

Анализируя полученные снимки, определено, что основные объекты, которые могут попадать в объектив: дороги без растительности, заросшие участки различного состава и густоты, а также интересующие нас водные объекты. При полученных кадрах дороги имеют максимальную температуру, до 40 °С в жаркий день, растительность 25-30 °С, а водные объекты, в данном случае река, прогретая до температуры 18-20 °С.

Во время использования такой сборной конструкции были определены основные трудности. Для получения непрерывных снимков земной поверхности пришлось использовать видео режим, так как при такой сборке системы, нет возможности выполнения дистанционных фотографий с тепловизора. Чехол в полученном исполнении, с одной стороны хорошо отцентрирован и даже с дополнительным весом в виде смартфона и тепловизора, квадрокоптер летает стабильно, но с другой стороны перекрывает часть обзора камеры квадрокоптера и не позволяет делать снимки одновременно с одной и той же точки. В продаже существуют модели квадрокоптеров со встроенным тепловизором, которые бы лучше подошли для целей таких поисков, но их цена намного превышает собранную авторами конструкцию.

Таким образом, в процессе съемки и дешифрирования была определена потенциальная возможность использования снимков даже с любительского тепловизора для выявления водных объектов. В дальнейшем планируются конструкторские улучшения данной сборки, для получения одновременной съемки как с камеры видимого, так и инфракрасного спектров. А также апробации методики на территориях с заведомо известным расположением родников в разные времена года.

Литература

1. Удодов, П. А. Методическое руководство по гидрогеохимическим поискам рудных месторождений [Текст] / П. А. Удодов. – М.: Недра, 1973. – 184 с.
2. Шеходанов, В. О. Гидрогеохимические исследования в составе поисково-разведочных работ на Печищенской площади / В. О. Шеходанов ; науч. рук. Е. М. Дутова // Проблемы геологии и освоения недр : труды XXV Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 120-летию горногеологического образования в Сибири, 125-летию со дня основания Томского политехнического университета, Томск, 5-9 апреля 2021 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2021. — Т. 1. — [С. 283-285].

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ РЕКИ ЯМУНА (ДЕЛИ, ИНДИЯ)

Ядав Б.

Научный руководитель доцент Токаренко О.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Река Ямуна берет начало с ледника Ямунотри в Гималаях и является крупнейшим притоком реки Ганг в Индии. При всей протяженности пути около 1380 км она проходит через несколько штатов, таких как Химачал-Прадеш, Уттар-Прадеш, Уттаракханд, Харьяна и Дели. Порядка 60 млн человек зависят от состояния ресурсов рассматриваемой реки. Однако река Ямуна, протекающая через Дели от плотины Вазирабад вниз по течению до плотины Охла, считается самой загрязненной частью реки. Со временем произошло радикальное изменение качества воды реки Ямуна в районе плотин Вазирабад и Охла по причине сброса неочищенных сточных вод из 17 мелких и крупных канализационных стоков. Промышленная зона Наджафгарх осуществляет сброс сточных вод напрямую в реку. Кроме того, р. Ямуна сильно подвержена влиянию сезона дождей [1], что приносит в реку дополнительное загрязнение с прилегающих территорий. В первые дни муссона (с июля по сентябрь) расход воды высокий с полным спектром почвенных частиц в речных отложениях, и в этот период река также достигает уровня паводка. В период отсутствия муссонов (с октября по июнь) река находится в естественном течении, где происходит рост водных водорослей и поддерживается речное биоразнообразие [2].

Целью настоящего исследования было изучение основных параметров химического состава воды для дальнейшей оценки качества реки Ямуна в районе г. Дели (Индия), где вода р. Ямуна используется для хозяйственно-бытового водоснабжения населения города, а также для целей орошения сельскохозяйственных угодий в различных штатах Северной Индии. Для достижения поставленной цели необходимо решить несколько задач: 1. Произвести отбор проб из реки Ямуна с своевременной доставкой проб в лабораторию; 2. Проанализировать химический состав и сопоставить полученные данные с действующими на территории Российской Федерации нормативами предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рбх}).

Район исследования охватывает 22-километровый участок реки Ямуна, протекающей через г. Дели, втекающей в плотину Вазирабад и вытекающей из плотины Охла (рис.1а). Непосредственно г. Дели занимает площадь 1483 км² между 28°34' северной широты и 77°07' восточной долготы, находится на высоте 213 м над уровнем моря.

