

СТОК ФОСФОРА С ВОДОСБОРНЫХ ТЕРРИТОРИЙ ПОВОЛЖЬЯ

© 2019 А.В. Селезнева, К.В. Беспалова, В.А. Селезнев

Институт экологии Волжского бассейна РАН –
филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, г. Тольятти

Статья поступила в редакцию 29.11.2019

По результатам гидрологических и гидрохимических наблюдений дана оценка стока фосфора с водосборных территорий рек Заволжья, расположенных в разных природно-климатических условиях и испытывающих различную антропогенную нагрузку от точечных и диффузных источников загрязнения. Оценка стока фосфора обусловлена необходимостью решения проблемы антропогенного эвтрофирования крупных водохранилищ Средней и Нижней Волги. В качестве объектов исследования выбраны основные водосборные территории рек Самара, Сок, Сызранка, Чапаевка, Малый Иргиз и Чагра, впадающих в Саратовское водохранилище. Установлено, что наибольший средний годовой модуль стока фосфора характерен для водосборной территории реки Сызранка, расположенной в лесостепной провинции Приволжской возвышенности, и составляет 521,0 мкгР/(с км²). Наименьший средний годовой модуль стока фосфора характерен для реки Чагра, расположенной в степной провинции Низменного и Сыртового Заволжья, и составляет 180,65 мкгР/(с км²). Рассчитанная величина стока фосфора с водосборных территорий рек включает природную и антропогенную составляющие.

Ключевые слова: водосборная территория, реки, мониторинг, расход воды, минеральный фосфор, модуль стока.

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании состояния и функционирования наземных и водных экосистем, важным является оценка биогенного стока с водосборных территорий. Среди биогенных элементов наибольшее внимание уделяется стоку фосфора, как лимитирующему фактору развития продуктивности экосистем [1, 2]. В настоящее время сток фосфора с речных бассейнов способствует массовому развитию водорослей на водохранилищах Средней и Нижней Волги [3]. В условиях интенсификации сельскохозяйственной деятельности, роста биогенной нагрузки и глобального изменения климата проблема достоверной оценки стока фосфора с водосборных территорий становится всё более актуальной [4].

Необходимость оценки стока фосфора особенно остро стоит на водосборных территориях водохранилищ Средней и Нижней Волги, где из-за чрезмерной биогенной нагрузки интенсивно развивается процесс антропогенного эвтрофирования и возникают экологические и водохозяйственные проблемы.

Селезнева Александра Васильевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов. E-mail: aleks.selezneva@mail.ru
Беспалова Ксения Владимировна, кандидат химических наук, научный сотрудник лаборатории мониторинга водных объектов. E-mail: kvbepalova@yandex.ru
Селезнев Владимир Анатольевич, доктор технических наук, кандидат географических наук, профессор, врио главного научного сотрудника лаборатории мониторинга водных объектов. E-mail: seleznev53@mail.ru

Существуют методы расчета стока фосфора с водосборных территорий рек, на которых проводятся систематические гидрохимические и гидрологические наблюдения [5]. Однако для оценки стока фосфора на частично контролируемых реках необходима разработка специальных расчетных алгоритмов. Цель данной работы заключалась в разработке алгоритмов расчета и оценке стока фосфора с водосборных территорий основных рек бассейна Саратовского водохранилища.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Речная сеть по водосборной территории Саратовского водохранилища распределена неравномерно, что тесно связано с особенностями рельефа и геологического строения, а также с широтным изменением климата. Гидрологическая изученность водосборной территории Саратовского водохранилища составляет 71,2 % [6]. Количество рек, впадающих в Саратовское водохранилище, длиной более 10 км составляет – 156. Густота речной сети составляет 0,22 км/км². Многие, даже сравнительно крупные реки с площадью водосбора более 1000 км², в летнюю межень на отдельных участках пересыхают. Отдельные малые водотоки зимой промерзают.

