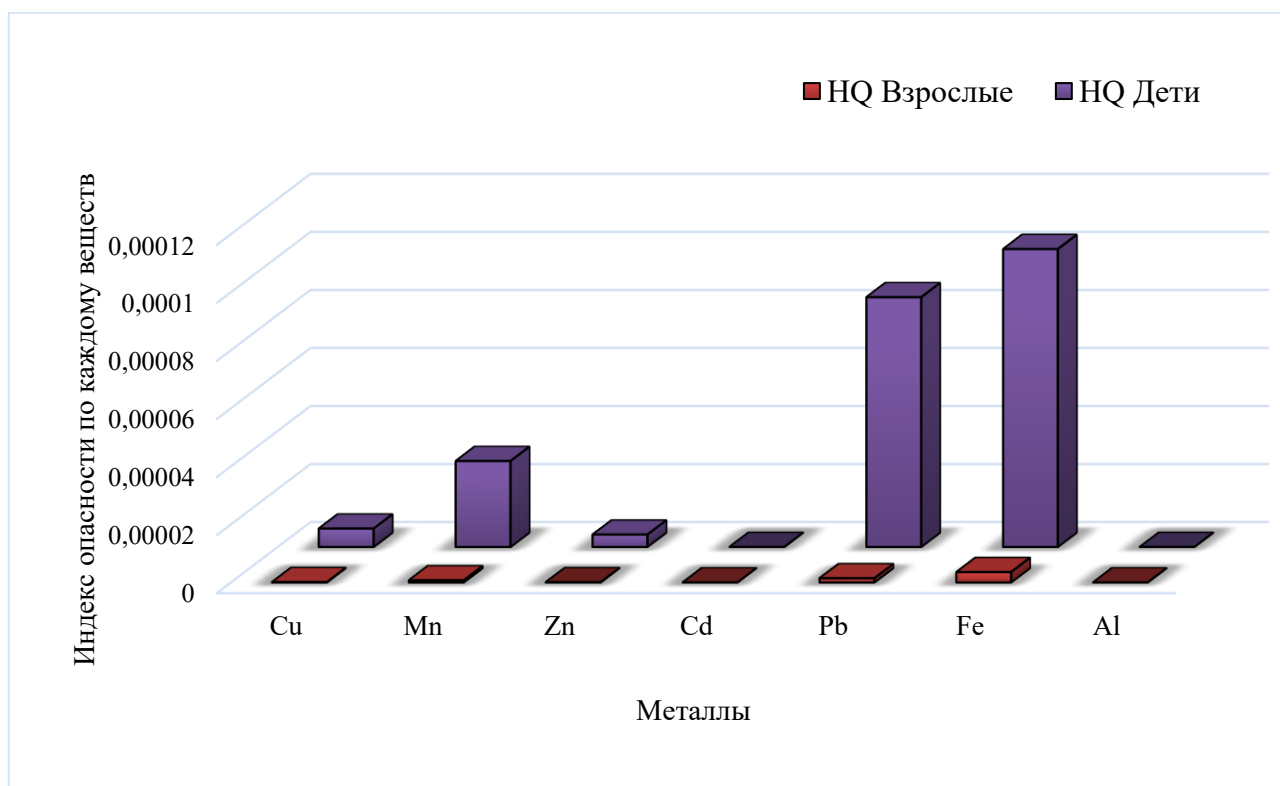
**Рисунок 2.** Общие потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании в пр. Амурская в фазу водного режима весеннее половодье (разработано авторами)

