



DOI: 10.22363/2313-2310-2023-31-2-251-264

EDN: GZTKLH

УДК 504.064

Научная статья / Research article

Комплексная оценка качества воды поверхностных водоисточников города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор

К.А. Саласар Флорес  , А.И. Курбатова ,
К.Ю. Михайличенко , С.И. Баранникова

Российский университет дружбы народов, Москва, Российская Федерация

 cristian_salazarf@hotmail.com

Аннотация. Проведено исследование качества источников питьевой воды – поверхностных вод речных систем города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор в 2018–2019 гг. Рассчитаны общесанитарный индекс качества воды (ИКВ) по российским методикам, индекс качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI) эквадорского регулирования качества воды. Результаты параметризации качества воды, полученные методами ИКВ, NSF-WQI и объединенные в общую схему, позволили составить с их помощью шкалу оценки гидроэкологического состояния водных экосистем. При проведении качественного и количественного анализа воды из речных водохранилищ определены превышения нормативных значений по таким показателям, как биологическое потребление кислорода и железо. Приведенные расчеты показывают, что методы ИКВ и NSF-WQI приводят к аналогичным результатам при оценке качества воды как водохранилища города Латакунга, так и водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо. Согласно методу ИКВ, состояние воды водохранилища города Латакунга характеризовалось в диапазоне шкалы от «Кризис» до «Риск», в то время как по методу NSF-WQI состояние оценивалось как «Риск». Состояние водной экосистемы водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо оценивалось как «Риск» и по методу ИКВ, и по методу NSF-WQI. При этом экологическая катастрофа не фиксируется ни в одном из рассматриваемых водных объектов.

Ключевые слова: качество поверхностных вод; водоисточники; индексы качества воды; гидроэкологическое состояние водных экосистем; водохранилища

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

© Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю., Баранникова С.И., 2023



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

История статьи: поступила в редакцию 13.08.2022; доработана после рецензирования 21.12.2022; принята к публикации 16.01.2023.

Для цитирования: Саласар Флорес К.А., Курбатова А.И., Михайличенко К.Ю., Баранникова С.И. Комплексная оценка качества воды поверхностных водоисточников города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо в Республике Эквадор // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023. Т. 31. № 2. С. 251–264. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-251-264>

Comprehensive water quality assessment of surface sources in the city of Latacunga and the canton Pedro Vicente Maldonado in Ecuador

Cristian A. Salazar Flores  , Anna I. Kurbatova ,
Kseniya Y. Mikhaylichenko , Svetlana I. Barannikova

RUDN University, Moscow, Russian Federation

 cristian_salazarf@hotmail.com

Abstract. A study of the quality of drinking water sources – surface waters of the river systems of the city of Latacunga and the canton of Pedro Vicente Maldonado, Ecuador, was carried out during 2018 and 2019. The general sanitary water quality index (WQI) was calculated according to Russian methods, the water quality index of the National Sanitation Foundation (NSF-WQI) of the Ecuadorian water quality regulation. Results from parameterizing the water quality, obtained by WQI and NSF-WQI methods and combined into an overall scheme, were used to generate the rating scale for assessing the hydro-ecological status of aquatic ecosystems. When carrying out a qualitative and quantitative analysis of water from river reservoirs, the excess of the threshold limit values of such indicators as the biological oxygen demand and iron was determined. The calculations show that the WQI method and the NSF-WQI method lead to similar results when assessing the water quality of both reservoir of the city of Latacunga and canton of Pedro Vicente Maldonado. According to the WQI method, the hydrological state of the reservoir of the city of Latacunga was characterized in the range of a scale from “Crisis” to “Risk”, while according to the NSF-WQI method the state was assessed as “Risk”. The hydrological state of the reservoir of the canton of Pedro Vicente Maldonado, was assessed as “Risk” by both the WQI method and the NSF-WQI method. Furthermore, in none of the water bodies under study is the environmental “catastrophe” not recorded.

Keywords: surface water quality, water sources, water quality indices, hydroecological state of water ecosystems, river reservoirs

Authors’ contributions: all authors made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

Article history: received 13.08.2022; revised 21.12.2022; accepted 16.01.2023

For citation: Salazar Flores CA, Kurbatova AI., Mikhaylichenko KY, Barannikova SI. Comprehensive water quality assessment of surface sources in the city of Latacunga and the canton Pedro Vicente Maldonado in Ecuador. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2023;31(2):251–264. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-251-264>

