

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ УФА В РАЙОНЕ ВОДОЗАБОРОВ ГОРОДА УФА*

© 2018 г. А.Р. Хафизов, И.В. Недосеко, С.А. Валитов,
Л.А. Камалетдинова, Р.А. Низамова

ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Башкирский филиал, г. Уфа, Россия

Ключевые слова: гидрологический режим, морфометрические элементы, русловые процессы, русловые деформации, посадка уровня, водность реки, сбросные расходы, берегоукрепление, Павловское водохранилище, р. Уфа.



А.Р. Хафизов



И.В. Недосеко



С.А. Валитов



Л.А. Камалетдинова



Р.А. Низамова

Приведена общая характеристика нижнего течения р. Уфа и водозаборов г. Уфа. Изучены современный гидрологический режим и русловые процессы нижнего течения р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа по результатам комплексных детальных исследований трех участков в период 2016–2017 гг.: участок 1 – зона Северного инфильтрационного, Северного ковшового и Шакшинского водозаборов, участок 2 – зона водозабора насосной станции ТЭЦ-2, участок 3 – зона Южного инфильтрационного водозабора. Установлены закономерности влияния Павловского водохранилища на современный гидрологический режим исследуемых участков реки. Проанализирована динамика посадки уровня р. Уфа на водомерном посту Шакша в период с 1961 по 2017 гг. Выполнено сравнение посадок от внешних факторов и от водности реки, выявлены причины проявления посадки уровня.

* Исследование выполнено в рамках государственного задания по «Плану научно-методических и информационных работ ФГБУ РосНИИВХ»

Определены тип и параметры современного руслового процесса, выполнен прогноз русловых деформаций. Вычислены морфологические элементы исследованных участков русла р. Уфа. На основе полученных научных результатов установлены основные направления разработки научно обоснованных рекомендаций по предотвращению посадки уровня, русловых деформаций, размывов дна и берегов нижнего течения р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа.

В настоящее время в результате интенсивной хозяйственной деятельности ухудшился гидрологический режим и активизировались процессы переформирования русел рек. Гидрологическая ситуация на реках дополнительно осложнилась длительным маловодным периодом, начавшимся в 2007 г. Исследования по этим направлениям являются актуальными как для отдельных рек, так и для бассейнов рек в целом. Например, бассейн р. Белая или отдельные реки бассейна – Белая, Уфа, Дема.

Основные негативные последствия вышеназванных процессов для р. Уфа проявились в ухудшении условий водозабора и судоходства, понижении устойчивости искусственных сооружений (мостов, подводных переходов и т. п.), уменьшении репрезентативности данных гидрологических наблюдений прошлых лет [1,2].

Целью данной работы является исследование современного гидрологического режима и русловых процессов нижнего течения р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа, направленное в дальнейшем на разработку научно обоснованных рекомендаций по предотвращению русловых деформаций, размывов дна и берегов.

В статье рассмотрены характеристики нижнего течения р. Уфа и водозаборов; гидрологический режим и его связь с расходами Павловского водохранилища; посадка уровня воды и анализ причин посадки; параметры русловых процессов и прогноз русловых деформаций.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ УФА И ВОДОЗАБОРОВ ГОРОДА УФА

Река Уфа, являющаяся самым крупным притоком р. Белая и второй по протяженности рекой Башкортостана, относится к Камскому бассейновому округу. Исток реки – оз. Уфимское Челябинской области, расположенное на западном склоне Уральского хребта. Общая протяженность реки от истока до устья 969 км. Водосборная площадь бассейна – 52 500 км². Уфа имеет извилистое русло и образует почти сходящие петли. Река впадает в р. Белая выше г. Уфа на 487 км от ее устья, огибая территорию города с восточной и юго-восточной стороны. На 170 км от устья расположено Павловское водохранилище с полным объемом 1411 млн м³, площадью зеркала при НПУ – 115,9 км².

Нижнее течение реки – это участок от устья Павловского водохранилища до устья р. Уфа, зарегулированный Павловским ГЭС. Участок, в основном, равнинного характера, на левом берегу и частично на правом имеются пойменные террасы, ширина которых достигает нескольких километров. В плане река менее извилиста (коэффициент извилистости 1,7). Между отдельными излучинами встречаются прямые и длинные плесы. Глубины в межень на плесах колеблются от 2 до 3 м, на перекатах падают до 0,65 м. Берега реки относительно устойчивые, с крутыми откосами, в большинстве случаев заросшие густым кустарником.

В районе г. Уфа из р. Уфа забор питьевой воды осуществляется четырьмя крупными водозаборами МУП «Уфаводоканал»: Северные водозаборные сооружения (Северный инфильтрационный (СИБ), Северный ковшовый (СКВ), Шакшинский инфильтрационный (ШИВ)) и Южный инфильтрационный (ЮВ) водозаборы. Забор технической воды осуществляется водозабором береговой насосной станции Уфимской ТЭЦ-2 ООО «Башкирская генерирующая компания» (рис. 1).



Рис. 1. Местоположение водозаборов и границы исследуемого участка нижнего течения р. Уфа.