Таблица 5

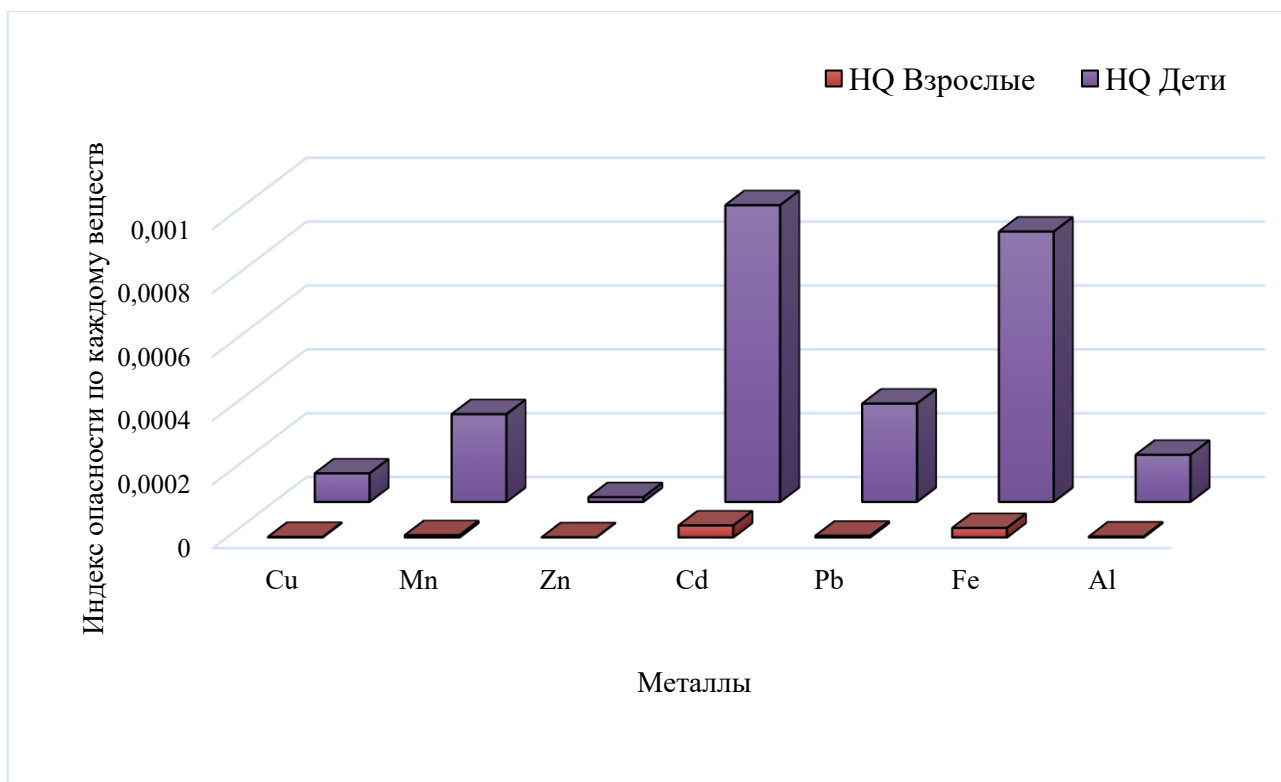
**Неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании (р. Амур)**

ПТЭ	Фаза гидрологического режима	HQ <sub>ingestion</sub>		HQ <sub>dermal</sub>		HI = ΣHQ <sub>s</sub>	
		дети	взрослые	дети	взрослые	дети	взрослые
Cu	Весеннее половодье	6,06E-06	9,75E-08	2,82E-07	1,26E-08	6,34E-06	1,10E-07
	Дождевой паводок	4,17E-05	6,71E-07	1,94E-06	8,69E-08	4,36E-05	7,58E-07
	Летне-осенняя межень	9,30E-05	1,50E-06	4,33E-06	1,94E-07	9,73E-05	1,69E-06
Pb	Весеннее половодье	8,41E-05	1,35E-06	1,91E-06	8,54E-08	8,61E-05	1,44E-06
	Дождевой паводок	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
	Летне-осенняя межень	4,34E-4	6,99E-06	9,85E-06	4,41E-07	4,44E-4	7,43E-06
Zn	Весеннее половодье	3,95E-06	6,35E-08	3,14E-07	1,41E-08	4,26E-06	7,76E-08
	Дождевой паводок	1,70E-05	2,73E-07	1,35E-06	6,05E-08	1,83E-05	3,34E-07
	Летне-осенняя межень	1,52E-05	2,44E-07	1,21E-06	5,41E-08	1,64E-05	2,99E-07
Cd	Весеннее половодье	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
	Дождевой паводок	1,12E-4	1,81E-06	5,99E-4	2,68E-05	7,12E-4	2,86E-05
	Летне-осенняя межень	4,34E-4	6,99E-06	2,30E-3	1,03E-4	2,74E-3	1,10E-4
Al	Весеннее половодье	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
	Дождевой паводок	8,00E-05	1,29E-06	1,06E-05	4,75E-07	9,07E-05	1,76E-06
	Летне-осенняя межень	1,64E-4	2,64E-06	2,18E-05	9,76E-07	1,86E-4	3,62E-06
Fe	Весеннее половодье	3,54E-05	5,70E-07	6,72E-05	3,01E-06	1,02E-4	3,58E-06
	Дождевой паводок	4,04E-4	6,51E-06	7,67E-4	3,43E-05	1,17E-3	4,08E-05
	Летне-осенняя межень	3,90E-4	6,27E-06	7,40E-4	3,31E-05	1,13E-3	3,94E-05
Mn	Весеннее половодье	2,05E-05	3,30E-07	9,09E-06	4,07E-07	2,96E-05	7,37E-07
	Дождевой паводок	1,41E-4	2,27E-06	6,24E-05	2,79E-06	2,03E-4	5,06E-06
	Летне-осенняя межень	2,48E-4	3,99E-06	1,10E-4	4,91E-06	3,58E-4	8,90E-06

