

Исследование русловых процессов р. Дон в районе Александровских водозаборных сооружений

*Хецуриани Е.Д.¹, Фесенко Л.Н.¹, Шкура В.Н.², Мордвинцев М.М.²,
Пурас Г.Н.², Душенко А.Ю.³, Бечвая Р.С.³, Пельчер А.В.*

¹*Южно-Российский Государственный политехнический университет им. М.И.Платова,
Новочеркасск, Россия;*

²*Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт им. А.К.Кортунова,
Новочеркасск, Россия;*

³*ООО "КСТ-Вотер", Ростов-на-Дону, Россия;*

Аннотация: Статья посвящена результатам морфологических исследований р. Дон в районе водозаборных сооружений г. Ростова-на-Дону. Проведены исследования ледовых явлений, водно-уровенного режима, построены гидрографы.

Ключевые слова: водозабор, морфологическое исследование, рыбозащита, водозаборный ковш, шуга, ледостав, фильтрующий водоприемник, нанос, заиливание водоема.

Надежность забора воды заданного расхода и качества, как свидетельствует опыт эксплуатации водозаборных сооружений, зависит в первую очередь от местных природных условий избранного участка водотока или водоема, а также от возможности их последующего нарушения [1-3]. Местные условия на прилегающих участках избранного водотока или водоема обычно индивидуальны. Они формируются совокупностью сложных взаимно обусловленных топографических, геологических, метеорологических, гидрологических, гидротермических, гидробиологических и других факторов и процессов. В недалеком прошлом считали, что условия забора воды из водоемов более благоприятны, чем из водотоков (рек). Водозаборные сооружения на водоемах проектировались и строились обычно по аналогии с речными. В расчетах проектов дополнительно учитывались только элементы волн, ожидаемая переработка берега и прибрежного склона, колебания уровня воды и величины придонных орбитальных скоростей. Исходя из условий волнового воздействия, водозаборные сооружения размещали преимущественно на



укрытых от интенсивного волнения акваториях - в бухтах, заливах, за выступающими в водоем берегами и т. п. Такой подход является причиной захвата в водоприемные устройства воды с чрезмерно повышенным содержанием наносов, водорослей, мусора, шугольда, их завала продуктами переработки берегов и прибрежных склонов и периодических прекращений ее забора, что приводит к переустройству и даже к повторному строительству водозаборных сооружений [4-6].

Город Ростов-на-Дону осуществляет забор воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения при помощи двух сооружений: руслового и ковшевого водозаборов из р. Дон.

Работа проводилась по заданию ОАО «ПО «Ростовский водоканал» на тему: «Анализ работы существующих водозаборных сооружений на Александровских ОСВ с учетом шуго-рыбо-водно-биологических-фитопланктонных показателей реки Дон».

Гидролого- морфологическое обоснование

Для оценки влияния русловых процессов р. Дон на режим работы водозаборных сооружений Александровских ОСВ были проведены гидрометрические наблюдения, использованы материалы Росгидрометра и результаты гидролого-морфологических изысканий, проведенных Кафедрой гидротехнических сооружений Новочеркасской Государственной Мелиоративной Академии (НГМА) выполненных ранее в этом районе. Полевые и камеральные работы выполнены в соответствии с нормативными документами: СП-И-103-97, СП 33-101-2003, ВСН-163-83. Использовались данные справочника «Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши», том 1, вып. 3 – Бассейн Дона [7-9].

Исследуемый участок находится на р. Дон ниже впадения р. Аксай – рис. 1.