На водосборной территории Саратовского водохранилища к основным притокам Волги относятся реки I порядка: Самара, Сок, Чапаевка, Сызранка, Малый Иргиз и Чагра. Суммарная площадь их водосборных территорий составля-

ет 74500 км², это 95,3 % частной водосборной территории всего Саратовского водохранилища. Выделение водосборных территорий рек проводилось по топографическим картам масштаба 1:200 000 в среде географической информационной системы «ARC.GIS» с учетом требований методики гидрографического районирования и методики водохозяйственного районирования территории РФ [7]. Гидрографическая характеристика рек представлена в табл.1.

Водосборные территории исследуемых рек расположены в двух природных зонах: лесостепной и степной и трех провинциях: в лесостепной провинции Приволжской возвышенности, в лесостепной провинции Высокого Заволжья и степной провинции Низменного и Сыртового Заволжья. Бассейн р. Сызранка расположен в лесостепной провинции Приволжской возвышенности. Лесостепная провинция Высокого Заволжья включает бассейн р. Сок и северную часть бассейна р. Самара, включая правый приток р. Б. Кинель. Южная часть бассейна р. Самара, а также бассейны рек Чапаевка, Малый Иргиз расположены в степной провинции Низменного и Сыртового Заволжья.

Самая большая водосборная территория у р. Самара и составляет 46500 км², а самая маленькая – у р. Чагра и составляет 3440 км² (рис.1).

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

Водосборная территория *р. Сок*. Основной приток р. Сок – р. Кондурча длиной 294 км. Другой правобережный приток р. Б. Суруш длиной менее 100 км. Левобережные притоки р. Сок совсем мелкие, длина которых составляет 10-30 км. На р. Сок водохранилищ нет, а на притоках имеются 4 маленьких водохранилища. В среднем течении р. Сок наблюдаются заболоченные участки. Русло реки становится более извилистым, а в пойме встречается множество мелких озер.

Основное количество водохранилищ, приходится на бассейн р. Кондурча. На самой реке выше с. Верхняя Кондурча есть водохранилище, площадь которого составляет 6,8 км², и на притоках имеются 13 мелких водохранилищ. На левом берегу к юго-востоку от с. Украинка в заболоченном месте расположено оз. Белое, площадь которого превышает 1 км².

Водосборная территория *р. Чапаевка*. Основным притоком р. Чапаевка является р. Б. Вязовка – левый приток длиной более 50 км. Имеется всего один маленький правый приток длиной не более 10 км. Практически все притоки длиной не более 10 км имеют временный характер.

Практически каждая речка в бассейне зарегулирована. В русле р. Кутуруша расположено водохранилище с площадью 1 км². В русле р. Чапаевки расположены 2 маленьких водохранилища и 30 водохранилищ на притоках реки.

Водосборная территория *р. Сызранка*. Основные притоки длиной более 30 км – это реки Бекманка, Канадейка, Томышевка и Крымза. Река Сызранка является наименее зарегулированной в сравнении с другими реками в бассейне Саратовского водохранилища. Пойма р. Сызранки в районе впадения в нее притока р. Балейка и низовьях реки заболочена. В русле р. Сызранка имеется одно маленькое водохранилище и 5 маленьких водохранилищ на её притоках.

Водосборная территория *р. Малый Иргиз*. Река протекает в засушливой степной зоне и, несмотря на значительную протяженность, имеет всего 11 притоков, два из которых имеют временный характер на всем своем протяжении. Сама р. Ма-

Таблица 1. Гидрографическая характеристика бассейнов рек

Бассейн реки	Площадь водосбора, км ²	Длина реки, км	Количество притоков				Количество водохранилищ	
			< 10 км	10 -30 км	30-100 км	более 100 км	русло	притоки
Самара	46500	594	83	50	12	6	2	86
Сок	11700	363	33	17	1	1	-	18
Чапаевка	4310	298	3	5	1	-	2	34
Сызранка	5650	178	14	7	4	-	1	5
М. Иргиз	3900	235	5	4	2	-	1	50
Чагра	3440	251	21	1	2	-	1	109