В процессе исследования всего было отобрано 4 пробы воды из 4 точек опробования в объеме, необходимом для анализа макро- и микрокомпонентного состава вод (рис.1б, табл.1). Пробы воды были отобраны автором 11 февраля 2022 г. (рис.1б).

Определение химического состава вод выполнено в проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии Томского политехнического университета (Россия). Показатели воды анализировались методами титриметрии, атомной адсорбции, дурбидиметрии, масспектрометрии с индуктивно связанной плазмой и др.

В соответствии с результатами исследования (табл. 2), воды реки Ямуна по значениям минерализации являются умеренно и собственно пресными, околонейтральными и слабощелочными, по значениям жесткости – умеренно жесткие. По химическому типу воды не однокатионные, состав катионной и анионной составляющей по мере направления течения меняется. Так, например, в точках 1 и 2 воды гидрокарбонатные кальциевые или кальциево-магниево-магниево (точка 2), тогда как в точках 3 и 4, которые расположены ниже по течению, воды меняют свой

химический типа на более «пестрый» и становятся гидрокарбонатно-хлоридно-сульфатными (точка 3) и гидрокарбонатно-сульфатными (точка 4). В катионной составляющей в этих точках начинает превалировать натрий и воды становятся кальциево-натриево-магниевыми и даже натриево-кальциево-магниевыми (точка 3).



Рис. 1. Карта района исследования (а) и расположение точек пробоотбора (б)

При сравнении требований к питьевой воде стран РФ и Индии [3] видны различия. Так, например, более высокий порог концентраций предъявляется в Индии по таким элементам, как цинк, медь, стронций, но в то же время более жесткие требования в отношении свинца. В целом, выше нормы только концентрации железа в точках исследования 1 и 2.

Таблица 1

Данные по точкам пробоотбора реки Ямуна

№ точки	Название	Местоположение	Координаты	Описание точки отбора
1	Шьям Гхат	Вазирабад, Нью-Дели	28.738439, 77.229793	Расположена выше по течению по отношению к г. Дели. Пробоотбор со стороны левого берега
2	Ямуна Гхат	Вазирабадский мост	28.711706, 77.231288	Расположена в районе плотины Вазирабад. Течение реки интенсивное, уровень воды высокий
3	Ямуна Гхат II	Мост Кашмирские ворота, ISBT	28.664235, 77.239377	Находится рядом с храмом, где происходит кремация. На месте пробоотбора обнаружено много бытового мусора и пластика
4	Лесной массив Ямуна-Бэнк	Ямуна Банк, Нью-Дели	28.616368, 77.256597	Сток воды в точке пробоотбора стабильный. Место сброса в реку сточных вод.

Анализ соответствия установленных концентраций речной воды с ПДК_{рбх} с действующими нормами показал наличие превышения норм по 13 веществам с различными лимитирующими показателями вредности, в том числе и токсикологическим, оказывающих прямое токсическое действие на водные биологические ресурсы. Так, многократные превышения нормативов отмечены по нитритам – в 20-43 ПДК_{рбх}, фосфатам – 3-64 ПДК_{рбх}, молибдена – 5-8 ПДК_{рбх}, фтору – 4-8 ПДК_{рбх}, меди – 3-4 ПДК_{рбх}, ванадия – 2 ПДК_{рбх}, магния – 1,5 ПДК_{рбх}, сульфатам – 1,3 ПДК_{рбх}. Также отмечены незначительные превышения бора в точках отбора 3 и 4. Особенно обращает на себя внимание превышения таких компонентов, как алюминий и фосфор элементарный, которые для первого составляют 11 ПДК_{рбх}, а для второго – сотни тысяч раз. Тысячекратные превышения фосфора элементарного может говорить о активно развивающихся процессах эвтрофикации и повышенном содержании органического вещества в водах р. Ямуна. Этот показатель особенно высок в точке 3, в районе которой происходит кремация. Превышение алюминия, вероятно, связано с захватом иловых частиц донных отложений, что требует постановки дополнительного пробоотбора для перепроверки полученных данных исследования.

Несмотря на то, что рН исследуемых вод является наиболее подходящей для существования речной фауны, превышение многих компонентов, таких как фтор, алюминий и др., является токсичным для водных организмов. Повышенное содержание магния, алюминия, меди может отразиться на жизнедеятельности рыб. Накопление на поверхности жабр алюминия может привести к дыхательной дисфункции и смерти. Возможно, именно по этой причине в ноябре 2018 г. в Ямуне в Матхуре (185 км от Дели) были обнаружены тысячи мертвых рыб и может быть связано со сбросом токсичных отходов в реку.

