

ОЦЕНКА ДИФFUЗНОГО ЗАГРЯНЕНИЯ САРАТОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

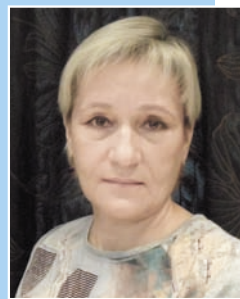
© 2018 г. А.В. Селезнева

ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна Российской академии наук», г. Тольятти, Россия

Ключевые слова: водохранилище, диффузное загрязнение, боковые притоки, водосборная территория, мониторинг, расходы воды, минеральный фосфор, водоохранные мероприятия, Саратовское водохранилище.

Проведены исследования и разработаны методологические подходы к оценке диффузного загрязнения Саратовского водохранилища минеральным фосфором. Новый подход использует данные мониторинга водных объектов и основывается на утверждении, что диффузное загрязнение Саратовского водохранилища формируется не только источниками загрязнения, но и общим экологическим состоянием боковых притоков и их водосборных территорий.

По результатам мониторинга в бассейне Саратовского водохранилища дана количественная оценка минерального фосфора, поступающего в водохранилище с речным стоком с водосборных территорий основных притоков I порядка. Установлено, что в водохранилище с речным стоком поступает в среднем 763 т/год фосфора, из них 328,7 т/год в виде диффузного загрязнения. Основная часть загрязнения поступает с водосборной территории р. Самары (66 %), остальные 34 % приходятся на реки Сок (12,3 %), Сызранка (12,6 %), Чапаевка (5,6 %), Малый Иргиз (2,1 %) и Чагра (1,4 %). На водосборной территории р. Самары, в первую очередь, необходимы мероприятия, направленные на сокращение диффузного стока в Саратовское водохранилище.



А.В. Селезнева

В условиях активизации хозяйственной деятельности проблема диффузного загрязнения крупных водохранилищ Волжско-Камского каскада, используемых для питьевого водоснабжения, рыбного хозяйства и рекреации, стоит крайне остро. Сокращение и предотвращение диффузного загрязнения, а также сохранение нормального экологического состояния и недопущение ухудшения качества воды являются приоритетными задачами.

Одна из главных экологических и водохозяйственных проблем Саратовского водохранилища – массовое развитие синезеленых водорослей, обусловливающее резкое ухудшение качества воды в период летней межени. При этом установлено, что лимитирующим фактором «цветения» воды является наличие растворенного минерального фосфора (далее фосфаты) [1],

который в чрезмерном количестве поступает в водохранилище со сточными водами [2] и речным стоком с водосборной территории.

В настоящее время известны способы количественной оценки минерального фосфора, поступающего в Саратовское водохранилище со сточными водами, основанные на совместном ведении мониторинга водных объектов и точечных источников загрязнения [3], а вот величина диффузного загрязнения оценивается весьма условно. Это объясняется сложностью определения диффузного загрязнения крупных водохранилищ, имеющих водосборную территорию с большим количеством точечных и диффузных источников загрязнения. Очевидна необходимость разработки нового методологического подхода к определению диффузного загрязнения Саратовского водохранилища на основе организации и ведения мониторинга водных объектов, что невозможно сделать без предварительных исследований.

Диффузное загрязнение Саратовского водохранилища минеральным фосфором формируется на его общей (1265,5 тыс. км²) и частной (78,2 тыс. км²) водосборной территории [4]. В данном исследовании оценивается диффузное загрязнение, поступающее только с частной водосборной территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Саратовское водохранилище входит в Волжско-Камский каскад водохранилищ, оно создано в 1981 г. в результате перекрытия Волги в 1129 км от ее устья. Водохранилище имеет протяженность 357 км, полный объем составляет 12,87 км³. Общий приток воды в Саратовское водохранилище – 244,0 км³/год, частный боковой приток – 5,6 км³/год, это 2 % от бокового притока Волги [4].

Частная водосборная территория Саратовского водохранилища без площади зеркала водоема – 78 200 км² [5], это 6 % от бассейна Волги [3]. Гидрологическая изученность бассейна Саратовского водохранилища составляет 71,2 % [5]. В Саратовское водохранилище впадает 156 рек длиной более 10 км. Густота речной сети – 0,22 км/км².

Речная сеть по территории бассейна Саратовского водохранилища распределена неравномерно, что связано с особенностями рельефа и геологического строения, а также с широтным изменением климата. К основным притокам длиной более 100 км относятся реки I порядка: Самара, Сок, Чапаевка, Сызранка, Малый Иргиз и Чагра, суммарная площадь их водосборных территорий составляет 74 500 км² – 95,3 % частной водосборной территории всего Саратовского водохранилища [6].