Примечание: «-» - не обнаружено соответствующих водных объектов

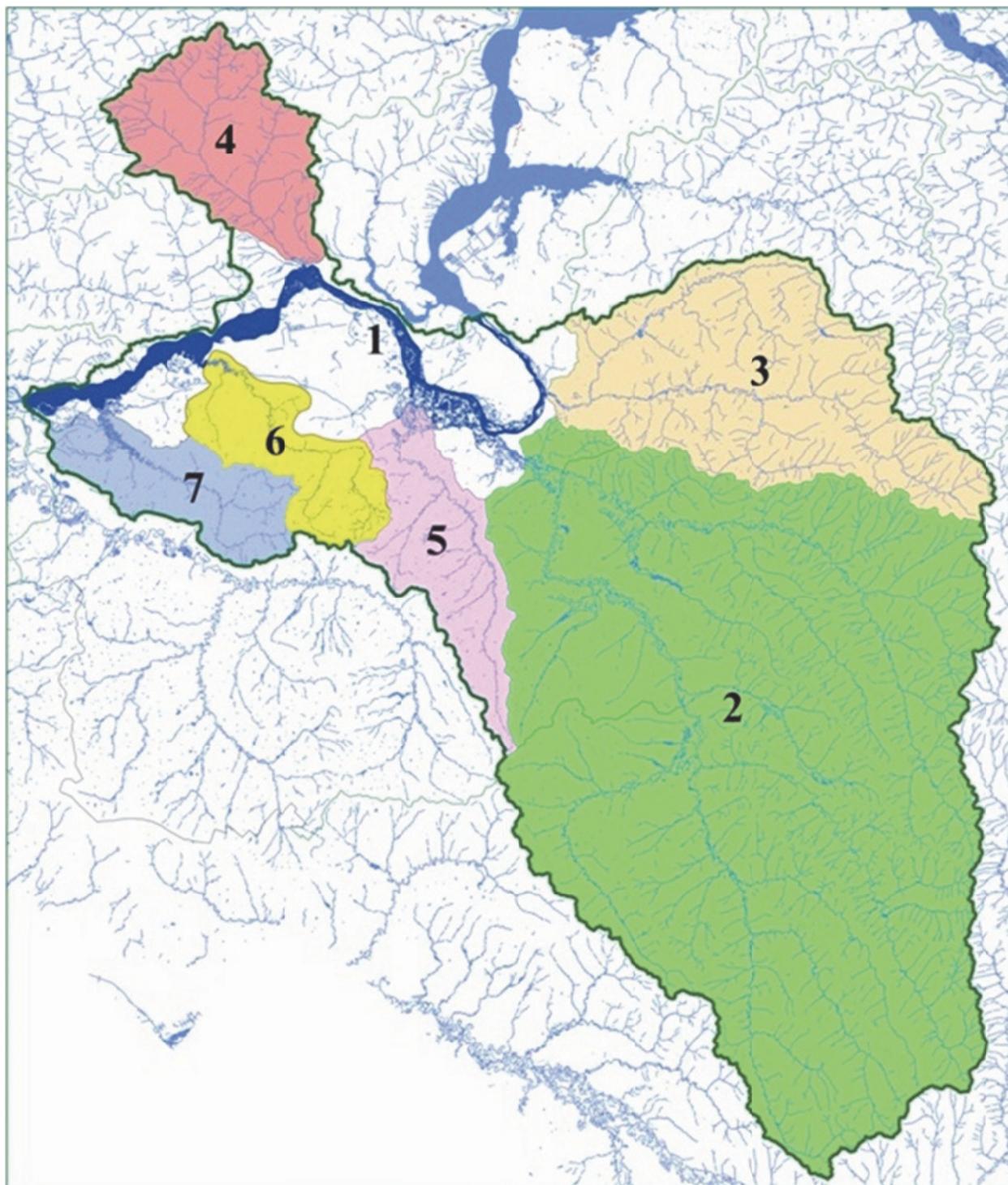


Рис. 1 . Структура водосборной территории Саратовского водохранилища (Водосборные территории Саратовского водохранилища (1) и рек Самара (2), Сок (3) Самара, Сызранка (4), Чапаевка (5), Чагра (6), М. Иргиз (7)).