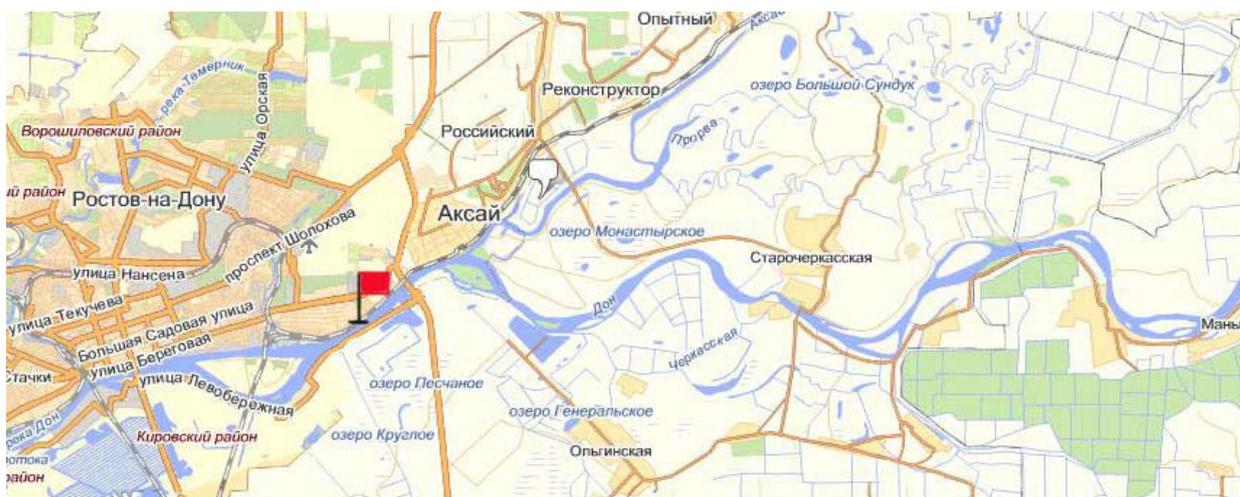


Рис. 1. — Карта-схема участка р. Дон в районе Александровских ОСВ

Гидрологическая изученность

В гидрологическом отношении Нижний Дон (участок реки от Цимлянского гидроузла до устья) изучен хорошо, действуют несколько гидропостов СК УГМС (табл. 1) [10-12].

Таблица №1

Сведения о гидропостах на Нижнем Дону

Водоток - пункт	Расстояние от устья, км	«0» графика, м БС	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений		Принадлежность
				за уровнями	за стоком	
1	2	3	4	5	6	7
р. Дон – станица Николаевская	253	6,34	257000	1956 – 80	1954 – 80	СК УГМС
р. Дон – г. Константиновск	207	4,41	257000	1952 – 80		СК УГМС
р. Дон – станица Кочетовская (верхний бьеф)	179	2,60	357000	1952 – 80		НДРГС
р. Дон – станица	151	1,21	378000	1952 – 80	1952 – 80	СК УГМС

Раздорская						
р. Дон – станица Мелиховская	140	1,35	378000	1952 – 64 1971 – 80		СК УГМС
р. Дон – пгт. Багаевский	112	0,84	378000	1952 – 80		СК УГМС
р. Дон – станица Старочеркасская	76	- 0,50	416000	1952 – 80		СК УГМС
р.Дон г. Аксай	60	- 0,90	420000	1952 – 80		СК УГМС
р.Дон г. Ростов-на-Дону	44	- 0,13	421000	1952 – 80		СК УГМС

Водный и уровенный режим

Режим расходов воды р. Дон в нижнем течении зависит от сбросов из Цимлянского водохранилища. По данным многолетних наблюдений на гидропоступа Раздорская распределение средних месячных расходов воды в средний по водности год выглядит следующим образом (рис.2).

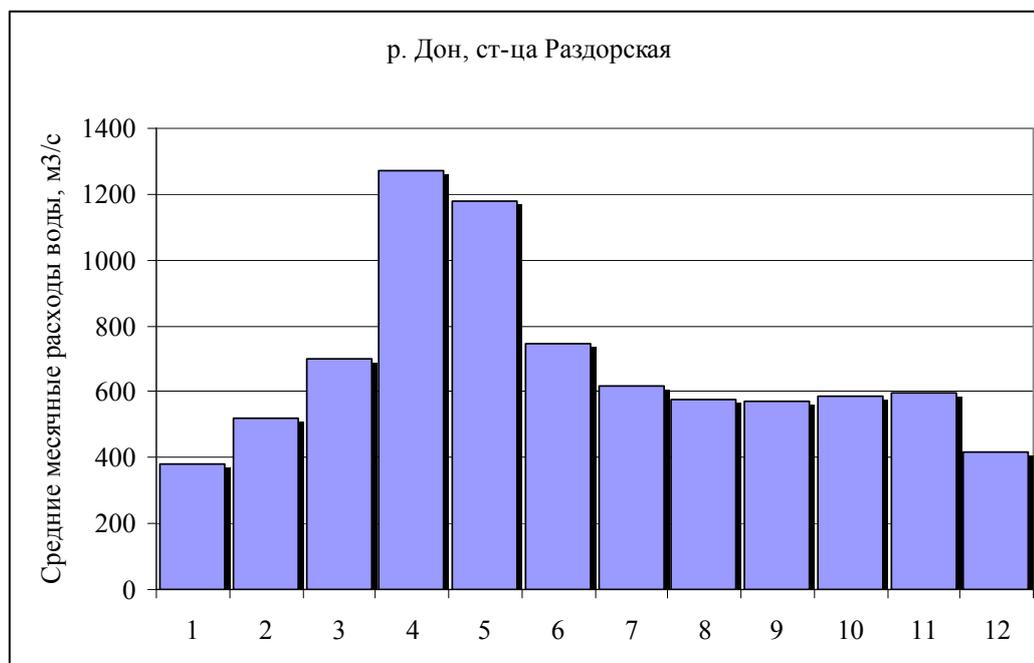


Рис. 2. — Внутригодовое распределение стока р. Дон (г.п.Раздорская)

Средний годовой расход воды – 680 м³/с.