Данные о содержании растворенного минерального фосфора в воде рек получены на временных гидрохимических пунктах наблюдений в устьевых участках рек (рис. 1). Наблюдения проводили ежемесячно в соответствии с действующими нормативными документами Росгидромета. При отборе проб воды соблюдались требования ГОСТ 31861-2012 [7]. В настоящее время

гидрологическая сеть бассейна Саратовского водохранилища насчитывает 26 речных постов, из которых в данной работе использованы 6 (табл. 1).



Рис. 1. Пункты гидрологических (☼) и гидрохимических (◇) наблюдений.

Таблица 1. Пункты гидрологических наблюдений

Река	Гидрологический пост	Площадь водосбора, км ²	Расстояние от устья, км
Самара	с. Елшанка	22800	211
Сок	ст. Сургут	4730	162
Чапаевка	с. Подъем-Михайловка	1480	138
Сызранка	с. Репьевка	4380	30
Малый Иргиз	с. Селезниха	2110	30
Чагра	с. Новотулка	2550	42

Для оценки содержания в воде рек растворенного минерального фосфора определяли концентрацию фосфатов [8]. Фильтрацию проб осуществляли сразу после отбора воды из реки. Вследствие биохимической неустойчивости фосфаты определяли в течение 4 ч после отбора проб. При невозможности выполнения анализа в этот период, пробу консервировали добавлением 2–4 см³ хлороформа на 1 дм³ воды и хранили при температуре от +3 до +5 °С не более трех дней.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе анализа топографических карт и космических снимков произведено уточнение гидрографии водосборной территории Саратовского водохранилища, куда входят шесть основных (длиной более 100 км) боковых притоков I порядка. Для каждого речного бассейна определено количество притоков различной длины и водохранилищ, расположенных в русле реки I порядка или на ее притоках (табл. 2). В бассейне Саратовского водохранилища многие, даже сравнительно крупные реки с площадью водосбора более 1000 км², в летнюю межень на отдельных участках пересыхают. Отдельные малые водотоки зимой промерзают.

Бассейн р. Самары. Основные притоки р. Самары длиной > 100 км: Большой Кинель, Большой Уран, Кувай, Малый Уран, Ток и Бузулук. В пойме р. Самары и ее притоков – рек Ток и Бузулук, встречается множество мелких стариц. В долине р. Бузулук расположено оз. Чистый Лабаз площадью более 1 км². К северо-западу и к юго-западу от г. Бузулука расположены оросительные системы. В нижней части бассейна имеются три водохранилища, площадь которых более 1 км². В пойме р. Самара, ниже с. Елшанка, встречаются заболоченные участки и множество пойменных озер. В бассейне р. Самара находятся крупные водохранилища: Сорочинское (20,0 км²), Кутулукское (14,2 км²), Елшанское (3,1 км²), Домашкинское (4,2 км²), Чекалинское (1,8 км²), Ветлянское (6,5 км²), Черновское (2,4 км²).

Бассейн р. Сок. Основной приток р. Сок – р. Кондурча длиной 294 км. Другой правобережный приток длиной менее 100 км – р. Большой Суруш. Левобережные притоки совсем мелкие длиной 10–30 км. На р. Сок водохранилищ нет, а на притоках расположено четыре мелких водохранилища. В среднем течении р. Сок отмечены заболоченные участки, русло реки становится более извилистым, а в пойме встречается множество мелких озер.

Таблица 2. Гидрографическая характеристика бассейнов рек

Бассейн реки	Площадь водосбора, км ²	Длина реки, км	Количество притоков				Количество мелких водохранилищ	
			<10 км	10–30 км	30–100 км	>100 км	русло	притоки
Самара	46 500	594	83	50	12	6	2	86
Сок	11 700	363	33	17	1	1	–	18
Чапаевка	4310	298	3	5	1	–	2	34
Сызранка	5650	178	14	7	4	–	1	5
Малый Иргиз	3900	235	5	4	2	–	1	50
Чагра	3440	251	21	1	2	–	1	109

Примечание: «–» – не обнаружено соответствующих водных объектов.

На р. Кондурча выше с. Верхняя Кондурча имеется водохранилище площадью 6,8 км², на боковых притоках реки расположено 13 мелких водохранилищ. На левом берегу, к юго-востоку от с. Украинка, на заболоченной территории находится оз. Белое, площадь которого превышает 1 км².

Бассейн р. Чапаевки. Практически каждая речка в бассейне зарегулирована. В русле р. Кутуруша расположено Кутурушинское водохранилище (1 км²). В русле р. Чапаевка – два небольших водохранилища и 30 водохранилищ на притоках. Основным притоком р. Чапаевка является р. Большая Вязовка длиной более 50 км. Имеется всего один маленький правый приток длиной не более 10 км. Практически все притоки длиной не более 10 км носят временный характер.