лый Иргиз на значительном своем протяжении и многие из ее притоков 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 р. Малый Иргиз имеется 1 водохранилище и 50 водохранилищ на притоках реки. В бассейне реки имеется большое количество оросительных систем.

Водосборная территория р. Чагра. Река Чагра имеет три боковых притока: два из них Черненькая и Стерех длиной 30-100 км, а Свинуха длиной 10-30 км. В бассейне р. Чагра имеется 109 мелких водохранилищ, которые при разрушении земляных плотин в период весеннего половодья и летних паводков становятся источниками диффузного загрязнения.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Для сбора многолетних данных о расходах воды рек использованы данные гидрологических постов (табл. 2) из следующих источников:

- справочные издания «Гидрологические ежегодники», подготовка которых осуществлялась силами УГМС Гидрометслужбы СССР до 1979 г.;

- ежегодные кадастровые справочные издания «Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, том 1, часть 1 «Реки и каналы, подготовленные и публикуемые УГМС Росгидромета, начиная с 1980 г.

В устьевых участках рек Сок, Самара, Чапаевка, Малый Иргиз, Сызранка и Чагра были

организованы ежемесячные наблюдения за содержанием минерального фосфора в воде в период 2017-2018 гг. из-за отсутствия систематических гидрохимических наблюдений на реках. Пункты наблюдений располагали близко как водохранилищу, но чтобы они не попадали в зону подпора (рис. 2).

В устьевом створе выбиралась одна вертикаль по результатам оценки однородности качества воды. Неоднородность качества воды в заданном створе оценивалась по удельной электропроводности с помощью зонда или кондуктометра. На реках выбирался один горизонт у поверхности воды: летом - 0,3-0,5 м от поверхности воды, зимой - у нижней поверхности льда. Наблюдения проводились по гидрологическим

Таблица 2. Пункты гидрологических наблюдений на реках

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



Рис. 2. Расположение гидрологических (треугольник) и гидрохимических (ромб) пунктов наблюдения на реках: Самара, Сок, Чапаевка, Сызранка, Малый Иргиз и Чагра

сезонам, при этом в каждом сезоне планировалось отбирать не менее трех проб воды.

Отбор проб воды для химического анализа осуществлялся батометром Молчанова ГР-18. Растворенный в воде неорганический фосфор находится преимущественно в виде производных ортофосфорной кислоты H_3PO_4 , при этом основной формой неорганического фосфора при pH выше 6,5 является HPO_4^{2-} . Измерение концентрации растворенного неорганического фосфора (фосфатов) в воде выполнялось фотометрическим методом [8].

Предлагается достаточно простой алгоритм оценки стока фосфора с водосборных территорий рек на основе систематических гидрологических наблюдений в створах постов и эпизодических гидрохимических наблюдений в устьевых участках рек.

Для каждой водосборной территории производился поэтапный расчет средних месячных значений:

- расходов воды в створах гидрологических постов (этап I);
- модулей водного стока реки в створе гидрологического поста (этап II);
- расходов воды в устьевых участках рек (этап III);
- стока фосфора в устьевых участках рек по данным фактических концентраций фосфора (этап IV);
- модулей стока фосфора (этап V).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка фосфорного стока с водосборных территорий рек Самара, Сок, Чапаевка, Малый Иргиз, Сызранка и Чагра выполнялась последовательно по пяти этапам.

Этап I. По данным многолетних гидрологических наблюдений на реках в створах гидрологических постов были рассчитаны средние годовые расходы воды, модули, слои и объемы стока (табл. 3). Наибольшие средние годовые модули водного стока наблюдались на р. Сок ($4,92 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$) и р. Сызранка ($3,71 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$), где высокая густота речной сети и наименьшее количество мелких водохранилищ.

Этап II. По средним ежемесячным расходам воды выполнен расчет модулей водного стока. Внутри года модули водного стока рек сильно менялись (табл. 4). Наибольшие среднемесячные модули водного стока на всех реках наблюдались в апреле, а наименьшие – в разные гидрологические сезоны.