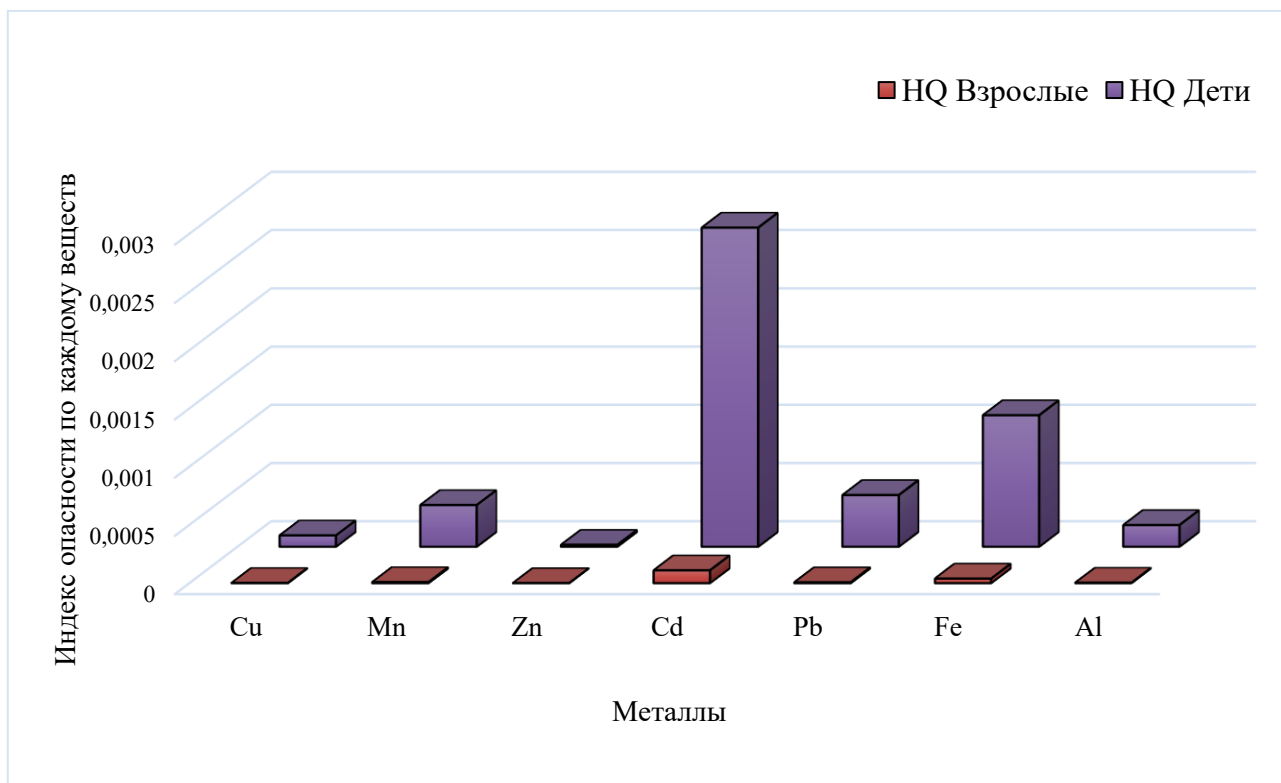
н/о — неканцерогенный риск не рассчитывался. Разработано авторами