Бассейн р. Сызранка. Основные притоки длиной более 30 км – реки Бекманка, Канадейка, Томышевка и Крымза. Река Сызранка является наименее зарегулированной в сравнении с другими реками бассейна Саратовского водохранилища. Пойма р. Сызранка в районе впадения в нее притока р. Балейка и низовьях заболочена. В русле Сызранки – одно маленькое водохранилище и 5 небольших – на притоках.

Бассейн р. Малый Иргиз. Река протекает в засушливой степной зоне и, несмотря на значительную протяженность, имеет всего 11 притоков, два из которых имеют временный характер. Река Малый Иргиз и многие из ее притоков на значительном протяжении в засушливые годы почти полностью пересыхают. Практически каждый приток и многие овраги в бассейне реки перегорожены временными земляными плотинами, которые периодически размываются во время половодья или паводка. В русле реки имеется одно водохранилище, 50 водохранилищ расположено на притоках. В бассейне р. Малый Иргиз размещено большое количество оросительных систем.

Бассейн р. Чагра. Река Чагра имеет три боковых притока: два из них Черненькая и Стерех длиной 30–100 км и р. Свинуха длиной 10–30 км.

Проведенный анализ показывает, что на водосборных территориях рек находится большое количество мелких водохранилищ, которые при разрушении земляных плотин в период весеннего половодья и летних паводков становятся мощным источником диффузного загрязнения.

Диффузное загрязнение реки зависит от состояния самого водотока и его водосборной территории, а также от наличия точечных и диффузных источников загрязнения. Наиболее сложная методическая задача – выделение антропогенной составляющей фосфатов в речной воде, требующая большого массива исходной информации для моделирования, а также организации специальных наблюдений для учета природных, климатических и антропогенных особенности тех или иных речных бассейнов.

Существуют различные подходы к оценке диффузного загрязнения водных объектов фосфатами [9–11], но все они требуют детальной информа-

ции о большом количестве источников загрязнения на водосборной территории. Более того, для учета природных, климатических и антропогенных особенностей речных бассейнов требуется проведение специальных полевых изысканий, направленных на изучение поступления и трансформацию соединений фосфора в водных экосистемах, оценку поступления и трансформации загрязняющего вещества. Непонятно, как учитывать экологическое состояние водосборных территорий, соблюдение режима эксплуатации водоохраных зон и береговых полос, наличие мелких водохранилищ и постоянно разрушаемых очередным половодьем земляных плотин.

Предлагается, в качестве первого этапа, достаточно простой методологический подход к оценке диффузного загрязнения Саратовского водохранилища на основе гидрологического и гидрохимического мониторинга основных боковых притоков. Для каждой водосборной территории j -ой реки I порядка, входящей в бассейн водохранилища, производится:

- расчет средних месячных значений модуля водного стока реки в створе гидрологического поста;
- расчет средних расходов воды (Q_i) в i -й месяц в устье j -ой реки;
- расчет фактической средней концентрации k -го вещества в i -й месяц (C_i) в устьевом створе j -ой реки;
- расчет природной составляющей фактической концентрации вещества в i -й месяц (N_i) в устьевом створе j -ой реки.
- расчет антропогенной составляющей фактической концентрации вещества в i -й месяц (A_i) в устьевом створе j -ой реки.

Расчет диффузного загрязнения Саратовского водохранилища минеральным фосфором осуществляется по формуле:

$$D = \sum_{j=1}^6 (D_j), \quad (1)$$

где D – масса минерального фосфора, поступающего за год в Саратовское водохранилище с водным стоком шести рек в виде диффузного загрязнения, т/год;

D_j – масса минерального фосфора, поступающего за год в Саратовское водохранилище с водным стоком j -ой реки в виде диффузного загрязнения, т/год.

Расчет массы минерального фосфора, поступающего с водосборной территории j -й реки в виде диффузного загрязнения осуществляется по формуле:

$$D_j = \sum_{i=1}^{12} \{(C_i - N_i - A_i) \times Q_i \times K_i \times 86,4 \times 10^{-6}\}, \quad (2)$$

где Q_i – средний расход воды в устьевом створе реки за i -й месяц, м³/с;

C_i – средняя концентрация минерального фосфора в устьев реки за i -й месяц, мг/дм³;

A_i – антропогенная составляющая фактической концентрации минерального фосфора, формирующаяся за счет точечных источников загрязнения в i -й месяц, мг/дм³;

N_i – средняя концентрация минерального фосфора за период ледостава в реке, мг/дм³;

K_i – число дней в месяце.