Для р. Сок модуль стока в апреле составлял $19,92 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, а наименьший – в феврале ($2,33 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$). В среднем продолжительность весеннего половодья составляла 33 суток, начиналось половодье 2 апреля, пик проходит на 14 апреля, а заканчивался 4 мая [9]. Объем половодья в среднем составлял 53% от годового стока, но мог меняться от 17 до 78%.

Таблица 3. Гидрологическая характеристика рек в створах гидрологических постов

Река	Расход воды, $\text{м}^3/\text{с}$	Модуль стока, $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$	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

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

Месяцы											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Самара, с. Елшанка, 22800 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

Для р. Чапаевка модуль стока в апреле составлял 15,43 л/с·км², а наименьший – в августе (0,09 л/с·км²). В среднем продолжительность половодья составляла 26 суток, начиналось половодье 2 апреля, пик проходил на 11 апреля, а заканчивался 26 апреля [9]. В среднем объем половодья составляла 86% от годового стока, но мог меняться от 51 до 97%.

Для р. Малый Иргиз модуль стока в апреле составлял 14,27 л/с·км², а наименьший – в сентябре (0,003 л/с·км²). В среднем продолжительность половодья составляла 24 суток, начиналось половодье 2 апреля, пик проходил на 10 апреля, а заканчивался 25 апреля [9]. В среднем объем половодья составлял 93% от годового стока, но мог меняться от 46 до 100%.

Для р. Сызранка модуль стока в апреле составлял 11,74 л/с·км², а наименьший – в январе (2,17 л/с·км²). В среднем продолжительность половодья составляла 29 суток, начиналось половодье 26 марта, пик проходил на 7 апреля, а заканчивался 23 апреля [9]. В среднем объем половодья составлял 59% от годового стока, но мог меняться от 23 до 79 %.

Для р. Самара модуль стока в апреле составлял 11,68 л/с·км², а наименьший – в феврале (0,81 л/с·км²). Средняя продолжительность весеннего половодья составляла 39 суток. Начиналось половодье 1 апреля, пик проходил на 15 апреля, а заканчивался 9 мая [9]. В среднем объем половодья составлял 63% от годового стока, но мог меняться от 41 до 79%.

Для р. Чагра модуль стока в апреле составлял 8,95 л/с·км², а наименьший – в феврале (0,27 л/с·км²). В среднем продолжительность половодья составляла 29 суток, начиналось половодье 30 марта, пик проходил на 11 апреля, а заканчивался 27 апреля [9]. В среднем объем половодья составлял 71% от годового стока, но мог меняться от 20 до 93%.

Этап III. На основании модулей водного стока были рассчитаны средние расходы воды

в устьях рек в соответствии с СП 33-101-2003 [10]. Самые большие средние годовые расходы воды наблюдались в р. Самара (99,3 м³/с), р. Сок (57,5 м³/с) и р. Сызранка (21,0 м³/с). Водный сток этих трех рек составляет 90,4% от общего бокового притока Саратовского водохранилища. На остальные реки приходится менее 10% водного стока. Водный сток р. Чапаевки составляет 7,7 м³/с, р. М. Иргиз – 5,9 м³/с, р. Чагра – 5,4 м³/с.

Внутри годы расходы воды существенно менялись (табл. 5). Основные расходы воды приходились на период весеннего половодья (март, апрель, май), при этом пик половодья приходился на апрель.

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.

Величина расходов воды на реках сильно зависят от водности года. В многоводные годы расходы воды увеличиваются, а в маловодные годы наоборот уменьшаются в 2-3 раза по сравнению с годом средней водности. Межгодовые изменения расходов воды обуславливают увеличение или уменьшение массы фосфора, поступающего в Саратовское водохранилище с водным стоком рек.

Этап IV. Для получения средних месячных концентраций фосфора (фосфатов) в реках была использована база данных Института экологии Волжского бассейна РАН (табл. 6).