Современный гидрологический режим и русловые процессы изучены на участке нижнего течения р. Уфа в границах от самого верхнего по течению реки водозабора (СИБ) до самого нижнего по течению реки водозабора (ЮВ). Протяженность участка – 45 км. Для детального изучения выбраны три исследуемых участка: 1 – в районе водозаборов СИБ, СКВ, ШИВ, 2 – в районе водозабора ТЭЦ-2, 3 – в районе водозабора ЮВ (рис. 2).

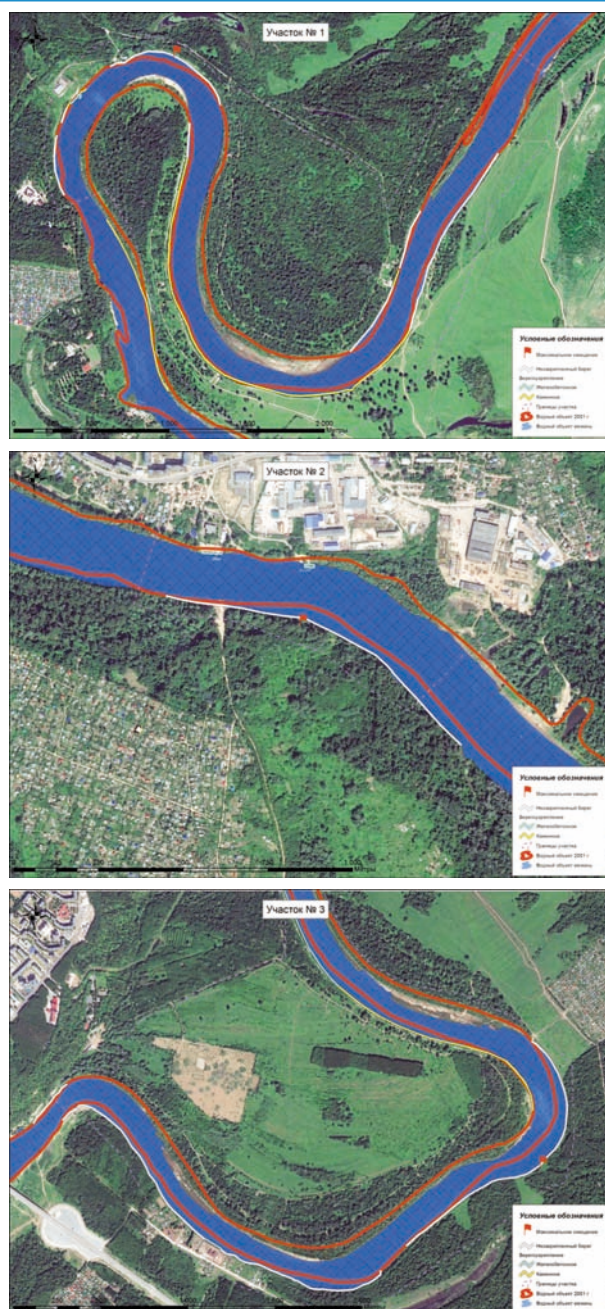


Рис. 2. Участки детальных исследований современных гидрологических режимов и русловых процессов: 1 – СИВ, СКВ, ШИВ; 2 – ТЭЦ 2; 3 – ЮВ.

На исследуемых участках проведены топографические и батиметрические съемки, полевые и лабораторные исследования грунтов дна и берегов, гидрологические исследования потока меженного периода открытого русла.

ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ЕГО СВЯЗЬ С РАСХОДАМИ ВОДЫ ПАВЛОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

В настоящее время гидрологическая изученность р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа недостаточна, т. к. существующий с 1916 г. водомерный пост (в/п) Шакша ведет систематические наблюдения только за уровнями воды.

Башкирским филиалом ФГБУ РосНИИВХ в 2016–2017 гг. проведены комплексные работы по определению гидрологических параметров исследуемых участков р. Уфа (рис. 2). Меженные уровни воды открытого русла наблюдали с 26.06 по 01.11 два раза в сутки по трем участкам. По результатам наблюдений построены усредненные графики среднесуточных уровней воды (рис. 3), которые демонстрируют одинаковый нисходящий тренд и достаточно устойчивую и стабильную корреляцию с уровнями воды по в/п Шакша.