Таким образом, по результатам исследования можно сделать следующие выводы:

1. Вода в реке Ямуна пригодна для использования населением города Дели в качестве источника водоснабжения только после предварительной водоподготовки. Воду Ямуны не рекомендуется пить без предварительной обработки;
2. Вода небезопасна для рыбохозяйственной деятельности в связи с многократным превышением концентраций по ряду токсичных компонентов;

**СЕКЦИЯ 6. ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ И
ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЯ**

3. Во время полевых работ было обнаружено наличие большого количества пластика, что может приводить к наличию в водах высоких концентраций микропластика, что требует постановки дополнительных исследований.

Таблица 2
Химический состав реки Ямуна (по данным опробования в феврале 2022 г.), мг/дм³

Показатели	Номер точки опробования				ПДК _{рбх} [5]
	1	2	3	4	
УЭП $\mu\text{s/cm}$	349	353	1143	836	–
pH, ед. pH	7.82	7.81	7.32	6.8	–
Жесткость об., мг-экв/л	3.04	3.02	5.48	4.38	–
Минерализация	296	313	639	517	–
CO ₂	<2	3.56	3.52	3.52	–
CO ₃ ²⁻	<2	<2	<2	<2	–
HCO ₃ ⁻	156	177	229	220	–
SO ₄ ²⁻	50	51	132	104	100
Cl ⁻	20	19	100	63.4	300
Na ⁺	11.24	11.46	78.57	49.36	120
K ⁺	2.57	2.8	8.09	6.81	50
Ca ²⁺	44	33.6	57.6	52	180
Mg ²⁺	10.2	16.3	31.7	21.7	40
NH ₄ ⁺	<0.05	<0.05	0.17	0.12	0.5
NO ₂ ⁻	2.05	3.48	1.89	1.75	0.08
NO ₃ ⁻	6.11	6.59	1.72	2.02	40
PO ₄ ³⁻	0.19	0.19	3.2	2.89	0.05
F ⁻	0.19	0.18	0.42	0.3	0.05
Li	0.005	0.01	0.012	0.01	0.08
Be	0.00005	0	0	0.0001	0.0003
B	0.06	0.03	0.13	0.12	0.1
Al	0.48	0.44	0.03	0.07	0.04
Si	3.54	3.68	3.16	3.49	–
P	0.102	0.14	1.16	0.79	0.00001
Cr	0.0022	0.002	0.0061	0.0037	0.07
Mn	0.01	0.01	0.03	0.04	0.1
Fe	0.61	0.4	0.14	0.15	0.1
Ni	0.001	0.002	0.01	0.008	0.01
Cu	0.003	0	0.004	0.003	0.001
Zn	0.001	0	0.007	0.0072	0.01
As	0.003	0.0031	0.003	0.0033	0.05
Se	0	0	0.001	0.001	0.02
Sr	0.2	0.22	0.75	0.55	0.4
Mo	0.0057	0.0086	0.0072	0.0062	0.001
Cd	0.00002	0.00002	0.000022	0.000034	0.005
Ba	0.05	0.06	0.06	0.054	0.74
Pb	0.0006	0.0006	0.0003	0.0009	0.006
U	0.0019	0.0019	0.0036	0.0028	–

Примечание: **132** – превышение значений ПДК_{рбх} в пробах точек отбора.

По данным правительства Индии [4], к февралю 2025 г. в соответствии с планом действий по отношению к рекам Ганг и Ямуна будет предпринято множество действий по очистке и возрождению рек.

Автор выражает огромную благодарность волонтерам Риши Шарме и Хеманту Ядаву из организации «Tears of The Earth» в г. Дели, которые оказали безмерную помощь при пробоотборе.

Литература

1. Pollution mapping of Yamuna River segment passing through Delhi using high-resolution GeoEye-2 imagery by S. Said & A. Hussain published on 16 march 2019 on Springerlink.
2. Environmental flow for Monsoon Rivers in India: The Yamuna River as a case study by Vikram Soni, Shashank Shekhar, Diwan Singh published on arxiv.com
3. IS 10500 (2012): Standards of water Seconed Revision by BUREAU OF INDIAN STANDARDS, New Delhi
4. An article by Newsindiaexpress.com on Yamuna Cleaning Cell published on November 29, 2021.