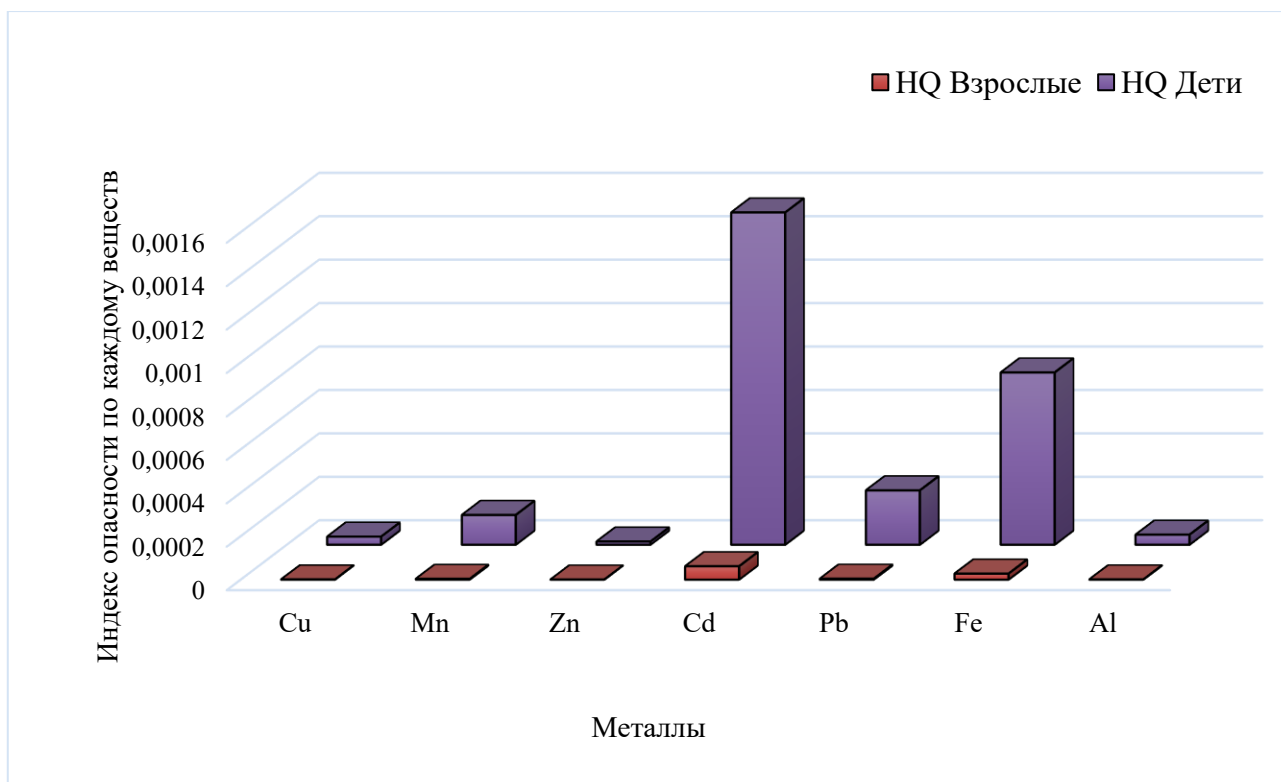
**Рисунок 3.** Общие потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании в пр. Амурская в фазу водного режима дождевой паводок (разработано авторами)