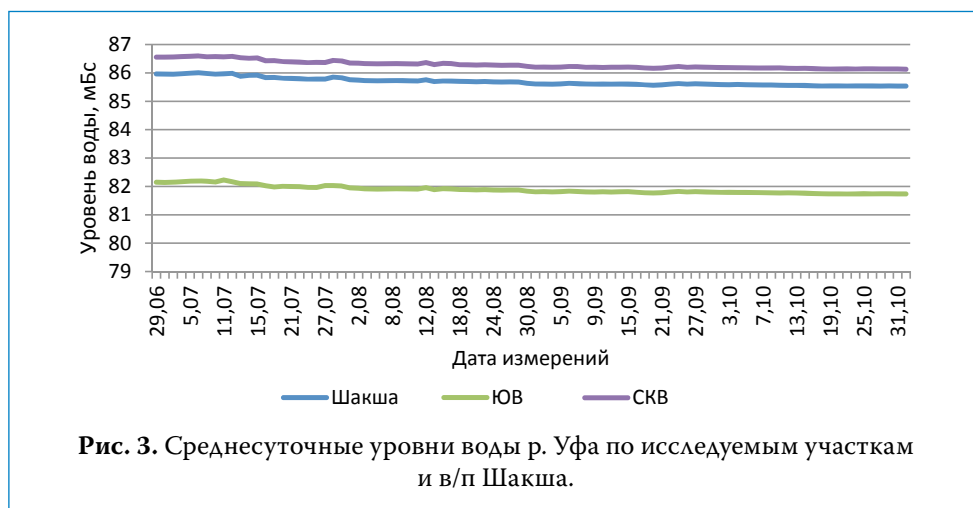


Рис. 3. Среднесуточные уровни воды р. Уфа по исследуемым участкам и в/п Шакша.

Основные гидрологические параметры потока в межень исследованы с помощью профилографа «StreamPro». Единоновременно определены площади поперечного сечения, глубины, скорости и расходы потока по всем исследуемым участкам. Летом 2016 г. наблюдалась устойчивая маловодная межень, а летом 2017 г. в меженный режим прошел дождевой паводок, сопоставимый с весенним паводком. Гидрологические параметры в дождевой паводок и в маловодную межень отличались по расходам в пять раз, по скоростям – в два раза (табл. 1).

Таблица 1. Усредненные гидрологические параметры р. Уфа
в районе водозаборов г. Уфа

Состояние потока	Средний расход, м ³ /с	Скорость, м/с		Площадь попереч- ного сечения, м ²
		средняя	максимальная	
Дождевой паводок	903	1,06	1,80	851
Межень	176	0,54	0,94	378

По программе «Морфоствор», используя результаты исследований профилографом, построены актуализированные зависимости $Q = f(H)$, $V = f(H)$, $w = f(H)$ для всех исследуемых участков водозаборов и сопоставлены со сбросными расходами Павловского водохранилища. Их анализ подтвердил прямую зависимость уровня режима от величин сбросных расходов. Увеличение сбросных расходов повышает уровень воды, уменьшение – уменьшает уровень воды в исследуемых участках с некоторым запозданием. В качестве примера приведено сопоставление графиков сбросных расходов Павловского водохранилища и расходов воды для исследуемого участка ТЭЦ-2 по датам 2017 г. (рис. 4).

Время запаздывания (добегания) зависит от расхода (скорости) потока. Чем больше расход (скорость) потока, тем меньше время добегания сбросного расхода до участка. Гидравлические расчеты без учета боковой приточности показали, что изменение сбросных расходов от 901 до 350 м³/с изменяет время добегания до СКВ от 47 до 92 ч, до ТЭЦ-2 – от 53 до 101 ч, до ЮВ – от 57 до 111 ч. По результатам расчетов построены графики зависимости времени добегания сбросного расхода до исследуемых участков от величины сбросного расхода $t = f(Q_c)$.



На основе полученных зависимостей $Q=f(H)$, $V=f(H)$, $w=f(H)$ и $t=f(Q_c)$ разработаны практические рекомендации, позволяющие выполнить краткосрочный прогноз уровня, расхода и скорости воды на том или ином участке.

ПОСАДКА УРОВНЯ ВОДЫ РЕКИ УФА И АНАЛИЗ ЕЕ ПРИЧИН

Прогрессирующее понижение меженного уровня (посадка), выявленное в 1970-х годах в бассейне р. Белая, привело к необходимости всестороннего исследования и оценки причин его возникновения. Посадка уровня воды наиболее подробно изучена для р. Белая [3–5]. Посадка уровня воды р. Уфа изучена недостаточно. Работы [3, 4] рассматривали посадку уровня воды в р. Уфа в контексте с р. Белая, лишь исследования [5] и ФГБУ «Башкирское УГМС» (1995 г.) целенаправленно изучали ситуацию на р. Уфа.