Введение

Проблема нормирования и контроля качества водных ресурсов является важной задачей регионального, национального и международного уровней [1]. В связи с этим оценка качества воды – важный этап регулирования качества водных ресурсов. Возможность единой оценки и сравнения качества вод в разных пунктах и в разное время, а также обнаружения основных веществ загрязнителей обеспечиваются благодаря комплексным показателям качества воды. В Российской Федерации методы комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод были разработаны в разное время рядом ученых, таких как В.И. Гурарий, А.С. Шайн, Ю.В. Новиков, Г.И. Сидоренко и др. [2, 3]. На основании гидрохимических методов предложены различные интегральные показатели, например общесанитарный индекс качества воды (ИКВ), индекс загрязненности воды (ИЗВ), удельный комбинаторный индекс загрязненности воды (УКИЗВ) [2–4]. Наиболее широко применяемыми индексами при оценке качества воды в зарубежной практике являются индекс качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI), индекс качества воды (WQI) и Канадский индекс качества воды (CCME WQI) [4–6]. Одновременно с преимуществами ИКВ также имеется ряд недостатков: с одной стороны, ИКВ представлен одним числом, что понятно и легко воспринимается неспециалистами (в том числе лицами, принимающими решения, политическими деятелями и общественностью в целом). С другой стороны, данная оценка является слишком общей, поэтому не дает полной картины состава и свойств воды [2]. Она не может заменить данные детального анализа качества воды на соответствие требованиям нормативных документов. Некоторые показатели, возможно основные для определения качества воды, при расчете ИКВ могут оказаться неучтенными, так как заранее не были включены в число приоритетных для контроля. Интеграция данных в ИКВ может скрывать или агрегировать значимость кратковременных изменений качества воды [6].

Основная цель исследования – интегрированная оценка воды поверхностных водоисточников двух городов Эквадора, расположенных на разной высоте над уровнем моря. Задачи исследования включали расчет комплексных индексов качества поверхностной воды по российским и зарубежным методикам для объективной оценки гидроэкологического состояния водных экосистем в различных ландшафтных условиях формирования химического состава воды.

Материалы и методы

Объектом данного исследования являлась вода водохранилищ города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо, а предметом исследования были их физико-химические, микробиологические и органолептические характеристики. При выборе показателей качества воды авторы статьи исходили из особенностей гидрологического режима водных объектов, климатических, почвенных условий водосбора, а также вида водопользования.

Отбор проб воды из водохранилищ города Латакунги и кантона Педро Висенте Мальдонадо производился в месте, где вода перекачивается из водохранилищ на станцию водоподготовки ежемесячно в течение 2018 и 2019 гг. в соответствии с рекомендациями эквадорского стандарта INEN 2176. Из каждого водохранилища было отобрано по 24 пробы воды. Оценка качества проб воды из водохранилищ проводилась в соответствии со стандартом INEN 2169. Цвет, нитраты (NO_3^-), фториды (F^-) и сульфаты (SO_4^{2-}) измерялись спектрофотометрическим методом. Методы турбидиметрии, потенциометрии и гравиметрии использовались для измерения мутности, pH, общей минерализации и взвешенных твердых частиц соответственно. Атомно-абсорбционная спектрометрия применялась для измерения железа (Fe) и никеля (Ni). Растворенный кислород и биологическая потребность в кислороде определялись (БПК₅) с использованием метода Винклера. Наиболее вероятное количество фекальных колиформных бактерий, присутствующих в пробах воды, определялось многотрубным методом.

В городе Латакунга находятся три источника питьевой воды: два aquifers, которые обеспечивают около 77% от всего объема добываемой воды, и река Ретамалес, берущая начало в Андском парамо на высоте 3960 м над уровнем моря¹. Парамосы образуют неотропический высокогорный экорегион, расположенный в основном вдоль горного хребта Анд в Перу, Эквадоре, Колумбии и Венесуэле. Они представляют собой зональные экосистемы, расположенные примерно на высоте от 3000 до 4500 м над уровнем моря [6].

Бассейн реки Ретамалес расположен между 78° 24' и 78° 21' западной долготы и между 0° 53' и 0° 54' южной широты. Река Ретамалес тянется с севера на юг по 8-километровому парамо Капулис-Пасо, затем впадает в реку Чалупа Пурго и образует реку Лангоа, часть верхнего бассейна реки Напо. Средний расход воды в речном микробассейне составляет 5,2 м³/с, модуль стока – 0,012 м³/с км², при 10-летнем годовом паводке 100 м³/с [7]. Основными

¹ GAD Latacunga. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2016-2028: Latacunga, Ecuador. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0560000380001_PDyOT%20Ltg%202016-2028_14-04-2016_08-26-14.pdf

видами деятельности человека в этом районе являются сельское хозяйство и животноводство².