Основной величиной в формуле (2) является средний месячный расход воды (Q_i). По данным многолетних наблюдений на реках в створах гидрологических постов были рассчитаны средние годовые расходы воды, модули, слои и объемы стока (табл. 3). Наибольшие модули стока наблюдались на р. Сок (4,92 л/с × км²) и р. Сызранка (3,71 л/с × км²), где высокая густота речной сети и наименьшее количество мелких водохранилищ.

Таблица 3. Характеристика рек в створах гидрологических постов

Река	Расход воды, м ³ /с	Модуль стока, л/(с×км ²)	Слой стока, мм	Объем стока, млн м ³
Самара	48,70	2,13	67	1536
Сок	23,26	4,92	155	734
Чапаевка	2,65	1,79	56	83,6
Малый Иргиз	3,22	1,51	48	102
Сызранка	16,24	3,71	117	512
Чагра	3,18	1,24	39	100

Внутри года модули стока рек значительно меняются (табл. 4). Наибольшие среднемесячные модули стока на всех реках отмечены в апреле. Для р. Сок модуль стока в апреле – 19,92 л/с×км². В среднем весеннее половодье продолжается 33 сут, начинается половодье 2 апреля, пик проходит на 14 апреля, а заканчивается 4 мая [12]. Объем половодья в среднем составляет 53 % от годового стока, но может меняться от 17 до 78 %.

Для р. Чапаевка модуль стока в апреле составляет 15,43 л/с×км². В среднем продолжительность половодья – 26 сут, начинается половодье 2 апреля, пик приходится на 11 апреля, заканчивается 26 апреля [12]. В среднем объем половодья составляет 86 % от годового стока, но может меняться от 51 до 97 %. Для р. Малый Иргиз модуль стока в апреле составляет 14,27 л/с×км². Половодье в среднем длится 24 сут, начинается 2 апреля, пик проходит на 10 апреля, заканчивается 25 апреля [12]. В среднем объем половодья составляет 93 % от годового стока, может меняться от 46 до 100 %.

Модуль стока р. Сызранка в апреле составляет 11,74 л/с×км². В среднем продолжительность половодья – 29 сут, с 26 марта по 23 апреля, пик проходит на 7 апреля [12]. В среднем объем половодья составляет 59 % от годового стока, но может меняться от 23 до 79 %. Для р. Самара модуль сто-

ка в апреле $11,68 \text{ л/с} \times \text{км}^2$. Средняя продолжительность весеннего половодья составляет 39 сут. Начинается половодье 1 апреля, пик проходит на 15 апреля, заканчивается 9 мая [12]. В среднем объем половодья составляет 63 % от годового стока, может меняться от 41 до 79 %.

Для р. Чагра модуль стока в апреле составляет $8,95 \text{ л/с} \times \text{км}^2$. В среднем продолжительность половодья – 29 суток, начинается половодье 30 марта, пик проходит на 11 апреля, заканчивается 27 апреля [12]. Объем половодья в среднем составляет 71 % от годового стока, но может меняться от 20 до 93 %.

На основании модулей водного стока рассчитаны среднегодовые расходы воды в устьях рек. Суммарный расход шести рек составляет $196,8 \text{ м}^3/\text{с}$. Самые большие расходы воды наблюдались в р. Самара ($99,3 \text{ м}^3/\text{с}$), р. Сок ($57,5 \text{ м}^3/\text{с}$) и р. Сызранка ($21,0 \text{ м}^3/\text{с}$). Водный сток этих трех рек составляет 90,4 % от общего бокового притока Саратовского водохранилища. На остальные реки приходится менее 10 % водного стока: р. Чапаевка – $7,7 \text{ м}^3/\text{с}$, р. Малый Иргиз – $5,9 \text{ м}^3/\text{с}$, р. Чагра – $5,4 \text{ м}^3/\text{с}$.

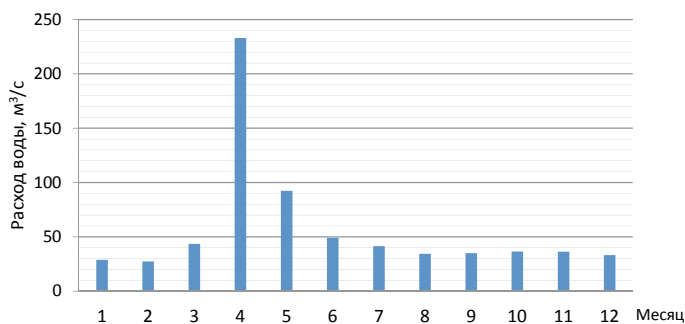
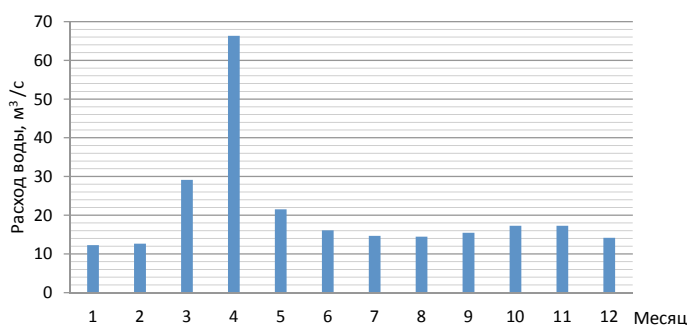
Таблица 4. Модули водного стока в створах гидрологических постов, $\text{л/с} \times \text{км}^2$