На всех реках внутригодовой максимум концентрации фосфора наблюдался в период прохождения весеннего половодья и зависел не только от состояния бассейна, но и конкретных погодных и гидрологических условий года. В период зимней межени концентрация фосфора

Таблица 5. Средние месячные расходы воды (м³/с) в устьях рек

Месяцы											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
р. Самара, 46500 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, 11700 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

Таблица 6. Средние месячные концентрации фосфатов (мгР/дм³) в устье рек

Месяцы											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
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	0,100	0,075	0,027	0,049	0,071	0,090	0,080	0,065
р. Чапаевка											
0,069	0,090	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	0,180	0,207	0,160	0,128
р. Сызранка											
0,070	0,090	0,121	0,150	0,300	0,199	0,154	0,070	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	0,140	0,128

минимальная и наблюдалась во время ледостава, когда поступление фосфора с водосборной территории практически отсутствовало, а река питалась только подземным стоком. В период летней межени концентрация фосфора снижалась ещё больше, чем в период зимней межени. Это за счет потребления фосфатов водорослями и высшей водной растительностью.

По данным наблюдений установлено, что самые большие концентрации растворенного минерального фосфора (фосфатов) наблюдались в воде р. Сызранка. Средняя годовая концентрация фосфатов составляла 0,132 мгР/дм³, наибольшая - 0,300 мгР/дм³, наименьшая - 0,062 мгР/дм³, а годовая амплитуда колебаний - 0,238 мгР/дм³. Самые маленькие концентрации фосфатов наблюдались в воде р. Сок. Средняя концентрация составляла 0,082, наибольшая - 0,165 мгР/дм³, наименьшая - 0,027 мгР/дм³. Годовая амплитуда колебаний концентрации - 0,138 мгР/дм³. Наибольшая сезонная амплитуда колебаний концентрации фосфора наблюдалась в воде р. Сызранка (рис. 3), а наименьшая - в воде р. Сок (рис. 4).

Результаты количественной оценки стока фосфора для рек представлены в таблице 7. Важно отметить, что вынос фосфора сильно зависит

от водности года. Поэтому при одной и той же концентрации фосфора в речной воде, в многоводный год сток фосфора значительно увеличивается, а в маловодный год - уменьшается.

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

Основная часть фосфора с речным стоком поступает в Саратовское водохранилище в период весеннего половодья (март, апрель, май) и составляет 576,3 т/год или 75,5% от годового стока. В пик половодья, в апреле, сток фосфора составляет 430,8 т/год или 56,5% от годового стока.

В апреле сток фосфора составлял для рек: Самара - 277,34 т, Сок - 67,06 т, Чапаевка - 30,17 т, Малый Иргиз - 19,04 т, Сызранка - 25,79 т и Чагра - 11,38 т.

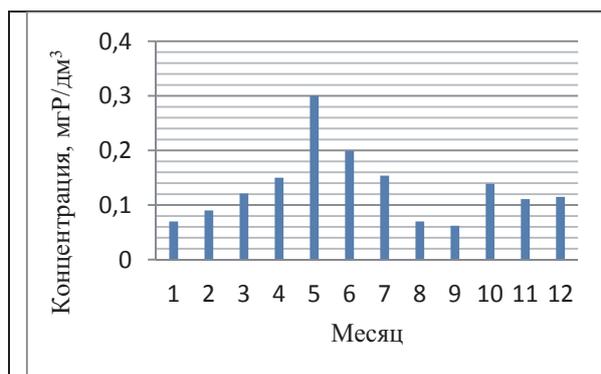
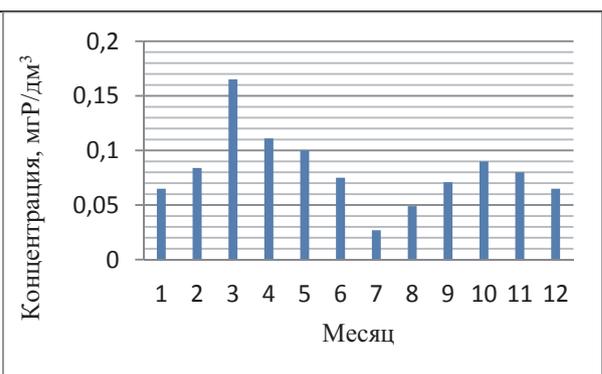
**Рис. 3.** Содержание фосфора в р. Сызранка**Рис. 4.** Содержание фосфора в р. Сок