Годовой объём стока – 21,4 млн. м³.

Наибольший расход воды из наблюдавшихся после регулирования составил 6320 м³/с (15.05.63); наименьший за период открытого русла – 121 м³/с (25.03.55).

Расходы воды выше, чем расходы 10% ВП «срезаются» Цимлянским водохранилищем на 3 – 4 тыс. м³/с. В табл. 2 приводятся максимальные расчётные расходы воды по гидропосту ст. Раздорская.

Ниже по течению от ст-цы Раздорская гидропостов, на которых регулярно измеряются расходы воды и наносов, не имеется. По данным СК УГМС подобные измерения проводились в 1960 г. на гидропосту г. Аксай. Сопоставление результатов ежедневных расходов воды по постам Раздорская и Аксай (рис. 3) показало хорошую коррелируемость между результатами измерений и послужило основой для получения связи между расходами и уровнями воды для створа водозаборного оголовка.

Таблица №2.

Максимальные расходы воды различной обеспеченности р. Дон,
станция Раздорская

% обеспеченности	1	2	3	5	10
Максимальный расход, м ³ /с	16 000	14 600	13 700	12 500	10 500

Регулирование стока р. Дон сказалось и на режиме максимальных уровней воды. Характеристика максимальных и минимальных уровней воды после создания Цимлянского водохранилища для гидропостов станции Раздорская и г. Аксай даётся в табл. 3.