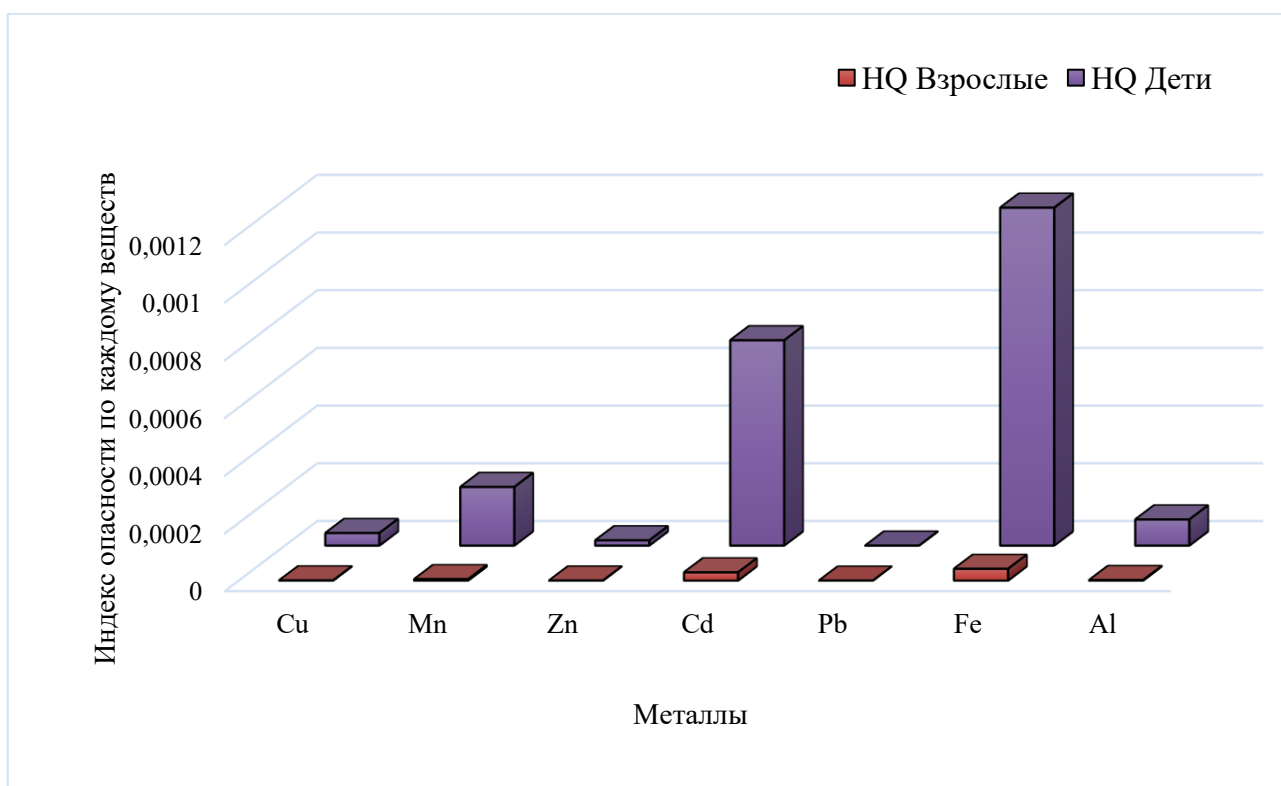
*Рисунок 4. Общие потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании в пр. Амурская в фазу водного режима летне-осенняя межень (разработано авторами)*



*Рисунок 5. Общие потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании в р. Амур в фазу водного режима весеннее половодье (разработано авторами)*



*Рисунок 6. Общие потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании в р. Амур в фазу водного режима дождевой паводок (разработано авторами)*



*Рисунок 7. Общие потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании в р. Амур в фазу водного режима летне-осенняя межень (разработано авторами)*

Выполненная оценка для канцерогенных ПТЭ дополнительной вероятности развития рака показала, что канцерогенный риск является приемлемым, поскольку был меньше  $1 \times 10^{-6}$  (табл. 6). Следует отметить, что в воде пр. Амурская величина канцерогенного риска для детей Cd при пероральном поступлении (случайном заглатывании при купании) повышалась в фазу дождевого паводка ( $1,48E-06$ ), а в р. Амур — летне-осеннюю межень ( $2,65E-06$ ). Аналогичные исследования, проведенные на р. Сунгари, также показали, что риск рака от всасывания Cd через кожу находится в пределах безопасности ( $1,08E-7$ ), а риск от перорального пути поступления во всех местах отбора проб воды указывал на повышенный риск рака (в среднем  $4,58E-6$ ) [16].

Таблица 6

**Канцерогенные риски для здоровья,  
связанные с ПТЭ, попадающими в организм при купании**

ПТЭ	Фаза гидрологического режима	CR <sub>ingestion</sub>				CR <sub>dermal</sub>			
		Дети		Взрослые		Дети		Взрослые	
		пр. Амурская	р. Амур	пр. Амурская	р. Амур	пр. Амурская	р. Амур	пр. Амурская	р. Амур
Pb	Весеннее половодье	5,75E-10	2,50E-09	9,25E-12	4,03E-11	1,79E-13	6,65E-12	7,99E-15	3,48E-14
	Дождевой паводок	7,28E-09	н/о	1,17E-10	н/о	2,26E-12	н/о	1,01E-13	н/о
	Летне-осенняя межень	8,96E-09	1,29E-08	1,44E-10	2,08E-10	2,78E-12	4,01E-12	1,24E-13	1,80E-13
Cd	Весеннее половодье	2,41E-08	н/о	3,87E-10	н/о	6,39E-10	н/о	1,43E-13	н/о
	Дождевой паводок	1,48E-06	6,88E-07	2,38E-08	1,11E-08	1,96E-10	9,13E-11	8,78E-12	4,08E-12
	Летне-осенняя межень	8,98E-07	2,65E-06	1,45E-08	4,26E-08	1,19E-10	3,52E-10	5,34E-12	1,57E-11