Месяц											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Самара, с. Елшанка, $22\,800 \text{ км}^2$											
0,86	0,81	1,46	11,68	3,35	1,50	1,15	0,95	0,91	1,01	1,01	0,94
р. Сок, ст. Сургут, 4730 км^2											
2,46	2,33	3,71	19,92	7,89	4,19	3,54	2,93	2,98	3,12	3,10	2,83
р. Чапаевка, с. Подъем-Михайловка, 1480 км^2											
0,19	0,16	3,65	15,43	0,78	0,32	0,18	0,09	0,10	0,14	0,22	0,26
р. Малый Иргиз, с. Селезниха, 2110 км^2											
0,022	0,030	3,13	14,27	0,56	0,031	0,027	0,031	0,003	0,006	0,013	0,011
р. Сызранка, с. Репьевка, 4380 км^2											
2,17	2,24	5,16	11,74	3,81	2,85	2,60	2,56	2,74	3,06	3,06	2,51
р. Чагра, с. Новотулка, 2580 км^2											
0,31	0,31	2,33	8,95	0,73	0,35	0,32	0,30	0,27	0,29	0,33	0,34

Внутри года расходы воды существенно меняются (табл. 5). Основные расходы воды приходятся на период весеннего половодья (март – май), при этом пик половодья приходится на апрель. Наиболее наглядно внутригодовые изменения расходов воды проявляются на р. Сок (рис. 2) и р. Сызранка (рис. 3). Минимальные расходы воды наблюдаются в период зимней межени, когда река переходит на питание подземными водами. В период весеннего половодья расходы воды в реках резко увеличиваются. Во время вегетационного периода в летне-осеннюю межень расходы воды снижаются, но остаются выше, чем в период зимней межени.

Таблица 5. Среднемесячные расходы воды в устьях рек бассейна Саратовского водохранилища, м³/с

Месяц											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Самара, 46 500 км ²											
39,99	37,67	67,89	543,12	155,78	69,75	53,48	44,18	42,32	46,97	46,97	43,71
р. Сок, 11 700 км ²											
28,78	27,26	43,41	233,06	92,31	49,02	41,42	34,28	34,87	36,50	36,27	33,11
р. Чапаевка, 4310 км ²											
0,82	0,69	15,73	66,50	3,36	1,38	0,78	0,39	0,43	0,60	0,95	1,12
р. Малый Иргиз, 3900 км ²											
0,086	0,117	12,21	55,65	2,18	0,121	0,105	0,121	0,012	0,023	0,051	0,043
р. Сызранка, 5650 км ²											
12,26	12,66	29,15	66,33	21,53	16,10	14,69	14,46	15,48	17,29	17,29	14,18
р. Чагра, 4380 км ²											
1,36	1,36	10,21	39,20	3,20	1,53	1,40	1,31	1,18	1,27	1,45	1,49

**Рис. 2.** Расходы воды в р. Сок.**Рис. 3.** Расходы воды в р. Сызранка.

Величина расходов воды на реках зависит от водности года. В многоводные годы расходы воды увеличиваются, а в маловодные уменьшаются в два–три раза по сравнению с годом средней водности. Межгодовые изменения расходов воды обуславливает увеличение или уменьшение массы минерального фосфора, поступающего в Саратовское водохранилище с водным стоком рек (D_i).

По данным наблюдений установлено, что самые большие концентрации растворенного минерального фосфора (фосфатов) наблюдались в воде р. Сызранка (табл. 6). Средняя годовая концентрация фосфатов составляла 0,132 мгР/дм³, наибольшая – 0,300 мгР/дм³, наименьшая – 0,062 мгР/дм³, годовая амплитуда колебаний составила 0,238 мгР/дм³. Самые маленькие концентрации фосфатов зафиксированы в воде р. Сок. Средняя концентрация составляла 0,082, наибольшая – 0,165, наименьшая – 0,062 мгР/дм³. Годовая амплитуда колебаний концентрации – 0,138 мгР/дм³.