Для кантона Педро Висенте Мальдонадо основным источником питьевой воды является река Талала. Бассейн реки Талала находится между 78° 53' и 78° 56' западной долготы и между 0° 2' и 0° 6' северной широты. Река Талала берет начало в западных предгорьях Анд и течет с востока на запад, далее впадает в реку Пачихаль, образуя реку Гуайлабамба, которая является частью бассейна реки Эсмеральдас³. Общая протяженность реки составляет 16 км, ширина от 10 до 30 м и глубина от 1 до 2 м, она охватывает диапазон высот от 300 до 1800 м над уровнем моря [9], что согласно схеме Холдриджа соответствует классу *влажный тропический лес*³. Для этого типа экосистем характерны обильные осадки и влажность в течение года, а большое разнообразие флоры и фауны является характерной особенностью экосистемы. Средний расход воды в суббассейне реки составляет 6,7 м³/с, модуль стока – 0,044 м³/с км² [9]. Человеческая деятельность в бассейне реки Талала связана в основном с сельским хозяйством и, в меньшей степени, животноводством³.

Для характеристики экологического состояния поверхностных вод в речных водохранилищах города Латакунга и кантона Педро Висенте Мальдонадо за период 2018–2019 гг. были определены общесанитарный индекс качества воды (ИКВ), разработанный российскими учеными, и индекс качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI), используемый в зарубежной практике.

Общесанитарный индекс качества воды (ИКВ) рассчитывается по формуле

$$\text{ИКВ} = \sum_{i=1}^n W_i I_i, \quad (1)$$

где W_i – вес показателя, входящего в общесанитарный ИКВ; I_i – баллы (от 1 до 5), присваиваемые каждому показателю, входящему в общесанитарный ИКВ; n – число параметров.

В Эквадоре индекс, используемый для оценки качества поверхностных вод, является индексом качества воды Национального фонда охраны здоровья (NSF-WQI) [10].

Главное отличие индекса NSF-WQI от ИКВ заключается в том, что для расчета NSF-WQI учитываются 9 параметров (растворенный кислород, pH, БПК₅, нитраты, температура, мутность, общая минерализация, фосфаты и фекальные колиформные) а для расчета ИКВ-10 параметров (растворенный кислород, pH, БПК₅, общая минерализация, запах, цветность, взвешенные

² GAD Latacunga. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2016-2028: Latacunga, Ecuador. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/0560000380001_PDyOT%20Ltga%202016-2028_14-04-2016_08-26-14.pdf

³ GAD Pedro Vicente Maldonado. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial 2009-2017: Pedro Vicente Maldonado, Ecuador. Available from: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdocumentofinal/1760009530001_PDyOT%20PVM_18-04-2015_13-49-05.pdf

вещества, хлориды, сульфаты и коли-индекс). Кроме того, индекс NSF-WQI, по сравнению с ИКВ, рассчитывается относительно фоновых региональных содержаний загрязнителей в водных системах [10].

Индекс NSF-WQI рассчитывается с использованием метода взвешенного геометрического индекса по формуле

$$NSF - WQI = \prod_{i=1}^n I_i^{W_i}, \quad (2)$$

где W_i – вес или процент, присвоенный i -му параметру; I_i – индекс для i -го параметра, вычисляемый по кривой взвешивания.

В работе авторы рассчитали относительные веса параметров воды каждого водохранилища, которые участвуют в расчете как индекса ИКВ, так и индекса NSF-WQI. Относительный вес (W_{ci}) определялся по величине, пропорциональной рекомендуемому стандартному значению (W_i) соответствующего параметра.

С помощью единой шкалы классов качества воды проведено сравнение методов параметризации качества вод водохранилищах [4]. Граничные значения диапазонов величин индексов ИКВ и NSF-WQI пересмотрены и в результате выделено 5 классов (табл. 1).

Таблица 1. Объединенная таблица методов параметризации качества поверхностных вод и оценок гидроэкологического состояния водных экосистем

Метод параметризации		Класс качества воды				
		1	2	3	4	5
ИКВ	Величина	5	4,01–4,9	2,51–4	1,6–2,5	<1,5
	Характеристика	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная
NSF-WQI	Величина	90,01–100	70,01–90	50,01–70	25,01–50	0–25
	Характеристика	Отличное	Хорошее	Удовлетворительное	Плохое	Очень плохое
Общая оценка гидроэкологического состояния		Норма	Риск	Кризис	Бедствие	Катастрофа

Table 1. Combined table of methods of parameterizing surface water quality and assessing the hydroecological status of water ecosystems

Parameterization method		Water quality class				
		1	2	3	4	5
WQI	Value	5	4.01–4.9	2.51–4	1.6–2.5	<1.5
	Characteristic	Very clean	Clean	Moderately polluted	Polluted	Dirty
NSF-WQI	Value	90.01–100	70.01–90	50.01–70	25.01–50	0–25
	Characteristic	Excellent	Good	Medium	Bad	Very bad
Total assessment of hydroecological status		Normal	Risk	Crisis	Disaster	Catastrophe

Результаты и обсуждение

При проведении качественного и количественного анализа проб воды из водохранилищ определены физико-химические и микробиологические показатели (табл. 2).