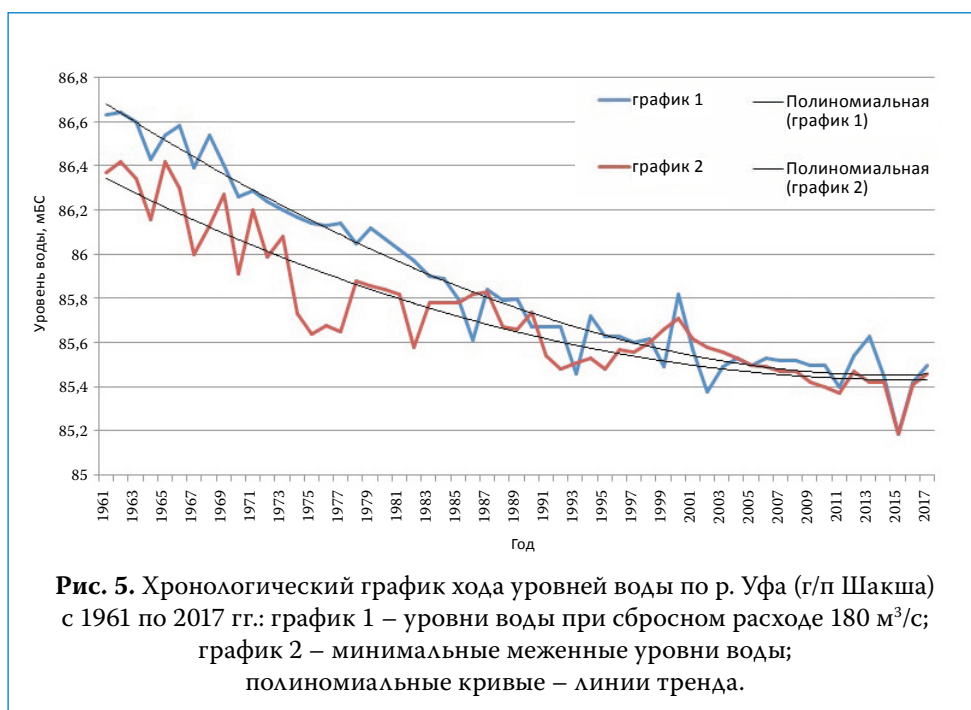
В работах, рассматривающих посадку уровня воды, обычно сравнивают уровни воды реки разных лет: при условных расходах, приведенных к какому-либо значению [3] и при минимальных меженных расходах [4, 5]. В рамках проведенных исследований изучена посадка уровня воды р. Уфа (в/п Шакша) с 1996 по 2017 гг. и динамика посадки с 1961 по 2017 гг. С целью выявления и анализа причин посадки проведены комплексные исследования изменения меженного уровня воды:

- при условных расходах, приведенных к сбросному расходу Павловского водохранилища, равному $180 \text{ м}^3/\text{с}$. В этом случае учитывалось влияние внешних факторов, таких как добыча песчано-гравийной смеси (ПГС), путевые дноуглубительные работы и тектонические движения территорий. Влияние режима регулирования стока Павловским водохранилищем и водности р. Уфа исключалось;

- при минимальных меженных расходах. Учитывалось, в первую очередь, влияние регулирования стока Павловским водохранилищем в маловодные годы.

Посадка уровня воды при условном расходе рассчитана по методу Стаута, рекомендуемого для неустойчивого русла, когда однозначность связи между расходами и уровнями нарушается вследствие деформаций русла. Метод основан на применении стандартной кривой расходов и поправок к ней [6]. По этому методу на основе материалов полевых исследований рассчитана посадка уровня воды с 1996 по 2017 гг. По данным результатов расчета (1996–2017 гг.) и исследования ФГБУ «Башкирское УГМС» (1961–1995 гг.) построен хронологический график хода уровня воды р. Уфа с 1961 по 2017 гг. при условном расходе $180 \text{ м}^3/\text{с}$ (рис. 5, график 1).

Хронологический график хода минимальных меженных уровней построен по результатам полевых исследований и по материалам, предоставленным отделом водных ресурсов Республики Башкортостан Камского БВУ (рис. 5, график 2).



Общий тренд хода уровней воды по обоим графикам направлен в сторону снижения, подтверждая наличие посадки уровня воды р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа. Линии тренда хорошо описываются полиномиальными кривыми, показывающими стабилизацию посадки к концу графиков, т. е. к настоящему времени.

Посадка уровня воды при условном расходе 180 м³/с происходит интенсивнее, чем при минимальных меженных расходах. С 1961 по 2017 гг. (56 лет) посадка уровня составила при условном расходе – 118 см, среднегодовая – 2,1 см; при минимальных расходах – 92 см, среднегодовая – 1,6 см (табл. 2). Основная часть посадки произошла в интервале 1961–1990 гг. и составила от 76 до 90 см, максимальная посадка – 3,2÷3,4 см. Превышение значений посадки уровня при условном расходе над уровнями при минимальных расходах показывает, что основной причиной посадки являются внешние факторы.

Схождение линии двух трендов и практическое слияние графиков с 1985–1990 гг. косвенно указывает на то, что в настоящее время происходит снижение интенсивности внешних факторов, влияющих на посадку уровня (напр. уменьшение объемов добычи ПГС) и увеличение доли влияния водности р. Уфа, регулируемой Павловским водохранилищем.

Таблица 2. Посадка уровня воды по в/п Шакша

Наблюдаемые годы		Посадка уровня, см			
		при условном сбросном расходе 180 м³/с		при минимальных меженных расходах	
интервал, год	продолжи- тельность, лет	интервал	год	интервал	год
1961–1970	10	34	3,4	32	3,2
1971–1980	10	32	3,2	24	2,4
1981–1990	10	24	2,4	20	2,0
1991–2000	10	14	1,4	9	0,9
2001–2010	10	8	0,8	6	0,6
2011–2017	7	6	0,8	1	0,1

С целью установления зависимости уровня посадки от внешних факторов проанализированы все внешние факторы, потенциально влияющие на посадку уровня воды нижнего течения р. Уфа. Анализ показал, что такие внешние факторы, как путевые дноуглубительные работы, забор воды и тектоническое движение территорий не влияют в основной массе на посадку уровня воды. Их доля не превышает 15–20 % [3, 4]. Сопоставление объемов добычи ПГС и величин посадки уровня воды показало прямую и устойчивую зависимость между ними. Так, в 1961–1990 гг., когда происходила наибольшая посадка уровня, добывались значительные объемы ПГС (до 100 млн м³, в среднем до 2 млн м³ в год). В дальнейшем добыча ПГС снижалась, при этом уменьшалась и посадка уровня воды. К 2000–2017 гг. объем добычи уменьшился до 200 тыс. м³ в год, а посадка – до 0,1–0,8 см/год.