Таблица 6. Концентрация фосфатов в реках бассейна Саратовского водохранилища

Река	Концентрация, мгР/дм ³			Годовая амплитуда, мгР/дм ³
	Средняя годовая	Наибольшая	Наименьшая	
Самара	0,088	0,197	0,040	0,157
Сок	0,082	0,165	0,027	0,138
Чапаевка	0,093	0,175	0,026	0,149
Сызранка	0,132	0,300	0,062	0,238
Малый Иргиз	0,120	0,207	0,036	0,171
Чагра	0,109	0,188	0,046	0,142

Для расчета массы фосфора, поступающего с речным стоком, по формуле (2) необходимы данные о средних месячных концентрациях фосфатов в устьевых зонах рек (C_i). Для их получения была использована база данных Института экологии Волжского бассейна РАН (табл. 7).

На всех реках внутригодовой максимум концентрации наблюдается весной в период прохождения весеннего половодья и зависит не только от состояния бассейна, но и от погодных и гидрологических условий года. В период зимней межени концентрация фосфатов минимальная, она наблюдается во время ледостава, когда поступление фосфатов с водосборной территории отсутствует и река питается только подземным стоком. В период летней межени концентрация может снизиться еще больше, чем зимой за счет потребления фосфатов водорослями и высшей водной растительностью. Наибольшая сезонная амплитуда колебаний концентрации фосфатов наблюдалась в воде р. Сызранка (рис. 4), наименьшая – в воде р. Сок (рис. 5).

Таблица 7. Среднемесячные концентрации фосфатов в устье рек бассейна Саратовского водохранилища, мгР/дм³

Месяц											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Самара											
0,059	0,073	0,090	0,197	0,099	0,060	0,055	0,040	0,086	0,130	0,099	0,070
р. Сок											
0,065	0,084	0,165	0,111	0,1	0,075	0,027	0,049	0,071	0,09	0,08	0,065
р. Чапаевка											
0,069	0,09	0,123	0,175	0,113	0,047	0,026	0,033	0,115	0,099	0,125	0,095
р. Малый Иргиз											
0,091	0,110	0,173	0,132	0,100	0,057	0,036	0,067	0,18	0,207	0,16	0,128
р. Сызранка											
0,07	0,09	0,121	0,15	0,300	0,199	0,154	0,07	0,062	0,139	0,111	0,115
р. Чагра											
0,081	0,099	0,143	0,112	0,100	0,057	0,046	0,061	0,151	0,188	0,14	0,128

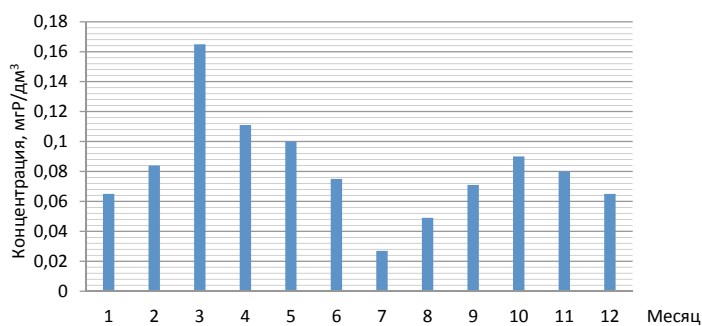


Рис. 4. Содержание фосфатов в воде р. Сок.

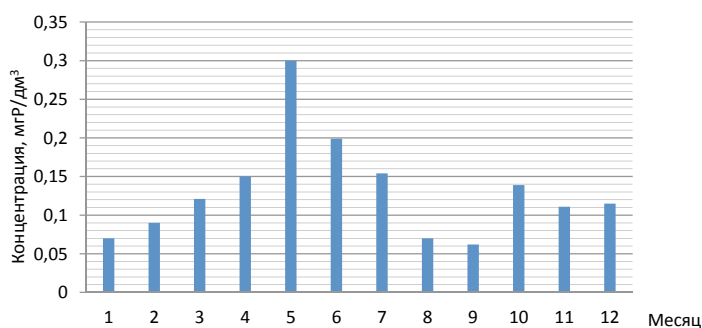


Рис. 5. Содержание фосфатов в воде р. Сызранка.

При отсутствии точечных источников загрязнения на водосборной территории реки можно утверждать следующее: чем больше амплитуда сезонных колебаний фосфатов, тем больше нарушено состояние водосборной территории и выше диффузное загрязнение. Получена количественная оценка минерального фосфора, поступающего в Саратовское водохранилище с речным стоком с водосборных территорий шести основных притоков I порядка (табл. 8). Количество фосфора, поступающего в водохранилище, сильно зависит от расхода воды, поэтому при одной и той же концентрации фосфатов в многоводный год количество фосфора значительно увеличивается.