Таблица 2. Средние значения физико-химических и микробиологических параметров воды водохранилища города Латакунга и водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо в 2018–2019 гг.

Параметр	Стандарты качества воды		Водоохранилище Латакунга		Водоохранилище Педро Висенте Мальдонадо	
	Эквадор	Россия	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
Температура, °C	–	–	–	–	22,5 ± 0,5	21,8 ± 0,4
Цвет, Pt-Co	100	–	37,5 ± 11,1	39,0 ± 11,4	28,2 ± 3,9	23,7 ± 9,0
Мутность, NTU	100	–	3,2 ± 1,1	3,3 ± 1,1	5,1 ± 1,5	4,1 ± 1,5
pH	6–9	6,5–8,5	6,8 ± 0,2	6,9 ± 0,2	7,0 ± 0,1	7,20 ± 0,09
Общая минерализация, мг/л	1000	1000	39,8 ± 13,3	34,6 ± 9,6	–	–
Взвешенные вещества, мг/л	–	–	–	–	15,20 ± 6,02	11,3 ± 9,2
NO ₃ ⁻ , мг/л	50	45	1,70 ± 1,63	0,70 ± 0,59	0,44 ± 0,01	0,17 ± 0,01
SO ₄ ²⁻ , мг/л	400	500	–	–	12,1 ± 7,1	19,9 ± 5,0
F ⁻ , мг/л	1,5	1,5	–	–	0,060 ± 0,007	0,060 ± 0,002
Fe ²⁺ , мг/л	0,3	0,3	–	–	0,4 ± 0,1	0,20 ± 0,06
Ni ²⁺ , мг/л	0,025	0,02	0,006 ± 0,002	0,007 ± 0,003	–	–
Растворенный кислород, мг/л	> 6	> 4	6,9 ± 2,2	6,6 ± 2,1	7,5 ± 0,8	7,4 ± 0,8
БПК ₅ , мг/л	2	2	2,8 ± 1,8	2,9 ± 1,7	2,5 ± 0,5	2,7 ± 0,6
Фекальные колиформы, КОЕ/100 мл	600	–	66,2 ± 8,9	41,6 ± 9,1	16,3 ± 3,9	9,3 ± 3,5

Источник: Ministry of the Environment of Ecuador (MAE). TULSMA: Environmental quality and effluent discharge standard: water resources (book 6, annex 1). 2017; Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. ГН 2.1.5.1315-03; СанПиН 2.1.5.980-00. 2.1.5. Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы.

Table 2. Mean values of physicochemical and microbiological parameters of reservoir water of the city of Latacunga and reservoir water of the canton Pedro Vicente Maldonado in 2018–2019

Parameter	Water quality standards		Latacunga reservoir		Pedro Vicente Maldonado reservoir	
	Ecuador	Russia	2018	2019	2018	2019
Temperature, °C	–	–	–	–	22.5 ± 0.5	21.8 ± 0.4
Color, Pt-Co	100	–	37.5 ± 11.1	39.0 ± 11.4	28.2 ± 3.9	23.7 ± 9.0
Turbidity, NTU	100	–	3.2 ± 1.1	3.3 ± 1.1	5.1 ± 1.5	4.1 ± 1.5
pH	6–9	6.5–8.5	6.8 ± 0.2	6.9 ± 0.2	7.0 ± 0.1	7.20 ± 0.09
Total dissolved solids, mg/l	1000	1000	39.8 ± 13.3	34.6 ± 9.6	–	–
Suspended solids, mg/l	–	–	–	–	15.20 ± 6.02	11.3 ± 9.2
NO ₃ ⁻ , mg/l	50	45	1.70 ± 1.63	0.70 ± 0.59	0.44 ± 0.01	0.17 ± 0.01
SO ₄ ²⁻ , mg/l	400	500	–	–	12.1 ± 7.1	19.9 ± 5.0
F ⁻ , mg/l	1.5	1.5	–	–	0.060 ± 0.007	0.060 ± 0.002
Fe ²⁺ , mg/l	0.3	0.3	–	–	0.4 ± 0.1	0.20 ± 0.06
Ni ²⁺ , mg/l	0.025	0.02	0.006 ± 0.002	0.007 ± 0.003	–	–
Dissolved oxygen, mg/l	> 6	> 4	6.9 ± 2.2	6.6 ± 2.1	7.5 ± 0.8	7.4 ± 0.8
BOD ₅ , mg/l	2	2	2.8 ± 1.8	2.9 ± 1.7	2.5 ± 0.5	2.7 ± 0.6
Fecal coliforms, CFU/100 ml	600	–	66.2 ± 8.9	41.6 ± 9.1	16.3 ± 3.9	9.3 ± 3.5

Source: Ministry of the Environment of Ecuador (MAE). TULSMA: Environmental quality and effluent discharge standard: water resources (book 6, annex 1). 2017. (In Spanish). GN 2.1.5.1315-03. Hygienic standards for maximum permissible concentrations (MPC) of chemical substances in the water of water bodies of household, drinking, cultural and domestic water use. SanPiN 2.1.5.980-00. Water disposal at inhabited points. Sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements to surface waters protection (In Russ.)