Таким образом, можно утверждать, что основной причиной посадки уровня воды под влиянием внешних факторов является добыча ПГС. Данный вывод также подтверждается работами [3–5, 7, 8]. В настоящее время из-за существенного снижения добычи ПГС произошла стабилизация посадки уровня. В будущем, при условии не возобновления интенсивной добычи ПГС в русле р. Уфа, прогнозируется дальнейшая стабилизация или даже некоторое повышение уровня воды по полиномиальному тренду, аналогично тренду спада.

Прогноз влияния добычи ПГС на посадку уровня выполнен по методике [9]. Согласно [9], при объеме годовой добычи ПГС из русла реки меньшем, чем объем годового стока руслоформирующих наносов, карьер ПГС не влияет на гидрологический режим водного объекта. По нашим исследованиям средний годовой сток руслоформирующих наносов в рассмотренных участках составляет 90–100 тыс. м³. В этом случае объемы карьеров ПГС в р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа не должны превышать

90–100 тыс. м³, а их длина – две ширины русла. Расстояния между карьерами должны быть не менее 4 км.

Влияние режима регулирования стока Павловским водохранилищем в маловодные годы на посадку уровня воды и на бесперебойную работу водозаборов начинает проявляться с 1990 г. после значительной посадки уровня из-за добычи ПГС.

Минимальным среднесуточным меженным расходом открытого русла, обеспечивающим работу водозаборов, согласно Правилам использования Павловского водохранилища, является 150 м³/с. Фактические усредненные среднемесячные сбросные расходы составляют более 200 м³/с. В качестве примера на рис. 6 приведены среднемесячные сбросные расходы и их тренд в августе за период с 1973 по 2017 гг.



До 1990 г., т. е. до значительной посадки уровня воды, такое регулирование обеспечивало гарантированную работу водозаборов г. Уфа при любой водности года. Позднее на гарантированную работу водозаборов начинает влиять водность года. В период 1990–1995 гг. эксплуатация водозаборов в межень обеспечивалась годами высокой водности, характеризующимися высокими меженными сбросными расходами. Начиная с 1995 г. по настоящее время, из-за череды маловодных лет Павловским водохранилищем поддерживались лишь минимальные уровни воды, при которых возможна работа водозаборов г. Уфа. Наиболее остро посадка уровня воды проявилась на водозаборе ТЭЦ-2. Так, при расходе воды 150 м³/с в створе, уровень воды снизился до отметки верха всасывающего оголовка насосной станции водозабора ТЭЦ-2.

Таким образом, в последние годы после снижения влияния внешних факторов, таких как добыча ПГС, произошла стабилизация посадки уровня воды, и она в большей степени стала зависеть от режимов регулирования Павловского водохранилища и водности р. Уфа.

Подробный прогноз с использованием полученных актуализированных зависимостей выполнен для водозабора ТЭЦ-2. Гарантированная работа водозабора ТЭЦ-2 будет обеспечиваться при поддержании Павловским водохранилищем и/или водностью реки минимальных меженных расходов $237 \text{ м}^3/\text{с}$ в створе ТЭЦ-2. При прохождении через створ ТЭЦ-2 расхода $150 \text{ м}^3/\text{с}$ гарантированную работу водозабора можно обеспечить формированием нового уменьшенного поперечного профиля с повышением уровня воды не менее чем на 0,8 м.

ПАРАМЕТРЫ РУСЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРОГНОЗ РУСЛОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

При изучении русловых процессов на исследуемых участках р. Уфа водозаборы рассмотрены как пассивные инженерные сооружения, подверженные влиянию всех типов русловых форм [9–11].

По внешним признакам классификации ФГБУ «Государственный гидрологический институт», схема руслового процесса левого берега представлена широкими левобережными поймами со склонами и излучинами. Склоны не ограничивают свободное развитие плановых деформаций излучин. Большинство излучин завершили круг развития и сформировались в староречья. Правый берег, особенно в районе водозаборов, представлен участками реки с преобладающим влиянием ограничивающего фактора в виде берегоукреплений каменной наброской. Берег – без пойм, с пляжами и отмелями, сформировавшимися из наносов. По внешним признакам основным типом руслового процесса является свободное меандрирование, с временным переходом на вынужденное меандрирование части правого берега на укрепленных участках.