Таблица 7. Сток фосфора с водосборных территорий рек, т

Месяцы											
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											
0,15	0,15	5,20	30,17	1,02	0,17	0,05	0,35	0,13	0,16	0,31	0,28
р. Малый Иргиз											
0,02	0,03	5,66	19,04	0,58	0,02	0,01	0,02	0,01	0,013	0,021	0,02
р. Сызранка											
2,30	2,76	9,45	25,79	17,30	8,31	6,06	2,71	2,49	6,44	4,97	4,37
р. Чагра											
0,30	0,33	3,91	11,38	0,86	0,23	0,17	0,21	0,46	0,64	0,53	0,51

Этап V. Используя данные о расходах воды и концентрации фосфора в устьях рек, представилась возможность оценить модуль стока фосфора с водосборных территорий.

Средний годовой модуль стока фосфора с водосборной территории рек составляет: для р. Самара - 286,71 мкгP/(с·км²); для р. Сок - 453,80 мкгP/(с·км²), для р. Чапаевка - 283,64 мкгP/(с·км²), для р. Малый Иргиз - 229,29 мкгP/(с·км²), для р. Сызранка - 521,01 мкгP/(с·км²) и для р. Чагра - 180,65 мкгP/(с·км²).

Сезонное распределение модуля стока фосфора представлено в табл. 8. Наибольшие модули стока приходятся на апрель месяц: для р. Самара - 2300,9 мкгP/(с·км²); для р. Сок - 2211,1 мкгP/(с·км²), для р. Чапаевка - 2700,1 мкгP/(с·км²), для р. Малый Иргиз - 1883,5 мкгP/(с·км²), для р. Сызранка - 1760,9 мкгP/(с·км²) и для р. Чагра - 1276,3 мкгP/(с·км²).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным поставщиком фосфора в Саратовское водохранилище является речной сток. Проведенные исследования позволили дать количественную оценку средних годовых и сезонных значений общего (природного и антропогенного) стока фосфора с водосборных территорий рек Самара, Сок, Чапаевка, Малый Иргиз, Сызранка и Чагра, расположенных в различных природно-климатических условиях Поволжья и испытывающих антропогенную нагрузку от точечных и диффузных источников загрязнения.

В Саратовское водохранилище в среднем поступает 763 т/год фосфора с речным стоком 6 основных притоков, которые покрывают 95% всей водосборной территории водохранилища. Основная часть фосфора поступает с водами р. Самара и составляет 417,5 т/год. На водосборные терри-

Таблица 8. Модуль стока фосфора (мкгP/(с·км²)) в устье рек

Месяцы											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Самара											
50,74	59,15	131,4	2300,9	331,7	90,0	63,26	38,00	78,27	131,3	100,0	65,80
р. Сок											
159,9	195,7	612,2	2211,1	788,9	314,2	95,59	143,6	211,6	280,8	248,0	183,9
р. Чапаевка											
13,13	14,41	448,9	2700,1	88,09	53,8	4,71	2,99	11,47	13,78	27,55	24,69
р. Малый Иргиз											
2,01	3,30	541,6	1883,5	55,90	1,77	0,97	2,08	0,55	1,22	2,09	256,4
р. Сызранка											
151,9	201,7	624,3	1760,9	1143,2	567,1	400,4	179,2	169,9	425,4	339,7	288,6
р. Чагра											
32,02	39,14	424,4	1276,3	93,02	25,35	18,72	23,23	51,80	69,41	59,01	55,44

тории других рек приходится: 167,1 т/год (р. Сок), 92,9 т/год (р. Сызранка), 38,1 т/год (р. Чапаевка), 25,4 т/год (р. Малый Иргиз), 19,5 т/год (р. Чагра).

Наибольший средний годовой модуль стока фосфора характерен для водосборной территории р. Сызранка, расположенной в лесостепной провинции Приволжской возвышенности, и составляет 521,0 мкгР/(с·км²). Наименьший средний годовой модуль стока фосфора характерен для р. Чагра, расположенной в степной провинции Низменного и Сыртового Заволжья, и составляет 180,65 мкгР/(с·км²).

