

ОЦЕНКА САНИТАРНО - МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО И ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОТОКОВ ЗАПОВЕДНИКА ШУЛЬГАН - ТАШ

©2013 Л.Ю. Кузьмина¹, О.Я. Червяцова², А.С. Рябова¹, Ю.С. Ляхницкий³

¹Институт биологии Уфимского научного центра РАН, г. Уфа

²Государственный природный заповедник Шульган–Таш

³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, г. Москва

Поступила 07.06.2013

При проведении микробиологического и гидрохимического мониторинга выявлена степень загрязнения карстовых инфильтрационных и поверхностных вод поступающих в спелеосистему Шульган-Таш. Показаны источники загрязняющих веществ и степень опасности антропогенной нагрузки на пещеру.

Ключевые слова: карстовые воды, бактерии, гидрохимия.

Пещера представляет собой открытую систему, через которую проходят инфильтрационные, инфлюационные, паводковые воды и воздушные потоки. Тесная связь карстовых вод с поверхностью, условия циркуляции пещерных инфлюационных водотоков, аэрация подземного пространства определяют повышенное содержание в них органики, наличие организмов и повышенную – микробиологическую активность в сравнении с пластовыми подземными водами. Большое число микроорганизмов попадает в водотоки с загрязненными почвенными водами верховодки, содержащими биологически разлагаемые вещества.

Целью настоящей работы было изучение микробиологического и гидрохимического состояния водотоков поступающих в спелеосистему Шульган-Таш – памятник археологии и природы глобального ранга и определение влияния уровня антропогенной нагрузки на состояние природных карстовых вод.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА

Район исследований расположен в западной части Бурзянского района Республики Башкортостан. Поверхностный водосбор речки Шульган находится в юго-восточной части заповедника Шульган-Таш в кварталах № 19, 25 и 51 и в энтомологическом заказнике Алтын-Солок.

Геология. Бассейн речки Шульган структурно приурочен к ассиметричной меридиональной Ир-гизлинской синклинальной складке, имеет площадь около 45 км² и вытянут с юга на север на расстояние 12,5 км. Пещера Шульган-Таш приурочена к карстовому массиву, нижнекаменноугольных визейско-намюрских хомогенных известняков (С_{1v}).

Гидрология и гидрография. Речной сток района формируется в основном за счет снеговых (60-80%) и дождевых (2-12%) осадков, а также подзем-

ных вод (13-38%), около 60-70% осадков выпадает жидкой фазе. Средняя величина испарения составляет около 51% от выпадающих осадков, это образует избыток влаги, что создает предпосылки для накопления подземных вод и их оттока на соседние площади [2]. Воды пресные (общая минерализация до 500 мг/л), гидрокарбонатного класса, кальциевой группы, II типа, по водородному показателю – слабощелочные или (реже) нейтральные.

Основным водотоком района является малая речка Шульган длиной 13 км, являющейся правым притоком реки Белой. В зимнюю и летнюю межень Шульган частично пересыхает. В 6,7 км ниже истока речка Шульган принимает свой единственный постоянный правый приток – ручей Харала. Питание ручья происходит за счет родников пластовых вод. Наиболее крупный (3-5 л/сек) родник каптирован и на нем организован водозабор д. Гадельгареево. В нижней части водосбора ручья Харала расположен родник Антон, иссякающий в межень, предположительно питающийся за счет верховодки. Река Шульган на расстоянии 3 км к северу от пещеры Шульган-Таш поглощается в воронку пещеры им. Ожиганова. Далее поток проходит под суходолом, появляется на протяжении около 150 м в залах пещеры Дальнем и Бездны, и выходит на поверхность в виде вклюдного источника во входном гроте Пещеры – Портале, образуя Голубое озеро.

Ручей Каран, начинается в 2 км от пещеры, одноименным карстовым источником к северо-западу от Пещерного массива, протекает вдоль Большой поляны и далее по каньону речки Шульган. В межень он полностью поглощается понорами, наиболее крупный из которых находится у лога Клинь и поставляет воду в пещеру – в зал Хаоса, благодаря чему осуществляется питание очага капежа около композиции «Лошадки зала Хаоса».

Слобопроточное подвешенное Большое верхнее озеро расположено на втором этаже пещеры, питается мелким ручьем, поступающим в пещеру предположительно за счет поглощения стока воронками Северного лога.