Установлено, что в Саратовское водохранилище с речным стоком в среднем поступает 763 т/год минерального фосфора. Между речными бассейнами сток распределяется следующим образом: больше всего фосфора поступает в водохранилище с водами р. Самара – 417,5 т/год (54,7 %). На бассейн других рек приходится: 167,1 т/год (21,9 %) – р. Сок; 92,9 т/год (12,2 %) – р. Сызранка; 38,1 т/год (5,0 %) – р. Чапаевка; 25,4 т/год (3,3 %) – р. Малый Иргиз; 19,5 т/год (2,6 %) – р. Чагра.

Основная часть минерального фосфора с речным стоком поступает в Саратовское водохранилище в период весеннего половодья – 576,3 т/год или 75,5 % от годового стока. Пик половодья приходится на апрель, когда сток фосфора составляет 430,8 т/год или 56,5 % от годового стока.

Таблица 8. Сток минерального фосфора в Саратовское водохранилище, т

Месяц											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Самара											
6,32	6,65	16,37	277,34	41,30	10,86	7,87	4,74	9,46	16,37	12,05	8,20
р. Сок											
5,01	5,54	19,18	67,06	24,72	9,54	3,00	4,50	6,43	8,81	7,52	5,78
р. Чапаевка											
0,152	0,150	5,196	30,171	1,018	0,168	0,054	0,348	0,127	0,158	0,308	0,284
р. Малый Иргиз											
0,021	0,031	5,657	19,041	0,584	0,018	0,011	0,021	0,005	0,0133	0,021	0,016
р. Сызранка											
2,300	2,755	9,447	25,79	17,30	8,305	6,059	2,711	2,488	6,436	4,974	4,368
р. Чагра											
0,295	0,327	3,910	11,379	0,857	0,226	0,171	0,214	0,461	0,640	0,526	0,512
Суммарный по рекам сток в Саратовское водохранилище											
14,10	15,45	59,76	430,78	85,78	29,12	17,17	12,53	18,97	32,43	25,40	19,16

Результаты расчетов по формулам (1) и (2) показывают, что диффузное загрязнение Саратовского водохранилища минеральным фосфором в среднем

составляет 328,7 т/год. Это 43 % от всего минерального фосфора, поступающего в Саратовское водохранилище с речным стоком. Основная часть загрязняющих веществ поступает с водосборной территории р. Самара (66 %), остальные 34 % приходится на водосборные территории рек Сызранка (12,6 %), Сок (12,3 %), Чапаевка (5,7 %), Малый Иргиз (2,1 %) и Чагра (1,4 %).

По сезонам года минеральный фосфором от рек поступает в Саратовское водохранилище неравномерно (рис. 6). Основная масса минерального фосфора поступает в Саратовское водохранилище в апреле и составляет 241,3 т/год, это 73,4 % от годового поступления.