При анализе полученных данных по водохранилищу г. Латакунга выявлены превышения БПК₅, по водохранилищу кантона Педро Висенте Мальдонадо – БПК₅ и железа по сравнению с установленными нормативами Эквадора и России (см. табл. 2).

Концентрация биохимического потребления кислорода (БПК₅) воды из водохранилища г. Латакунга в 2018 г. – 2,8 мг/л и в 2019 г. – 2,9 мг/л превышает в 1,4 и 1,45 раза соответственно предельно допустимую концентрацию, которая установлена в стандартах Эквадора и России (2 мг/л).

Повышенное значение БПК₅ связано с наличием биоразлагаемых органических веществ в водохранилище, поступающих в большом количестве из экосистемы парамо. Экосистемы парамо содержат большое количество накопленного углерода под воздействием низких температур, которые снижают скорость разложения органического вещества, этот процесс идет медленно, и, несмотря на то, что запасы мертвого покрова и надземной биомассы очень низкие, органическое вещество накапливается в почве и может достигать 39 700 т С/км² на глубине от 0 до 40 см [12]. Среднее количество осадков в парамо Капулис Пасо колеблется от 600 до 1000 мм [7], поэтому согласно [13] данный парамо считается сухим. В парамосе, в условиях низкой влажности, количество горизонтальных осадков увеличивается [14]. Горизонтальные осадки (скрытые осадки или осажденный туман) – явление, характерное для горных районов. При возникновении данного явления полог растительности соприкасается с облачным покровом. Мелкие облачные капли не оседают на горизонтальных поверхностях, а задерживаются и накапливаются на покровах растительности, превращаясь в капли большего размера, затем осаждаются или стекают с поверхности растений, увлекая часть органического материала в водоемы [15].

Полученные в работе данные согласуются с исследованием водохранилища, расположенного в парамо Колумбии [16], в котором значение БПК₅ превышало нормативную величину в 6 раз. Кроме того, в исследовании приведены значения рН (7), растворенного кислорода (7 мг/л) и растворенных твердых веществ (38,2 мг/л), аналогичные значениям, полученным авторами статьи для Эквадора.

В водохранилище кантона Педро Висенте Мальдонадо в 2018 г. определено следующее: среднегодовая концентрация железа (0,4 мг/л) в 1,3 раза превысила предельное значение, установленное эквадорской и российской нормами (0,3 мг/л). Концентрация БПК₅ в 2018 г. – 2,5 мг/л и в 2019 г. – 2,7 мг/л превышает в 1,25 и 1,35 раза соответственно предельно допустимую концентрацию, установленную эквадорским и российским стандартами (2 мг/л)⁴.

Авторы [17] предположили, что высокие концентрации железа в водоемах, расположенных в парамо, могут быть связаны с расширением сельскохозяйственных угодий или чрезмерным использованием удобрений, содержащих железо. Также они могут указывать на естественные источники, связанные с составом почвы. В исследовании, проведенном в Мексике, исследователи обнаружили высокие концентрации таких металлов, как Fe и

⁴ СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (с изменениями и дополнениями).

Pb, и объяснили это расположением реки вблизи вулканической зоны [17]. В Эквадоре в 2020 г. высокие значения Fe были зарегистрированы в реках провинции Пичинча, расположенных недалеко от вулканов [18]. Поскольку бассейн реки Талала находится в зоне вулканического влияния, это может быть правдоподобным объяснением превышающих нормативные требования значений содержания железа.

Климатические условия бассейна реки Талала способствуют развитию пышной вечнозеленой растительности со сложным ярусным строением леса. Во влажных тропических лесах опающая листва представляет собой источник с наибольшим количеством питательных и органических веществ, которые поступают обратно в почву, составляя от 25 до 60 % чистой первичной продуктивности [19].

Высокая скорость течения воды в водоеме в результате большего количества осадков приводит к снижению времени удерживания, что способствует созданию условий, ограничивающих разложение органического вещества, что, в свою очередь, влияет на показатель БПК₅ (рис. 1).

Отметим, что водохранилища в Эквадоре, расположенные в географических зонах, аналогичных исследуемому водохранилищу, такие как водохранилище Фатима (2,5 мг/л) и водохранилище Америка (3 мг/л), имеют схожие концентрации БПК₅ [20].

В зависимости от сезонных колебаний меняется концентрация органического углерода. Характер колебаний зависит от гидрологического режима водных объектов, изменений интенсивности биологических процессов и разного химического состава, зависящего от сезона. Содержание органического углерода в придонных слоях и поверхностной плёнке может сильно расходиться с его содержанием в остальной массе воды.