Антропогенный фактор. В 1986-1987 гг. в верховье реки Шульган и в центральной части водо-

Кузьмина Людмила Юрьевна, к.б.н., старший научный сотрудник, e-mail: ljuz@anrb.ru; Рябова Алена Сергеевна, аспирант, e-mail: alenarya@rambler.ru.; Червяцова Ольга Яковлевна, инженер, e-mail: Kittary@yandex.ru; Ляхницкий Юрий Сергеевич, к.г.-м.н., ведущий научный сотрудник, e-mail: Yuri_Lyahnitky@vsegei.ru

сбора был вырублен лес для формирования сельскохозяйственных угодий (выпаса скота и сенокоса) на площади 0,9 км². В д. Гадельгареево находится 125 домов, проживает 522 жителя и содержится около 750 голов крупного и 1000 – мелкого скота. В деревне многие хозяйственные постройки (скотные дворы) стоят на берегах ручья Харала или его притоков. Воды стекают со скотных дворов, поступают в ручей, а оттуда в речку Шульган.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объекты исследований – водные источники и бактериальная микрофлора воды. Мониторинг проводился весной (18.04.2012 и 18-20.04.2013), летом (22.07.2012) и зимой (21-23.02.2012).

Для микробиологических анализов отбирали образцы воды (0-10 см). Учет численности микроорганизмов в водотоках осуществляли методом посева воды на твердые питательные среды, гетеротрофных бактерий на среде МПА (мясо пептонный агар) и бактерий группы кишечной палочки (БГКП) – Эндо. Оценку качества воды и уровня опасности в зависимости от содержания бактерий группы кишечной палочки осуществляли по санитарным нормативам. По содержанию гетеротрофных бактерий оценивали санитарное состояние водоемов: ~ 10 – очень чистое, 10-10² – чистое, 10²-10³ – умеренно загрязненное, 10³-10⁴ – загрязненное, 10⁴-10⁵ – грязные, >10⁵ – очень грязные. Гидрохимический анализ проводили титрометрическими и фотоколориметрическими методами гидрохимического анализа полевыми методами (ГОСТ 24902). При колориметрических определениях применялся фотоколориметр Экотест-2020. Растворенный кислород определяли методом Винклера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Микробиологический мониторинг водотоков.

В зимнюю межень вода отсутствовала в роднике Антон, ручья Харала и в речке Шульган выше и ниже д. Гадельгареево (табл.). В это время года была самая низкая численность гетеротрофных бактерий в воде 1,5x10²-2,5x10³ КОЕ/мл. Из всех исследованных водотоков максимальное количество бактерий содержали воды скважины глубиной 60 м. Меньше всего загрязнены бактериями были воды родника Харала и Голубого озера речки Шульган. Содержание бактерий в водных источниках пещеры (Капельник, Большое озеро, речки подземный Шульган) зимой было приблизительно – 3,7-7,7x10² КОЕ/мл. В феврале бактерии группы кишечной палочки не были обнаружены в исследованных пробах воды (табл.).

Весной, в половодье, в воде наблюдалась самая высокая численность бактерий (1,4x10³-2,1x10⁵ КОЕ/мл), что объясняется большим количеством взвешенных частиц почвы смываемыми бурными потоками талой воды (табл.). Максимальное количество гетеротрофных бактерий обнаружено в р. Шульган, а также в устье ручья Харала. В д. Га-

дельгареево больше всего бактериями были загрязнены воды родника Антон – 8,2x10³-3,1x10⁴ КОЕ/мл и скважины – 1,4x10⁴ КОЕ/мл. Самыми чистыми в деревне были воды родника Харала, по бактериям – 1,8x10³ КОЕ/мл. В пещере численность бактерий в воде Большого озера была выше (5,8x10³ КОЕ/мл), чем в капельнике у Лошадок (1,3x10³).

Весной самая высокая численность бактерий группы кишечной палочки обнаружено в устье ручья Харала, она превышала в 2,8-17 раз показатели СанПиН для поверхностных вод (табл.). В остальных водотоках попадающих в пещеру и выходящих из неё уровень численности БГКП превышал норму в 2012 г. в 2,6-6,4 раза и в 2013 г. – 1,1-3,0.

Проведенная весной 2012 г. микробиологическая оценка качества воды показала более высокую численность бактерий и БГКП, чем исследования 2013 г. Этот факт можно объяснить тем, что зима 2013 г. была многоснежной. Весной 2013 г. наблюдалось три пика паводка, микробиологические исследования производились на втором подъеме вод в условиях сильного их разбавления. Поэтому, возможно полученные результаты по численности бактерий в воде в половодье 2013 г. по числовым показателям имеют меньшие величины, чем 2012 г.