5. Приказ от 13.02.2016 г. N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 10 марта 2020 года)
6. Новостной сайт www.NDTV.com

МЕТОД КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ДИФфуЗИИ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ (НАПРИМЕР, ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД КРЭНКА-НИКОЛСОНА)

Ян Хэн

Научный руководитель профессор Савичев О.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

Проблема диффузии загрязняющих веществ по существу является проблемой диффузии концентрации вещества. Различные методы расчета диффузии концентрации вещества имеют разную сферу применения [1].

Метод конечных разностей

Предполагая, например, что f является функцией независимой переменной x , ее частная производная в точке x_0 равна

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$$

Если функция f определена в точке x_0 , то в точке $x_0 + \Delta x$, ее можно аппроксимировать рядом Тейлора следующим образом:

$$f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \sum_1^n \frac{\Delta x^n \partial^n f}{n! \partial x^n} = f(x_0) + \Delta x \frac{\partial f}{\partial x} + \Delta x^2 \frac{\partial^2 f}{2 \partial x^2} + \dots \dots$$

Сохраняя только первый член правой части, последнее уравнение дает

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{f(x_0 + \Delta x) - f(x_0)}{\Delta x}$$

Основные понятия численного подхода

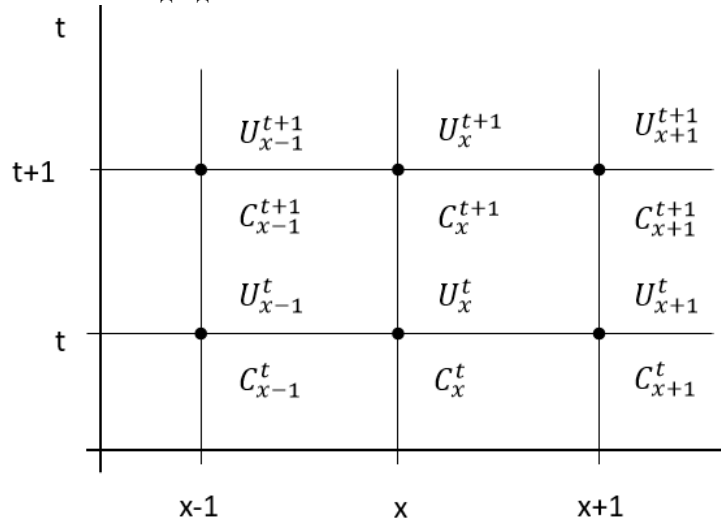


Рис.1. Сетка x, t для численной интерпретации

$$\begin{aligned} \frac{\partial CU}{\partial x} &\rightarrow \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{C_{x+1}^t U_{x+1}^t + C_{x+1}^{t+1} U_{x+1}^{t+1}}{2} - \frac{C_x^t U_x^t + C_x^{t+1} U_x^{t+1}}{2} \right] \\ \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} &\rightarrow \frac{E}{2\Delta x^2} [C_{x+1}^t + C_{x+1}^{t+1} - 2(C_x^t + C_x^{t+1}) + C_{x-1}^t + C_{x-1}^{t+1}] \\ \frac{\partial C}{\partial t} &= E \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - U \frac{\partial C}{\partial x} - kC \\ \omega_1 C_x^t + \omega_2 C_{x+1}^t + \omega_3 C_x^{t+1} + \omega_4 C_{x+1}^{t+1} + \omega_5 &= 0 \\ \omega_1 &= \left[\frac{1}{2\Delta t} + \frac{U_x^t}{2\Delta x} - \frac{E}{\Delta x^2} - \frac{k}{4} \right] & \omega_2 &= \left[\frac{1}{2\Delta t} - \frac{U_{x+1}^t}{2\Delta x} + \frac{E}{\Delta x^2} - \frac{k}{4} \right] \\ \omega_3 &= \left[-\frac{1}{2\Delta t} + \frac{U_{x+1}^{t+1}}{2\Delta x} - \frac{E}{\Delta x^2} - \frac{k}{4} \right] & \omega_4 &= \left[-\frac{1}{2\Delta t} - \frac{U_{x+1}^{t+1}}{2\Delta x} - \frac{E}{\Delta x^2} - \frac{k}{4} \right] & \omega_5 &= \left[\frac{E}{2\Delta x^2} (C_{x-1}^t - C_{x-1}^{t+1}) \right] \end{aligned}$$