н/о — канцерогенный риск не рассчитывался. Разработано авторам

**Заключение**

Таким образом, качественный состав природных вод пр. Амурская и р. Амур в районе г. Хабаровск в купальный сезон был подвержен значительным изменениям. В воде пр. Амурская максимальные концентрации ионов Cu, Mn, Cd, Al, Pb были обнаружены в фазу летне-осенней межени. Максимум содержания Zn был характерен для весеннего половодья, а Fe — для дождевого паводка. Динамика содержания всех изученных потенциально токсичных элементов в воде р. Амур повторяла картину, отмеченную для пр. Амурская, за исключением Cd, максимум концентрации которого был отмечен в фазу дождевого паводка. Общая концентрация растворимых форм металлов в воде пр. Амурская и р. Амур в купальный сезон формировала следующий концентрационный ряд: Fe > Al > Mn > Zn > Cu > Pb > Cd. По-видимому, на качество природной воды изученных водных объектов оказывают влияние как природные, так и антропогенные факторы.

Потенциальные неканцерогенные риски для здоровья, связанные с изученными металлами, попадающими в организм при купании пероральным и накожными путями, были меньше 1, что указывало на фоновый уровень заболеваемости. Из особенностей изменения неканцерогенных рисков по фазам гидрологического режима следует отметить, что они возрастали по большинству изученных металлов в летне-осеннюю межень, а по Zn — в дождевой паводок.

Выполненная оценка для канцерогенных ПТЭ — Cd и Pb, дополнительной вероятности развития рака показала, что канцерогенный риск является приемлемым, поскольку был меньше  $1 \times 10^{-6}$ . В воде пр. Амурская величина канцерогенного риска ( $CR_{\text{ingestion}}$ ) Cd при пероральном поступлении повышалась для детей в фазу дождевого паводка ( $1,48E-06$ ), а в р. Амур — летне-осеннюю межень ( $2,65E-06$ ).

Результаты настоящего исследования будут способствовать повышению обоснованности принятия управленческих решений по вопросам экологической безопасности рекреационного туризма и отдыха на водоемах в окрестностях краевого центра — г. Хабаровск.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Benson, D. Moving beyond water centrality? Conceptualizing integrated water resources management for implementing sustainable development goals / D. Benson, A.K. Gain, C. Giupponi // Sustainability science. — 2020. — Vol. 15. — № 2. — P. 671–681. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11625-019-00733-5/> DOI: 10.1007/s11625-019-00733-5 (дата обращения: 26.06.2025).
2. Li, Y. Trends and health risks of dissolved heavy metal pollution in global river and lake water from 1970 to 2017 / Y. Li, Q. Zhou, B. Ren, J. Luo, J. Yuan, X. Ding, X. Yao // Reviews of Environmental Contamination and Toxicology. — 2019. — Vol. 251. — P. 1–24. URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/398\\_2020\\_59/](https://link.springer.com/chapter/10.1007/398_2020_59/) (дата обращения: 26.06.2025).
3. Христофоров, А.В. Оценка водного стока рек бассейна Амура / А.В. Христофоров, Н.М. Юмина, П.А. Белякова, В.В. Носань // Вестник Московского университета. — 2012. — Серия 5. — География. — № 5. — С. 63–69. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18261699/> (дата обращения: 26.06.2025).
4. Косицкий, А.Г. Пространственные закономерности изменения стока рек в российской части бассейна Амура / А.Г. Косицкий, В.В. Носань // Вестник Московского университета. — 2012. — Серия 5. — География. — № 3. — С. 64–68. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prostranstvennye-zakonomernosti-izmeneniya-stoka-rek-v-rossiyskoy-chasti-basseyna-amura/> (дата обращения: 26.06.2025).
5. Hoang, H.G. The individual and synergistic indexes for assessments of heavy metal contamination in global rivers and risk: a review / H.G. Hoang, C. Lin, C.F. Chiang, X.T. Bui, W. Lukkhasorn, T.P.T. Bui, L.D. Nghiem // Current Pollution Reports. — 2021. — Vol. 7. — P. 247–262. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40726-021-00196-2/> DOI: 10.1007/s40726-021-00196-2 (дата обращения: 26.06.2025).
6. Горбатенко, Л.В. Геоэкологическая характеристика водопользования в трансграничном бассейне реки Амур: точечное загрязнение и качество вод / Л.В. Горбатенко // Вестник ДВО РАН. — 2018. — № 2(198). — С. 119–129. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoekologicheskaya-harakteristika-vodopolzovaniya-v-transgranichnom-basseyne-reki-amur-tochechnoe-zagryaznenie-i-kachestvo-vod/> (дата обращения: 26.06.2025).
7. Hough, R. Concentrations, possible sources and health risk of heavy metals in multi-media environment of the Songhua River, China / R. Hough, Q. Fu, Z. Zhang, L. An // International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2020. — Vol. 17. — № 5. — P. 1766. URL: <https://www.researchgate.net/publication/339798478/> DOI: 10.3390/ijerph17051766 (дата обращения: 26.06.2025).