В летнюю межень вода отсутствовала в роднике Антон, ручья Харала и в речке Шульган выше и ниже деревни (табл.). Наибольшая численность бактерий обнаружена в воде ручья Харала – 6,0x10⁴ КОЕ/мл, там же выявлена и самая большая численность БГКП, превышающая показатели СанПиН в 120 раз (табл.). На порядок меньше бактерий было в воде родников Антон и Каран (1,8-2,2x10³). При этом бактерии БГКП отсутствовали в воде родника Каран, однако в роднике Антон, выходящем в районе деревни, их численность превышала показатели СанПиН в 3,4 раза (табл.). Водам родника и ручья Каран свойственны те же закономерности, как и для вод Харалы (табл.). Весной и летом воды родников не были заражены БГКП и содержали меньшее количество гетеротрофных бактерий, чем ручьи. Воды ручья Каран загрязняются бактериями когда проходят по Большой поляне где идет выпас скота.

Летом в воде из Голубого озера, численность бактерий составляла 3,5x10³ КОЕ/мл и была примерно такого же порядка, как и показатели в верховьях реки Шульган, 8 км от пещеры (табл.). Однако вода в Голубом озере по бактериям БГКП была чище, чем в её верховьях (4 и 1,5x10² КОЕ/мл, соответственно). По-видимому, здесь прослеживается та же самая закономерность, как и в случае родника и ручья Каран и Харала.

В водотоках заповедника и прилегающего района, в зимнюю межень присутствует минимальное количество гетеротрофных бактерий (воды умеренно загрязненные и загрязненные – 10²-10³ КОЕ/мл), в паводок количество бактерий достигает

Таблица. Микробиологический и гидрохимический мониторинг воды на территории Заповедника, пещеры Шульган-Таш и окружающих территорий

Водопункт; км до входа в пещеру	Дата	Mg ²⁺	Fe общ.	Cl ⁻	Нитритный N, NO ₂ ⁻	Нитратный N, NO ₃ ⁻	Аммонийный, NH ₄ ⁺	ОМЧ, КОЕ/мл	БГКП КОЕ/мл
Скважина 60 м; 4,6	23.02.13	9,30	0	7,10	3,53	0	0,2	2,5x10 ³	0
	18.04.13	0	0,16	8,9	2,52	0	0	1,4x10 ⁴	0
Родник Антон; 4,7	14.04.12	6,20	–	16,02	57,83*	0,4	0	3,1x10 ⁴	–
	20.07.12	0,60	0	8,20	11,6	0	0	1,8x10 ³	34
	18.04.13	6,82	0,07	21,36	8,67	0	0	8,2x10 ³	0
Харала родник; 5,2	23.02.13	26,7*	0	5,30	0	0	0,1	1,8x10 ²	0
	18.04.13	9,30	–	3,56	0,07	0	0	1,8x10 ³	0
устье ручья; 3,9	08.04.12	4,34	–	9,8	19,66	0,22	–	9,4x10 ⁴	168
	20.07.12	16,00	0,09	15,0	5,55	0,21	0,3	6,0x10 ⁴	1191
	18.04.13	3,10	–	8,9	2,61	0	0,1	8,6x10 ⁴	27
р. Шульган выше устья ручья Харала; 4,0	09.04.12	3,10	–	4,5	1,85	0	–	2,1x10 ⁵	65
	20.07.12	5,50	0,09	3,2	0	0	0	4,0x10 ³	146
	18.04.13	–	–	–	–	–	–	3,4x10 ⁴	0
р. Шульган воронка Ожиганова (3,2)	08.04.12	9,30	–	8,9	14,18	0,27	–	4,7x10 ⁴	26
	18.04.13	0	–	1,78	0,60	0,01	0	4,7x10 ⁴	30
Каран родник (2)	20.07.12	0	0	2,10	0,60	0	0	2,2x10 ³	0
	18.04.13	1,24	0,14	5,34	0,65	0,01	0,1	1,8x10 ²	0
ручей 1,8 1,65	20.07.12	0	0,13	4,3	0,84	0	0	2,0x10 ⁴	576
	18.04.13	4,96	–	7,12	0,07	0	0,1	2,2x10 ⁴	0
р. Шульган, Голубое Озеро; 0	22.04.12	3,72	–	–	1,32	0,01	0	1,6x10 ⁴	46
	20.07.12	4,30	0,05	4,30	2,33	0	0	3,5x10 ³	4
	20.02.13	0	0,10	7,10	2,18	0	–	1,5x10 ²	0
	18.04.13	0	0,9*	7,12	0,45	0,01	0	1,3x10 ⁴	11
Капельник з. Хаоса; 0,28	19.02.13	1,24	–	–	2,18	0	–	3,7x10 ²	0
	20.04.13	1,24	0,19	5,34	0	0	0	1,3x10 ³	8
Большое Озеро; 0,57	21.02.13	1,86	0,07	5,30	0,69	0	0	7,7x10 ²	0
	20.04.13	0	0,11	5,34	0	0	0	5,8x10 ³	0
СанПиН: 4630-88; 2.1.4.1175-02		20,0	0,3	350	45	3,3	2,0	–	<10