Следующий этап исследования предполагает разделение природной и антропогенной составляющих стока фосфора в Саратовское водохранилище с водосборных территорий исследуемых рек. При этом важно дифференцировать вклад антропогенной составляющей от точечных и диффузных источников воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бульон В.В. Эвтрофирование и деэвтрофирование озер как реакция на изменение фосфорной нагрузки с водосборной площади // Теория и практика восстановления внутренних водоемов. Под. ред. Румянцева В.А., Кондратьева С.А. – СПб.: Лема, 2007, С. 44–54.
2. Кондратьев С.А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. СПб.: Наука, 2007. 253 с.
3. Селезнева А.В., Селезнев В.А., Беспалова К.В. Массовое развитие водорослей на водохранилищах р. Волги в условиях маловодья // Поволжский экологический журнал. 2014. № 1. С. 88–96.
4. Селезнев В.А., Селезнева А. В., Беспалова К.В. Антропогенное эвтрофирование крупных водохранилищ Нижней и Средней Волги в условиях глобального потепления климата (проблема и пути решения) // В сборнике: Глобальное распространение процессов антропогенного эвтрофирования водоемов. Материалы международной научно-практической конференции, 2017. С. 151–156.
5. Степанова Е.В. Оценка фоновой составляющей стока валового фосфора с водами контролируемых и неконтролируемых рек бассейна Балтийского моря // Молодой ученый. 2009. № 11. С. 352–355.
6. Научно-прикладной справочник: Многолетние характеристики притока воды в крупнейшие водохранилища РФ. СПб.: ООО «РПЦ Офорт». 2017. 132 с.
7. Определение морфометрических характеристик водных объектов суши и их водосборов с использованием технологии географических информационных систем по цифровым картам Российской Федерации и спутниковым снимкам. СПб.: ООО «РПЦ Офорт». 2017. 148 с.
8. РД 52.24.382-2006. Массовая концентрация фосфатов и полифосфатов в водах. Методика выполнения измерения фотометрическим способом.
9. Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. РСФСР. Выпуск 24. Бассейны рек Волги (среднее и нижнее течение) и Урала. Л.: Гидрометеиздат. 1985. 518 с.
10. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Государственный комитет РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (Госстрой России), Москва. 2004.

PHOSPHORUS RUNOFF FROM CATCHMENT AREAS OF THE VOLGA REGION

© 2019 A.V. Selezneva, K.V. Bepalova, V.A. Seleznev

Institute of Ecology of the Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences –
Branch of the Federal State Budgetary Institution of Science
Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Togliatti

Based on the results of hydrological and hydrochemical observations, phosphorus runoff from the catchment areas of the rivers of the Volga region, located in different climatic conditions and experiencing different anthropogenic load from point and diffuse sources of pollution, is estimated. Assessment of phosphorus runoff is due to the need to solve the problem of anthropogenic eutrophication of large reservoirs of the Middle and Lower Volga. The main catchment areas of the Samara, SOK, Syzranka, Chapaevka, Maly Irgiz and Chagra rivers flowing into the Saratov reservoir were selected as objects of research. It was found that the highest average annual phosphorus flow modulus is typical for the catchment area of the Syzranka river, located in the forest-steppe province of the Volga upland, and is 521.0 µg/(c km²). The lowest average annual phosphorus flow modulus is typical for the Chagra river, located in the steppe province of the Lowland and Syrtic Zavolzhye, and is 180.65 µg/(c km²). The calculated value of phosphorus runoff from catchment areas of rivers includes natural and anthropogenic components.

Keywords: catchment area, rivers, monitoring, water consumption, mineral phosphorus, flow modulus.

Alexandra Selezneva, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher of the Laboratory of Monitoring of Water Bodies.
E-mail: aleks.selezneva@mail.ru

Ksenia Bepalova, Candidate of Chemical Sciences, Researcher of the Laboratory of Monitoring of Water Bodies.
E-mail: kvbepalova@yandex.ru

Vladimir Seleznev, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Geographical Sciences, Professor, Acting Chief Scientific Officer of the Laboratory of Monitoring of Water Bodies.
E-mail: seleznev53@mail.ru