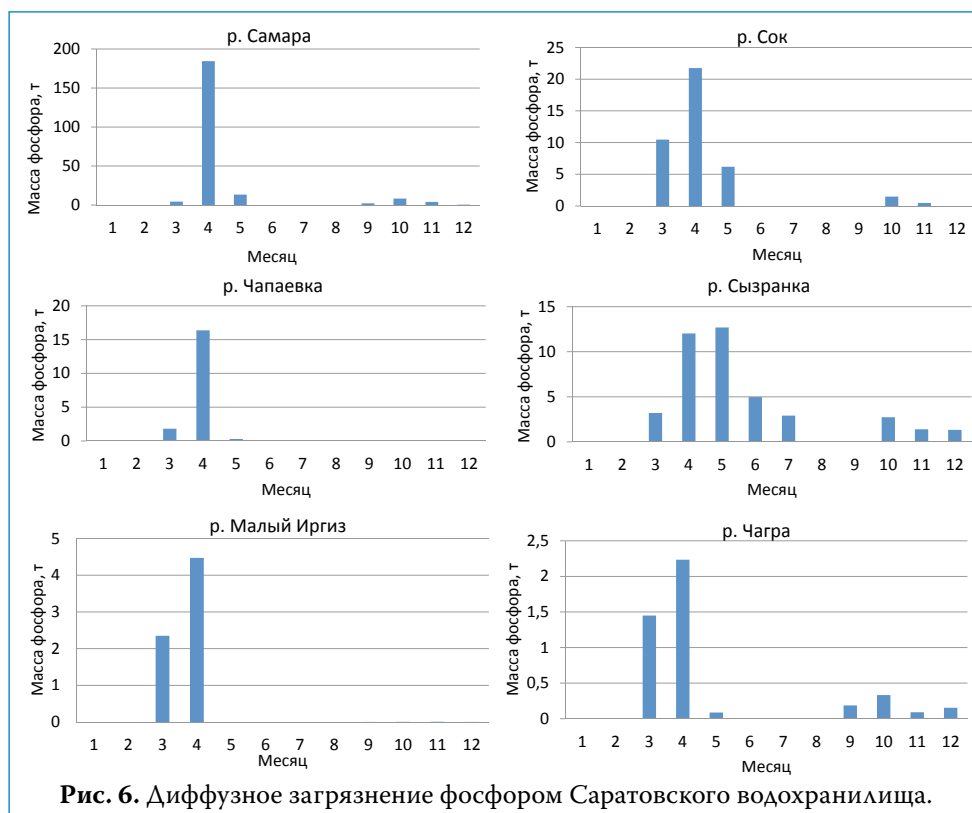


Рис. 6. Диффузное загрязнение фосфором Саратовского водохранилища.

Анализ поступления минерального фосфора показывает, что в первую очередь для р. Самара необходимо разработать водоохранные мероприятия по сокращению диффузного стока, т. к. с ее водосборной территории в Саратовское водохранилище поступает основной объем (66 %) минерального фосфора. Поэтому на водосборной территории этой реки природоохранные мероприятия, направленные на сокращение и предотвращение диффузного загрязнения Саратовского водохранилища, будут наиболее эффективными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили дать количественную оценку диффузного загрязнения Саратовского водохранилища минеральным фосфором, поступающим с водами рек Самара, Сок, Чапаевка, Малый Иргиз, Сызранка и Чагра. С диффузным стоком рек в Саратовское водохранилище в среднем попадает 328,71 т/год минерального фосфора, что составляет 43 % от общего (природного и антропогенного) речного стока фосфора. Больше всего минерального фосфора поступает от р. Самара – 217, 1 т/год, это 60 % всего бокового диффузного загрязнения. Для повышения достоверности оценки диффузного загрязнения необходимо организовать гидрохимические наблюдения в устьевых участках боковых притоков I порядка в бассейне Саратовского водохранилища.

Методологический подход по оценке диффузного загрязнения по данным мониторинга основывается на утверждении, что диффузное загрязнение Саратовского водохранилища формируется не только источниками загрязнения, но и общим экологическим состоянием боковых притоков и их водосборных территорий. После соответствующей апробации в различных природно-климатических условиях, данный подход рекомендуется использовать для других водохранилищ Волжско-Камского каскада. Дифференцированная оценка диффузного загрязнения и его ранжирование по различным водосборным территориям Волжского бассейна позволят приступить к разработке программы поэтапного сокращения диффузного загрязнения водных объектов Волжского бассейна.

Методологический подход, основанный на мониторинге водных объектов, целесообразно использовать не только для количественной оценки диффузного загрязнения, но и для контроля эффективности выполнения водоохраных мероприятий в рамках реализации приоритетного проекта «Сохранение и предотвращение диффузного загрязнения Волги» до 2025 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селезнева А.В., Беспалова К.В., Селезнев В.А. Содержание растворенного неорганического фосфора в воде Куйбышевского водохранилища // Водное хозяйство России. 2018. № 2. С. 35–44.
2. Селезнева А.В., Селезнев В.А. Опыт экологического нормирования биогенной нагрузки на примере Саратовского водохранилища // Известия Самарского научного центра РАН. 2011. Т. 13. № 5. С.26–31.
3. Селезнева А.В. От мониторинга к нормированию антропогенной нагрузки на водные объекты. Самара: СамНЦ РАН, 2007. 107 с.
4. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.

5. Многолетние характеристики притока воды в крупнейшие водохранилища РФ: научно-прикл. справ. СПб.: РПЦ Офорт, 2017. 132 с.
6. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам. СПб.: РПЦ Офорт, 2017. 148 с.
7. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб. М.: Изд-во стандартов, 2013. 36 с.
8. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерения фотометрическим способом.
9. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 253 с.
10. Христианов Н.И., Осипов Г.К. Управление эвтрофированием водоемов. СПб.: Гидрометеиздат, 1993. 278 с.
11. Михайлов С.А. Диффузное загрязнение водных экосистем. Методы оценки и математические модели: аналит. обзор / СО РАН. ГПНТБ. Барнаул: День, 2000. 130 с.
12. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. РСФСР. Вып. 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 518 с.

Сведения об авторах:

Селезнева Александра Васильевна, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Институт экологии Волжского бассейна РАН», Россия, 445004, г. Тольятти, ул. Комзина, 10; e-mail: aleks.selezneva@mail.ru