Прим. * – данные превышения ПДК по СанПиН; «–» – нет данных, ОМЧ – общее микробное число, БГКП – бактерии группы кишечной палочки

максимального значения (загрязненные и очень грязные – от 10³ и > 10⁵). Летом численность гетеротрофных бактерий снижается и соответствует загрязненным и грязным (10³-10⁴ КОЕ/мл). Не один исследуемый водоток по содержанию гетеротроф-

ных бактерий не оценен как чистый или очень чистый.

Гидрохимический мониторинг водных источников. Ионы магния в ощутимых количествах появляются только в родниках у ручья Харала

(табл.), что связано с наличием доломитов в области их питания. Концентрации основных ионов (гидрокарбонат, кальций) сильно варьируются в зависимости от фазы водности и степени разбавления атмосферными (снеговыми, дождевыми) водами. Во время прохождения весеннего половодья на главном вклюдзе – источнике Голубое озеро содержание гидрокарбоната и общая жесткость воды уменьшаются по сравнению с меженью в 3-5 раз. Наблюдения показали, что природные воды, не затронутые антропогенной деятельностью, обеднены анионом хлора (2-3 мг/л), но в водотоках, подверженных загрязнению, он появляется в концентрациях до 16-21 мг/л. Содержание общего железа в среднем 0,09-0,1 мг/л, некоторое увеличение (0,9 мг/л) отмечалось при паводках, что отвечает росту общего загрязнения паводковых вод, а также, возможно, отражает увеличение миграции железа счет поступления органических кислот. Содержание растворенного кислорода в воде (весна 2013 г.) показывает его постепенное нарастание в поверхностном потоке от родника Харала (4,8 мг/л) до воронки Ожиганова (11,5 мг/л), что связано с хорошей аэрацией водного потока в турбулентных условиях.

В водотоках и подземных водах в районе деревни отмечается повышенное (по сравнению с местными фоновыми значениями) содержание аммония, нитрит и нитрат-ионов (табл.), но превышение ПДК по СанПиН для нитратов было отмечено только для родника Антон, расположенного в нижней части поселения и питающегося из верховодки с замедленным режимом водообмена.

Один из основных источников поступления в гидросистему соединений азота – зоогенное загрязнение, бытовые стоки. Накопление нитратов вызывает прогрессирующее увеличение загрязнения подземных вод. Отсутствие потребителей нитратов в подземных водах приводит к тому, что они становятся преобладающими в анионном составе на значительную глубину [1]. С этим связана известная проблема сельских поселений – накопление соединений азота в подземных водах, используемых для питья и орошения. Сохранению удовлетворительного качества подземных вод участка д. Гадельгареево способствует интенсивный приток вод по первому водоносному горизонту в связи с особенностями его структуры.

Сопоставление данных по химическому и микробиологическому состоянию воды для родника Антон, ручьев Харала, Каран и речки Шульган у воронки пещеры им. Ожиганова позволяет выявить роль антропогенного фактора на степень загрязнение воды. Относительно высокое количество анионов Cl^- , NO_2^- , NO_3^- и катионов NH_4^+ (по сравнению с местными фоновыми значениями) в воде этих источников соответствует высокой численности микроорганизмов.

Уязвимость карстовых вод района. Известно, что санитарное состояние подземных вод опреде-

ляется их защищенностью от загрязнения и перекрытостью водоносного горизонта отложениями, преимущественно слабопроницаемыми, препятствующими проникновению загрязняющих веществ с поверхности земли в подземные воды. Территория, на которой расположен заповедник, отнесена к категории районов II Б (не защищенных от поверхностных загрязнений). В настоящее время активно применяется ранговая система оценки защищенности карстовых вод (СОР+К метод), базирующаяся на производной по трем основным показателям: «О-показатель» (литологические и фильтрационные свойства перекрывающих слоев над зоной постоянного насыщения), «С-показатель» (факторы поверхностной и почвенной фильтрации) и «Р-показатель» (режим осадков) [3].