Руслоформирующий расход воды исследуемых участков (СКВ, ТЭЦ-2, ЮВ), характеризующий водность реки, определен по методикам ГГИ при уровне воды вровень с бровками пойменных берегов. Отметки пойменных бровок и ширина русла при этих отметках определены по полученным поперечникам, площади поперечного сечения, расходы потока – по актуализированным кривым $Q=f(H)$, $V=f(H)$, $w=f(H)$ для каждого исследуемого створа, средняя глубина потока – как отношение площади поперечного сечения к ширине русла (табл. 3)

Руслоформирующие расходы исследуемых участков р. Уфа хорошо коррелируются с данными [8], где руслоформирующие расходы р. Уфа (г. Верхний Суян) составляют $1750 \text{ м}^3/\text{с}$, р. Белая (г. Уфа) – $3640 \text{ м}^3/\text{с}$.

Таблица 3. Характеристики русла р. Уфа по исследованным участкам

Характеристика русла	Участок		
	СКВ	ТЭЦ-2	ЮВ
Средняя глубина потока, м	5,4	9,2	6,1
Отметки пойменных бровок, мБс	92,8	91,4	90,3
При отметках пойменных бровок: ширина русла, м	310	188	302
площадь поперечного сечения потока, м ²	1675,1	1737,1	1850,3
скорость потока, м/с	1,26	1,36	1,46
расход воды (руслоформирующий расход), м ³ /с	2110,6	2362,4	2701,5

В научной литературе представлены различные методики определения параметров (элементов) русла. В предыдущих исследованиях р. Уфа (1984 и 1998 гг.) использовалась методика В.С. Лапшенкова, поэтому для проведенных исследований также была выбрана эта методика [10]. По данной методике исследуемые участки р. Уфа классифицируются как IV тип русел из современного аллювия – крупнозернистое устойчивое русло. Применительно к этому типу, по формулам В.С. Лапшенкова [10], рассчитаны морфологические элементы потока и русла при руслоформирующем расходе Q_p ; средняя глубина потока при свободном формировании (H_o) и при стесненном формировании ($H_{сж}$); ширина русла по зеркалу: расчетная (B_o) и фактическая ($B_{ф}$); осредненный по длине нескольких излучин уклон свободной поверхности потока (i_o) (табл. 4).

Сравнением средних глубин потока при свободном и стесненном формировании установлено, что в периоды межени на всех исследуемых участках р. Уфа русло формируется свободно, без стеснений. Стеснение в дождевой паводок может проявляться на участке ТЭЦ-2 (стеснение 32 м), а при прохождении руслоформирующих расходов – на участках ТЭЦ-2 (136 м) и ЮВ (51 м).

Появление новых граничных условий в процессе руслоформирования может изменить тип руслового процесса [11]. Новые граничные условия сформировались при креплении части береговой линии р. Уфа каменной наброской в районе Северной группы водозаборных сооружений (СИВ, СКВ, ШИВ) в 2000, 2001 и 2005 гг. и ЮВ в 2005 г. Современный тип руслового процесса на исследуемых участках р. Уфа оценен по критериальной характеристике А согласно методике [11]. По средним значениям критерия А определен тип современного руслового процесса (табл. 5).

Таблица 4. Морфологические элементы русла исследованных участков р. Уфа

Участок	Расход, м ³ /с	d ₉₅	Расчетные значения				Фактические значения			
			H _о , м	H _{СЖ} , м	B _о , м	i _о , ‰	H _о , м	B _ф , м	i _о , ‰	состояние
СКВ	2110,6	19,2	4,1		302	0,281	5,4	310	–	свободное
	руслофор.									формирование
	903	19,2	3,1		177	0,385	4,3	196	–	свободное
	паводок									формирование
ТЭЦ-2	249	19,2	2,1		79	0,620	2,8	148	0,148	свободное
	межень									формирование
	2362,4	18,9		7,0	324	0,266	9,2	188	–	стесненное
	руслофор.									формирование
ЮВ	908	18,9		3,8	178	0,379	4,7	146	–	стесненное
	паводок									формирование
	253	18,9	2,1		80	0,607	3,0	136	0,071	свободное
	межень									формирование
ЮВ	2701,5	15,0		5,2	353	0,204	6,1	302	–	стесненное
	руслофор.									формирование
	853,0	15,0	3,1		171	0,313	4,3	195	–	свободное
	паводок									формирование
ЮВ	277	15,0	2,1		84	0,475	2,1	156	0,201	свободное
	межень									Формирование

Таблица 5. Критерий А и типы русловых процессов

Участок	Ширина, км		$\frac{I_0}{I}$	Критерий А		Тип руслового процесса
	русла	активной поймы		расчетный	нормативный	
СКВ	0,31	5,53	2,00	35,6	для свободного меандрирования – 36,6	Тип руслового процесса сохраняется
ТЭЦ-2	0,19	4,68	2,40	58,9		
ЮВ	0,30	5,53	2,03	37,4		

Расчеты показали, что тип руслового процесса после укрепления берега в целом не изменился. Лишь двухстороннее укрепление берегов р. Уфа в районе СКВ начинает оказывать влияние на русловый процесс (35,6<36,6). Дальнейшее удлинение укрепления берега с ограничением ширины активной поймы может привести к изменению типа руслового процесса от свободного меандрирования на незавершенное меандрирование.