8. Zarykhta, V.V. Comprehensive assessments of ecological states of Songhua River using chemical analysis and bivalves as bioindicators / V.V. Zarykhta, Z. Zhang, S.V. Kholodkevich, T.V. Kuznetsova, A.N. Sharov, Y. Zhang, Y. Feng // Environmental Science and Pollution Research. — 2019. — Vol. 26. — P. 33341–33350. URL: <https://www.researchgate.net/publication/335800762/> DOI: 10.1007/s11356-019-06349-7 (дата обращения: 26.06.2025).
9. Yang, Y. Assessment of point and nonpoint sources pollution in Songhua River Basin, Northeast China by using revised water quality model / Y. Yang, B. Yan, W. Shen // Chinese geographical science. — 2010. — Vol. 20. — P. 30–36. URL: <https://www.researchgate.net/publication/226790859/> DOI: 10.1007/s11769-010-0030-3 (дата обращения: 26.06.2025).
10. Wang, Y. Assessment of surface water quality via multivariate statistical techniques: A case study of the Songhua River Harbin region, China / Y. Wang, P. Wang, Y. Bai, Z. Tian, J. Li, X. Shao, B.L. Li // Journal of Hydro-environment Research. — 2013. — Vol. 7. — № 1. — P. 30–40. URL: <https://www.researchgate.net/publication/257640092/> DOI 10.1016/j.jher.2012.10.003 (дата обращения: 26.06.2025).
11. Соколова, ГВ. Статистический анализ водного режима реки Амур для целей прогноза / Г.В. Соколова // Региональные проблемы. — 2022. — Т. 25. — № 1. — С. 49–61. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/statisticheskiy-analiz-vodnogo-rezhima-reaki-amur-dlya-tseley-prognoza/> DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-1-49-61 (дата обращения: 26.06.2025).
12. Середа, К. Н. Предпосылки и условия для развития экологического туризма в ЕАО / К.Н. Середа // Состояние лесов и актуальные проблемы лесоуправления. — 2013. — С. 76–79. (дата обращения: 26.06.2025).
13. Peluso, F. Applying health risk analysis to assess the chemical quality of water for recreational bathing: the case of Tres Arroyos Creek, Buenos Aires, Argentina / F. Peluso, N. Othax, J.G. Castelain, S. Dubny // Human and Ecological Risk Assessment. — 2014. — Vol. 20. — № 1. — P. 45–68. URL: <https://www.researchgate.net/publication/254217522/> DOI: 10.1080/10807039.2012.722801 (дата обращения: 26.06.2025).
14. Лызова, А.В. Влияние трансграничного загрязнения р. Амур на водные биологические ресурсы / А.В. Лызова // Известия ТИПРО. — 2007. — Т. 148. — С. 262–274. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-transgranichnogo-zagryazneniya-r-amur-na-vodnye-biologicheskie-resursy/viewer> (дата обращения: 26.06.2025).
15. Махинов, А.Н. Влияние наводнений и урбанизации на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур / А.Н. Махинов, Л. Шугуан, А.Ф. Махинова, Ч. Даи // Экология и промышленность России. — 2020. — Т. 24. — № 12. — С. 32–38. URL: <https://www.ecology-kalvis.ru/jour/article/view/1680/> DOI: 10.1088/1755-1315/895/1/012025 (дата обращения: 26.06.2025).
16. Li, K. Concentrations, possible sources and health risk of heavy metals in multi-media environment of the Songhua River, China / K. Li, S. Cui, F. Zhang, R. Hough, Q. Fu, Z. Zhang, L. An // International Journal of Environmental Research and Public Health. — 2020. — Vol. 17. — № 5. — P. 1766. URL: <https://www.researchgate.net/publication/339798478/> DOI: 10.3390/ijerph17051766 (дата обращения: 26.06.2025).