В нашей оценке по этой методике для зоны активного поглощения поверхностного стока карстовыми формами (площадь 13,2 км²) были приняты следующие значения параметров: почвенный горизонт 0,2-0,5 м, перекрывающие четвертичные отложения (суглинки) 2-3 м, мощность перекрывающей толщи известняков над горизонтом постоянного насыщения – в среднем 70-90 м, эпикарстовая зона (по средним глубинам воронок) 5 м, условия циркуляции – безнапорные и полуоткрытые; водосборы замкнутые, характер руслового стока – тальвеги, замкнутые на поноры 50-100 м, уклоны наклон $< 8^\circ$, преобладающий тип растительности в зоне поглощения луговой, плотность карстовых воронок 24 шт/км², коэффициент концентрации подземного стока пещерами – 1. «Р-показатель» был упущен в связи с отсутствием рядов метеорологических данных для данного района (не менее 30 лет). Данный расчет дал оценку защищенности карстовый вод 0,1 (класс уязвимости – очень высокая).

Таким образом, существующая антропогенная нагрузка является мощным загрязняющим фактором на водосборе карстовой системы Шульган-Таш. Оценка защищенности карстовых вод района по СОР+К методу показывает высокую степень их уязвимости, что согласуется с более ранними оценками, проведенными классическими гидрогеологическими методами при региональном картировании [1].

Установлено, что водные источники на территории д. Гадельгареево и на выпасах более загрязняемые гетеротрофными бактериями и бактериями группы кишечной палочки, чем в водотоках за их пределами. Загрязненные воды собираются в основной водоток изучаемого района – речку Шульган, воды которой поступают в Голубое озеро пещеры. Вклюдзный источник Голубое озеро по численности гетеротрофных бактерий оценивается от умеренно загрязненного до грязного, а по уровню загрязнения БГКП как удовлетворительно чистый зима-лето и загрязненный весной. В водотоках и подземных водах участка д. Гадельгареево отмечается повышенное (по сравнению с местными фоно-

выми значениями) содержание аммония, нитрит и нитрат-ионов, но превышение ПДК по СанПиН для нитратов было отмечено только для родника Антон. Сохранению удовлетворительно (относительно соединений азота) качества подземных вод района д. Гадельгареево способствует интенсивный водообмен первого водоносного горизонта за счет пластовых источников района и развитию карстовых процессов. В настоящее время экосистема пещеры пока еще способна справляться с таким уровнем микробного загрязнения, но при паводках механизмы самоочищения нарушаются. При увеличении антропогенного пресса подземный фильтр самоочищения вод может не справиться с такой нагрузкой.

Гидрохимическая часть работы выполнена при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ 13-06-00277.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абдрахманов Р.Ф.* Гидрогеология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.
2. *Ляхницкий Ю.С., Чуйко М.А.* Гидрологические и гидрохимические особенности природных вод района пещеры «Шульган-Таш». Миасс: Геотур, 1999. С. 91-104.
3. *Vías J., Andreo B., Perles M., Carrasc F., Vadillo I., Jiménez P.* Proposed method for groundwater vulnerability mapping in carbonate (karstic) aquifers: the COP method: Application in two pilot sites in Southern Spain // *Hydrogeology J.* 2006. V. 14. N. 6. P. 912-925.

EVALUATION OF SANITARY - MICROBIOLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITIONS OF STREAMFLOWS IN SHULGAN - TASH RESERVE

©2013 L.Yu. Kuzmina, O.Ya. Chervyatsova, A.S. Ryabova, Yu.S. Lyahnitskiy

¹Institute of Biology, Ufa Sci. Center of RAS, Ufa

²Shulgan-Tash State Nature Reserve

³A.P. Karpinsky All-Russian Institute of Geological Research, Moscow

Degree of pollution of carst, infiltration and surface water stream flows ingoing in Shulgan-Tash speleosystem was evaluated by means of microbiological and hydrochemical monitoring. The sources of ingoing pollutants in carst waters and danger level of anthropogenic load on the cave were revealed.

Key words: *carst waters, bacteria, hydrochemistry.*

Lyudmila Kuzmina, Candidate of Biology, senior researcher, e-mail: ljku@anrb.ru; *Alena Ryabova*, postgraduate student, e-mail: alenarya@rambler.ru; *Olga Chervyatsova*, engineer, e-mail: Kittary@yandex.ru; *Yuri Lyahnitskiy*, Candidate of Geology and Mineralogy, leading researcher, e-mail: Yuri_Lyahnitskiy@vsegei.ru