Свободное меандрирование, как сложный гидроморфологический процесс, изучается в пределах излучин. На всех исследуемых участках, с учетом рекомендаций [12], выделены излучины и определены системы измерителей. Анализ выделенных излучин показал, что излучины участков

№ 1 (СКВ, СИВ и ШИВ) и № 2 (ЮВ) хорошо развиты и петлеобразны (с углом разворота более 140°), имеют в плане асимметричную форму, а излучина участка № 2 (ТЭЦ-2) – слабоизогнутую форму (рис. 2).

На участке СКВ и СИВ наблюдаются локальные размывы вогнутых крутых берегов и заиливание выпуклых пологих берегов. Размытый грунт в виде наносов перемещается ниже размыва и заиливает противоположный берег. Самыми неблагоприятными местами исследуемых излучин являются их граничные зоны, где в результате циклических процессов (постепенное увеличение извилистости русла, размыв вогнутых берегов, разворот и смещение излучин) возможно образование прорыва перешейка со спрямлением русла. На излучине ТЭЦ-2 происходят локальные руслоформирующие процессы со смещением русла влево. Правый берег смещается по направлению руслового водозабора ТЭЦ-2. На ЮВ зафиксированы локальные размывы левого берега и заиливание правого. К излучинам выпуклого правого берега направляются наносы, влекомые донными потоками от вогнутого левого берега, вызывая аккумулятивные процессы у водозаборных скважин и относительно быструю кольматацию водозаборных скважин.

Исследование русловых деформаций выполнено на основе результатов полевых батиметрических и топографических исследований (2016 г.), по топографическим картам (1945, 1982, 2001 гг.), космическим снимкам летне-осенней межени (2001, 2013, 2017 гг.) и по визуальным обследованиям (2016–2017 гг.) участка р. Уфа в районе водозаборов. Полученные результаты проверены по космическим снимкам высокого разрешения и электронным картам Росреестра.

Сравнение конфигурации береговых линий разных лет показало нестабильность русловых процессов и наличие русловых деформаций на исследуемых участках. На участке СКВ, СИВ и ШИВ размывается левый берег длиной 1100 м; ТЭЦ-2 – левый берег длиной 1470 м; ЮВ – левый берег длиной 1250 м.

Прогноз русловых деформаций выполнен путем сравнения величин среднегодовых русловых деформаций, полученных по топокартам и космоснимкам (табл. 6). Створы измерений выбраны на незакрепленных участках берегов в местах наибольших смещений, периоды сравнения для увеличения достоверности – более 15 лет.

Таблица 6. Плановые деформации русла на исследуемых участках р. Уфа, м

Период сравнения		Участок № 1, СИВ		Участок № 2, ТЭЦ-2		Участок № 3, ЮВ	
год	лет	интервал	год	интервал	год	интервал	год
1945–1982	37	200	5,4	56	1,5	115	3,1
1982–2001	19	78	4,1	28	1,5	25	1,3
2001–2017	16	26	1,6	6	0,4	19	1,2

Анализ полученных среднегодовых величин русловых деформаций показал, что наиболее активные русловые процессы на участках № 1 и № 2 происходили в интервале 1945–2001 гг., на участке № 3 – в интервале 1945–1982 гг. На этот период приходится начало эксплуатации Павловского водохранилища и активизация работ по добыче ПГС из русла р. Уфа. Максимальные среднегодовые деформации на всех участках отмечены в интервале 1945–1982 гг.: СКВ – 5,4 м, ТЭЦ-2 – 1,5 м, ЮВ – 3,1 м.

С 1990–2000-х годов по настоящее время наблюдается снижение интенсивности русловых деформаций до $0,4 \div 1,6$ м/год, снижение по отношению к максимальным среднегодовым деформациям в $2,6 \div 3,7$ раза. Периоды максимальных русловых деформаций и снижения их интенсивности по времени совпадают с аналогичными периодами добычи ПГС из русла р. Уфа. Снижение интенсивности русловых деформаций свидетельствует о некоторой стабилизации русловых процессов, а наличие деформаций в настоящее время – о их незавершенности. Тренд русловых деформаций позволяет спрогнозировать на участках № 1 и № 2 дальнейшее снижение деформаций, на участке № 3 – стабилизацию деформаций на уровне 1 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных комплексных исследований современного гидрологического режима и русловых процессов нижнего течения р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа получены следующие научные результаты.

Современный гидрологический режим нижнего течения р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа формируется под влиянием сбросных расходов Павловского водохранилища. Эксплуатация водозаборов незначительно влияет на общий гидрологический режим реки.

Посадка уровня воды в районах водозаборов г. Уфа произошла, в основном, из-за интенсивной выемки ПГС с образованием русловых карьеров. С 2001 г. из-за снижения добычи ПГС в нижнем течении реки наблюдается стабилизация посадки уровня воды. Возобновление интенсивной добычи ПГС может вызвать новую волну посадки уровня. Только при проектировании и эксплуатации карьеров ПГС с объемом до 90–100 тыс. м³, длиной до двух ширин русла и с расстояниями между карьерами не менее 4 км их влияние на посадку уровня будет незначительным.