Рис. 1. Факторы влияющие на разложение органического вещества в экотоне бассейна реки Талала

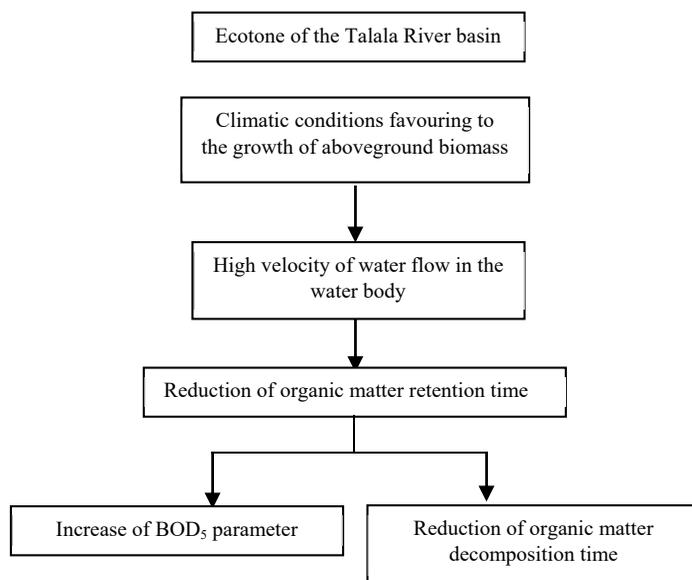


Figure 1. Factors influencing organic matter decomposition in ecotone of Talala river basin

Поскольку биоразнообразие сосудистых растений в тропиках велико, различные характеристики листьев (твердость, содержание фенолов и другие аспекты химического состава листьев) вносят свой вклад в большую изменчивость скорости разложения: быстро разлагающиеся листья сохраняются только в течение нескольких дней, в то время как видам с высокой устойчивостью требуется больше года для разложения [21]. Вместе с тем в реках парамо ежегодное накопление органических веществ относительно низкое по сравнению с тропическими реками. В высокогорных тропических ручьях круглый год очень низкая температура воды, поэтому скорость разложения органического вещества низкая. Более того, исследователи выявили, что деструкторы в высокогорных тропических ручьях встречаются редко [22] (рис. 2).

Таким образом, в обеих экосистемах создаются необходимые условия для накопления органических веществ, что затрудняет их разложение (рис. 1, 2). Однако близкие концентрации значений БПК₅, полученные для обеих экосистем, не являются взаимосвязанной закономерностью.

В табл. 3 представлено гидроэкологическое состояние исследованных водоемов по значениям индексов ИКВ и NSF-WQI.

Согласно методу ИКВ, гидроэкологическое состояние водохранилища города Латакунга в 2018 г. – 3,97 и 2019 г. – 3,97 оценивается как «Кризис» (см. табл. 1). По методу NSF-WQI как в 2018 г. (75,7), так и в 2019 г. (75,97) состояние оценивается как «Риск» (см. табл. 1). Но так как значения самих индексов находятся на границе классов, подобные отклонения не представляются существенными.



Рис. 2. Факторы, влияющие на разложение органического вещества в экотоне бассейна реки Ретамалес

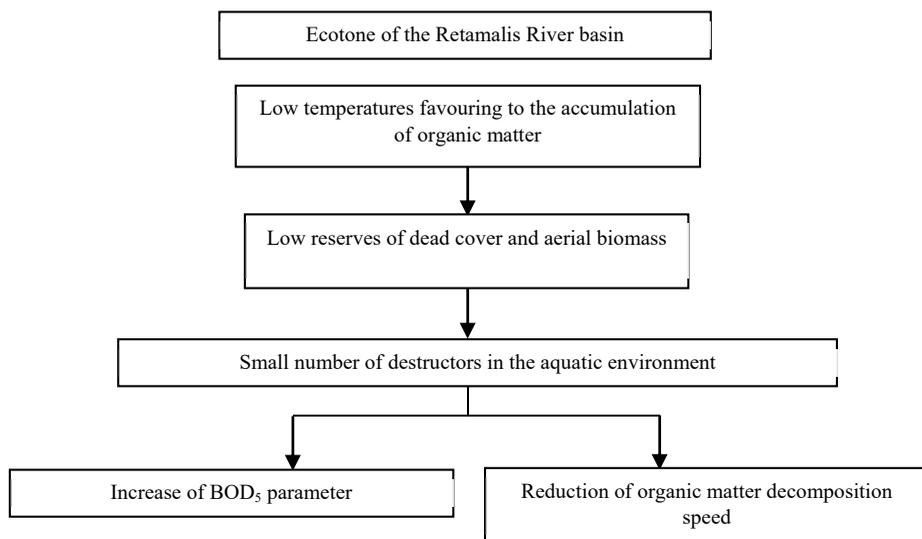


Figure 2. Factors influencing organic matter decomposition in ecotone of Retamales river basin

Таблица 3. Гидроэкологическое состояние водохранилища города Латакунга и водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо, оцененное методами ИКВ и NSF WQI в 2018–2019 гг.