17. Шестеркин, В.П. Динамика качества вод р. Усури по результатам трансграничного мониторинга / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии. — 2017. — С. 135–140. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29903567> (дата обращения: 26.06.2025).
18. Шевцов, М.Н. Экологическая оценка водных ресурсов города Хабаровск / М.Н. Шевцов, Д.В. Мишкин // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. — 2022. — № 1(50). — С. 104–111. URL: <https://www.dvfu.ru/upload/medialibrary/872/iexxnhw3gtumbr1pzr6ldw99lvqgr6dk/2022-1-11.pdf> (дата обращения: 26.06.2025).
19. Платонова, Т.П. Эколого-химическая характеристика малых рек города Благовещенска / Т.П. Платонова, А.П. Пакулина, К.С. Непрокина, Л.П. Панова // Экология урбанизированных территорий. — 2018. — № 2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologo-himicheskaya-harakteristika-malyh-rek-goroda-blagoveschenska> (дата обращения: 26.06.2025).
20. Павлова, Г.Ю. Гидрохимический сток речных вод юга Хабаровского края в период летнего паводка / Г.Ю. Павлова, Е.А. Вах, П.Я. Тищенко, В.И. Петухов // Известия ТПУ. — 2020. — Т. 331. — № 3. — С. 61–71. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gidrohimicheskij-stok-rechnyh-vod-yuga-habarovskogo-kрая-v-period-letnego-pavodka> (дата обращения: 26.06.2025).
21. Zheng, L. Application of multivariate statistical techniques in assessment of surface water quality in Second Songhua River basin, China / L. Zheng, H. Yu, Q. Wang // Journal of Central South University. — 2016. — Vol. 23. — №. 5. — P. 1040–1051. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11771-016-0353-z/> DOI: 10.1007/s11771-016-0353-z (дата обращения: 26.06.2025).
22. Wang, B. Improved water pollution index for determining spatiotemporal water quality dynamics: case study in the Erdao Songhua River Basin, China / B. Wang, Y. Wang, S. Wang // Ecological Indicators. — 2021. — Vol. 129. — P. 107931. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21005963/> DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107931 (дата обращения: 26.06.2025).
23. Крупская, Л.Т. Влияние горных предприятий на объекты окружающей среды в бассейне р. Амур / Л.Т. Крупская, М.Ю. Филатова, А.Ю. Сальникова // Ученые заметки ТОГУ. — 2021. — Вып. 12(2). — С. 206–211. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46507779/> (дата обращения: 26.06.2025).

**Barkhatov Kirill Alexandrovich**

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

E-mail: 012723@togudv.ru

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1528-5333>

RSCI: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1214781](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1214781)

**Gladun Igor Vladimirovich**

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

E-mail: 006209@togudv.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8667-3019>

**Gorodyanko Polina Romanovna**

Pacific National University, Khabarovsk, Russia

E-mail: 2018102314@togudv.ru

## Assessment of the safety of water in the Amur River for swimming in the Khabarovsk region

**Abstract.** The strategy of socio-economic development of Khabarovsk Krai involves the development of recreational tourism and recreation on water bodies in the vicinity of the regional center — Khabarovsk. The qualitative composition of the Amur River waters near Khabarovsk is significantly affected by the runoff of the Sungari River, polluted with potentially toxic elements that can have a negative impact on human health. However, there are no studies in the scientific literature assessing the risk to human health when swimming in the waters of the Amur River in the vicinity of Khabarovsk. This study examined the dynamics of the content of a number of soluble metals in the waters of the Amur River and the Amurskaya channel, and also assessed their potential impact on human health during the swimming season. The total concentration of soluble forms of metals in the water of the Amurskaya channel and the Amur River formed the following concentration series:  $Fe > Al > Mn > Zn > Cu > Pb > Cd$ . Potential non-carcinogenic health risks associated with metals entering the body during bathing orally and cutaneously were less than 1, which indicated a background level of morbidity. Among the features of the change in non-carcinogenic risks by phases of the hydrological regime, it should be noted that they increased for most of the studied metals in the summer-autumn low-water period. The assessment of the additional probability of cancer development for the carcinogenic elements Cd and Pb showed that the carcinogenic risk is acceptable. In the water of the Amurskaya channel, the value of the carcinogenic risk of Cd for oral intake increased for children in the rain flood phase, and in the Amur River — in the summer-autumn low-water period. The results of the study expand knowledge about the quality of water in the Amur River and its safety for public health during the swimming season.

**Keywords:** Khabarovsk Krai; swimming season; surface natural waters of the Amur River; potentially toxic elements; health risk assessment; non-carcinogenic risk; carcinogenic risk