Влияние водности р. Уфа и режимов регулирования Павловского водохранилища на бесперебойную работу водозаборов через посадку уровня начинает проявляться с 1990 г., т. е. после значительной посадки уровня из-за добычи ПГС. Гарантированная работа водозабора ТЭЦ-2, находящегося в настоящее время в критическом положении, может быть обеспечена формированием Павловской ГЭС меженных расходов не менее 237 м³/с

или созданием нового уменьшенного поперечного профиля с повышением уровня воды не менее чем на 0,8 м в створе ТЭЦ-2.

Современные русловые процессы нижнего течения р. Уфа относятся к типу свободного меандрирования русла. В районе водозаборов на русловые процессы влияют укрепления берегов. Дальнейшее укрепление берегов может изменить тип руслового процесса. Проектирование берегоукреплений должно проводиться с учетом полученных морфологических элементов русла соответствующих участков реки. Наличие русловых деформаций в районе водозаборов подтверждает незавершенность русловых процессов. Снижение интенсивности русловых деформаций в среднем в три раза показывает затухание руслоформирующих процессов. Интенсивность русловых деформаций прогнозируется в пределах $0,4 \div 1,6$ м/год.

На основе полученных результатов установлены основные направления разработки научно обоснованных рекомендаций по предотвращению посадки уровня, русловых деформаций, размывов дна и берегов нижнего течения р. Уфа в районе водозаборов г. Уфа:

- совершенствование режимов регулирования Павловского водохранилища с учетом полученных закономерностей его влияния на современный гидрологический режим;
- разработка методических рекомендаций к проектированию и эксплуатации русловых карьеров, с учетом выявленных тенденций их влияния на посадку уровня воды;
- разработка конструктивных схем по защите берегов и дна от размывов с учетом полученных параметров современных русловых процессов и прогноза русловых деформаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хафизов А.Р., Валитов С.А. Современное состояние и проблемы в нижнем течении реки Уфа / Чистая вода России-2017 // Материалы XIV междунар. науч.-практ. симпозиума. Екатеринбург, 2017. С. 212–217.
2. Хафизов А.Р., Валитов С.А. Актуальность изучения эрозионно-русловых процессов в нижнем течении р. Уфа / Эволюция эрозионно-русловых систем, ее хозяйственно-экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учет // Доклады Всеросс. науч.-практ. конф. и XXXII межвузов. координац. совещ. Уфа: Аэртена, 2017. С. 50–54.
3. Калюжный В.К. Современное состояние «посадки» уровней воды на р. Белой. Географический вестник. Вып. 5 (18), 2011. С. 23–27.
4. Барышников Н.Б., Беркович К.М., Гареев А.М. Развитие русла нижней Белой в условиях антропогенной нагрузки // Эрозионные и русловые процессы. Вып.3. М.: МГУ, 2000. С. 199–213.
5. Горячев В.С. Изменение уровней р.р. Белой и Уфа и другие негативные явления, происходящие в последние десятилетия в т. ч. под влиянием добычи песчано-гравийной смеси / Эволюция эрозионно-русловых систем, ее хозяйственно-

- экономические и экологические последствия, прогнозные оценки и учет // Докл. Всеросс. науч.-практ. конф. и XXXII межвузов. коорд. совещ. Уфа: Аэртена, 2017. С. 50–54.
6. Коваленко В.В. Гидрометрическое оценивание речного стока с элементами стохастического подхода. Л.: ЛПИ, 1986. 60 с.
 7. Чалов Р.С. Русловедение: становление науки, ее теоретические и прикладные проблемы // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: МГУ, 2000. С. 157–167.
 8. Бутаков Г.П., Назаров Н.Н., Чалов Р.С., Чернов А.В. Условия формирования русел и русловые деформации на реках бассейна Камы / Межвуз. науч. коорд. совет по пробл. эроз. русл. и устьевых проц. при МГУ // Эрозионные и русловые процессы. Вып. 3. М.: МГУ, 2000. С.136–146.
 9. СТО ФГБУ «Государственный гидрологический институт» 52.08.31-2012. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. СПб: Изд-во «Глобус», 2012. 140 с.
 10. Гидротехнические сооружения /справ. проект. М.: Стройиздат, 1983. 543 с.
 11. Рекомендации по учету деформаций речных русел при проектировании инженерных сооружений на реках зоны БАМ. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 137 с.
 12. Рекомендации по учету русловых, пойменных и береговых деформаций, волновых и ледовых воздействий при проектировании фундаментов опор ЛЭП на переходах через реки и водохранилища. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 178 с.

Сведения об авторах:

Хафизов Айрат Райсович, д-р техн. наук, профессор, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Башкирский филиал, Россия, 450097, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: chafizov@mail.ru

Недосеко Игорь Вадимович, д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Башкирский филиал, Россия, 450097, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: nedoseko1964@mail.ru

Валитов Салават Альмирович, старший научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Башкирский филиал, Россия, 450097, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: valitov.salavat.2017@mail.ru

Камалетдинова Лилия Айратовна, ведущий инженер, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Башкирский филиал, Россия, 450097, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: lili-xa@yandex.ru

Низамова Разиля Анисовна, инженер ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГБУ РосНИИВХ), Россия, 450097, г. Уфа, ул. Бессонова, д. 27; e-mail: nizamova@yandex.ru