Метод параметризации	Водохранилище Латакунга		Водохранилище Педро Висенте Мальдонадо	
	2018 г.	2019 г.	2018 г.	2019 г.
ИКВ	3,97	3,97	75,70	75,97
Гидроэкологическое состояние	Кризис	Кризис	Риск	Риск
NSF-WQI	4,08	4,30	79,51	82,80
Гидроэкологическое состояние	Риск	Риск	Риск	Риск

Table 3. Hydroecological status of Latacunga city reservoir and Pedro Vicente Maldonado canton reservoir assessed by the WQI and NSF-WQI methods in 2018-2019

Parameterization method	Latacunga reservoir		Pedro Vicente Maldonado reservoir	
	2018	2019	2018	2019
WQI	3.97	3.97	75.70	75.97
Hydroecological status	Crisis	Crisis	Risk	Risk
NSF-WQI	4.08	4.30	79.51	82.80
Hydroecological status	Risk	Risk	Risk	Risk

По значению индекса ИКВ (см. табл. 3) гидроэкологическое состояние водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо как в 2018 г. (4,08), так и в 2019 г. (4,30) оценивается как «Риск» (см. табл. 1). Таким же образом, согласно значению индекса NSF-WQI (см. табл. 3), в 2018 г. – 79,51 и в 2019 г. – 82,80 состояние оценивается как «Риск» (см. табл. 1).

Национальный фонд охраны здоровья (NSF) предлагает использовать уравнения мультипликативного типа, поскольку они являются более чувствительными, чем уравнения аддитивного типа, или взвешенной суммы к экстремальным значениям в индексах I_i , которые, как правило, связаны со значительными колебаниями качества воды. Тем не менее в водах исследованных водохранилищах обнаруживается большая однородность в оценке качества воды и, соответственно, экологического состояния водного объекта при использовании того или иного метода параметризации.

Заключение

Метод ИКВ, применяемый в России, и метод индекса NSF-WQI, используемый в Эквадоре, отражают аналогичные результаты по гидроэкологическому состоянию каждого из исследуемых водохранилищ. Исходя из изученных комплексных индексов гидроэкологическое состояние водохранилища города Латакунга характеризуется в диапазоне категорий от «Кризис» до «Риск». В то же время гидроэкологическая ситуация водохранилища кантона Педро Висенте Мальдонадо оценивается как «Риск». Результаты данного исследования могут служить основой при внедрении технологий очистки воды, соответствующих конкретным характеристикам воды из исследованных поверхностных водисточников.

Список литературы / References

- [1] Biswas AK, Tortajada C. Water quality management: An introductory framework. *International Journal of Water Resources Development*. 2011;27(1):5–11.
- [2] Zubarev VA. Hydrochemical indices for surface water quality assessment. *Regional Problems*. 2014;17(2):71–77. (In Russ.)
Зубарев В.А. Гидрохимические показатели для оценки качества поверхностных вод // Региональные проблемы. 2014. Т. 17, № 2. С. 71–77.
- [3] Lazareva G. Estimation of water quality of uglichsky reservoir by integrated hydrochemical factors. *Bulletin of the Moscow Region State University. Series: Natural Sciences*. 2016;(2):158–164. (In Russ.)

- Лазарева Г. Оценка качества воды Угличского водохранилища по комплексным гидрохимическим показателям // Вестник Московского областного государственного университета. Серия: Естественные науки. 2016. Т. 2. С. 158–164.
- [4] Zaslavskaya MB, Erina ON, Efimova LE. Comparing the efficiency of river water quality parameterization by different methods under a significant human-induced impact. *Geogr. Nat. Resour.* 2019;40(2):122–128.
- [5] Torres P, Cruz H, Patiño P. Water quality index in surface sources used in water production for human consumption. A critical review. *Revista de Ingenierías: Universidad de Medellín.* 2009;8(15):79–94.
- [6] Kurbatova AI, Dalidenok AD, Mikhaylichenko KY, Savenkova EV, Kruglikova EV, Adarchenko IA. The impact Moscow Domodedovo Airport Wastewater on Surface Water Quality. *Ecology and Industry of Russia.* 2020;24(10):67–71. (In Russ.)
Курбатова А.И., Далиденок А.Д., Михайличенко К.Ю., Савенкова Е.В., Кругликова Е.В., Адарченко И.А. Влияние сточных вод Московского аэропорта Домодедово на качество поверхностных вод // Экология и промышленность России. 2020. № 24(10). С. 67–71.
- [7] Buytaert W, Célleri R, De Bièvre B, Cisneros F, Wyseure G, Deckers J, Hofstede R. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews.* 2006;79(1):53–72.
- [8] Yanchatipán M. *Elaboración de un plan de reforestación de las cuencas hídricas del páramo Capulis Paso para mantener la captación de agua de consumo humano en la parroquia Belisario Quevedo cantón Latacunga provincia de Cotopaxi* (Dissertation). Latacunga: UTC;2012.
- [9] Proaño G. *Análisis cuantitativo de los sistemas la cuenca de drenaje del río Talalá*: Guayaquil, Ecuador. Available from: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/5883>
- [10] Quiroz L, Izquierdo E, Menéndez C. Application of the water quality index in the Portoviejo River, Ecuador. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental.* 2017;38(3):41–51.
- [11] Castañeda A, Montes C. Carbon stock in andean paramo. *Entramado.* 2017;13(1):210–221.
- [12] Rangel-Ch JO. Biodiversity of Colombia: significance and regional distribution. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.* 2015;39(151):176–200.
- [13] Cavelier J, Goldstein G. Mist and fog interception in elfin cloud forests in Colombia and Venezuela. *Journal of Tropical Ecology.* 1989;5(3):309–322.
- [14] Bruijnzeel LA, Proctor J. Hydrology and biogeochemistry of tropical montane cloud forests: what do we really know? *Tropical montane cloud forests.* 1995;110:38–78.
- [15] Toro D, Jaramillo M, Ocampo D, Correa R, Salgado P. Limnologic study of the Black Lagoon. Buffer zone at the National natural snow-covered mountains park. *Boletín científico, Centro de museos: Museo de historia humana.* 2012;16(2):23–38.
- [16] Monar N, González M, Cruz E, González V, Chávez L, Fierro, Saltos R. Calidad de agua de la microcuenca del río Illangama cantón Guaranda, provincia Bolívar-Ecuador. *Revista de investigación talentos.* 2016;3(1):42–51.
- [17] Vargas SV, Rodríguez F, Arenas ML, Martínez R, Sujitha SB, Jonathan MP. Heavy metals in the volcanic and peri-urban terrain watershed of the River Yautepec, Mexico. *Environmental monitoring and assessment.* 2019;191(3):1–15.
- [18] Borja P, Ochoa V, Maurice L, Morales G, Quilumbaqui C, Tejera E, Machado A. Determination of the microbial and chemical loads in rivers from the Quito capital province of Ecuador (Pichincha) – A preliminary analysis of microbial and chemical quality of the main rivers. *International journal of environmental research and public health.* 2020;17(14):5048.
- [19] Quintero AC, Castellanos-Barliza J, Peláez JD, Tamaris-Turizo CE. Characterization of the organic matter provided by leaf litter in the forest in the Gaira riverbank (Sierra Nevada de Santa Marta – Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental.* 2014;5(1):171–184.
- [20] Abril R, Rodríguez L, Sucoshañay D, Bucaram E. Evaluation of the water quality of the Puyo river basin. *Ingeniería hidráulica y ambiental.* 2017;38(2):59–72.

- [21] Wantzen KM, Yule CM., Mathooko JM., Pringle CM. Organic matter processing in tropical streams. *Tropical stream ecology*. Academic Press; 2008. p. 43–64.
- [22] Villamarín CP, Prat i Fornells N, Rieradevall i Sant M. Physical, chemical and hydromorphological characterization of Ecuador and Perú tropical highland Andean rivers. *Latin American Journal of Aquatic Research*. 2014;42(5):1072–1086.

Сведения об авторах:

Саласар Флорес Кристиан Александер, аспирант, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-6927-7863. E-mail: cristian_salazarf@hotmail.com

Курбатова Анна Игоревна, кандидат биологических наук, доцент департамента экологической безопасности и менеджмента качества продукции, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0002-7763-5034. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Михайличенко Ксения Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент департамента экологии человека и биоэлементологии, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. ORCID: 0000-0001-8051-8528. E-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.ru

Баранникова Светлана Игоревна, студент, институт экологии, Российский университет дружбы народов, Российская Федерация, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6. E-mail: 1032193179@rudn.ru

Bio notes:

Cristian A. Salazar Flores, PhD student, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6927-7863. E-mail: cristian_salazarf@hotmail.com

Anna I. Kurbatova, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Environmental Safety and Product Quality Management, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-7763-5034. E-mail: kurbatova-ai@rudn.ru

Kseniya Y. Mikhaylichenko, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Human Ecology and Bioelementology, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-8051-8528. E-mail: mikhaylichenko-kyu@rudn.ru

Svetlana I. Barannikova, Student, Institute of Environmental Engineering, RUDN University, 6 Miklukho-Maklaya St, Moscow, 117198, Russian Federation. E-mail: 1032193179@rudn.ru