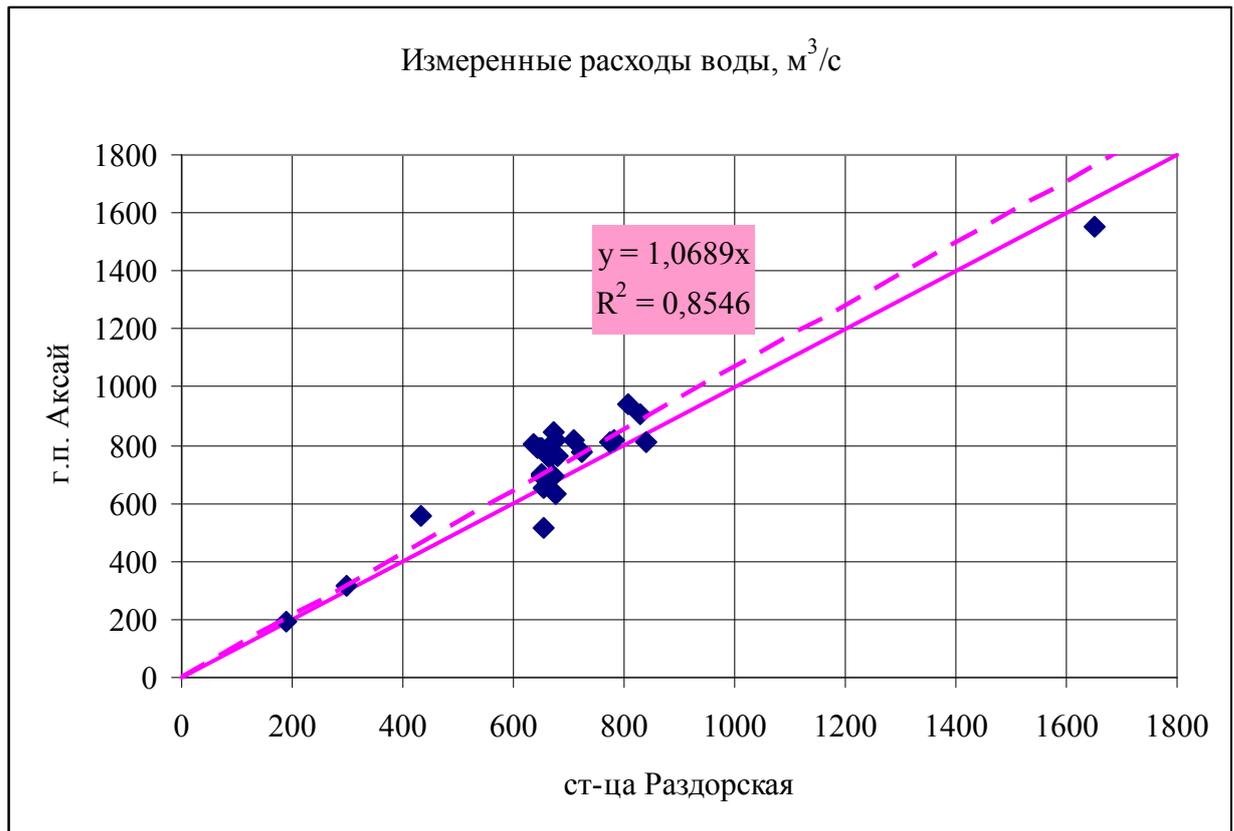


Рис. 3. — График связи расходов воды между постами Раздорская и Аксай (р. Дон)

Таблица № 3

Характерные уровни воды р. Дон (нижнее течение)

Гидропост	Высший уровень		Низший уровень		Колебания уровня за год	
	м БС	дата	м БС	дата	м	год
ст. Раздорская	7,87	15.05.63	0,75	21.10.72	5,89	1963
г.п. Аксай	3,46	19-21.05.63	- 1,54	18.12.61	4,01	1963

На рис.4 приводятся продольные профили водной поверхности р. Дон при максимальных и минимальных уровнях воды различной обеспеченности. Уклоны водной поверхности по однодневной связке уровней колеблются от 0,000002 до 0,000066.

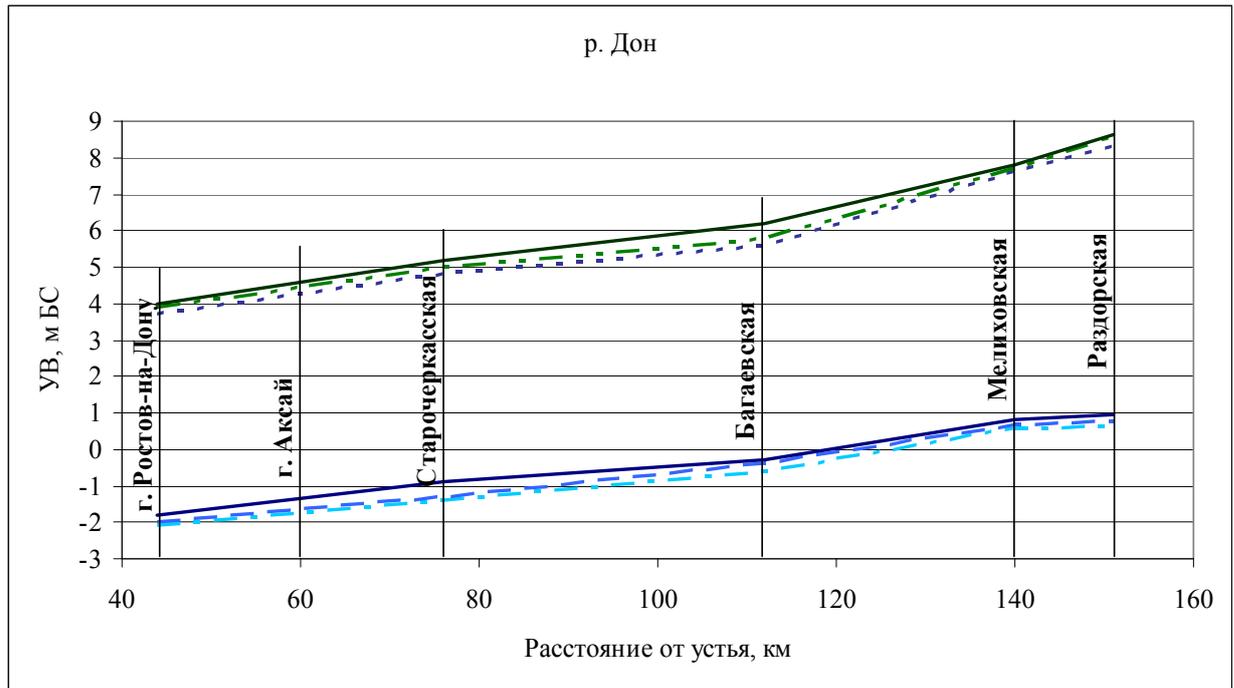


Рис. 4. — Расчётные профили водной поверхности р. Дон между гидропостами ст-ца Раздорская и г. Ростов-на-Дону

График годового «хода» уровня по гидропосту Аксай (опорный створ для обоснования проектных решений) за средний по водности год показан на рис.5; здесь же приводится совмещённый график уровней за два смежных года.

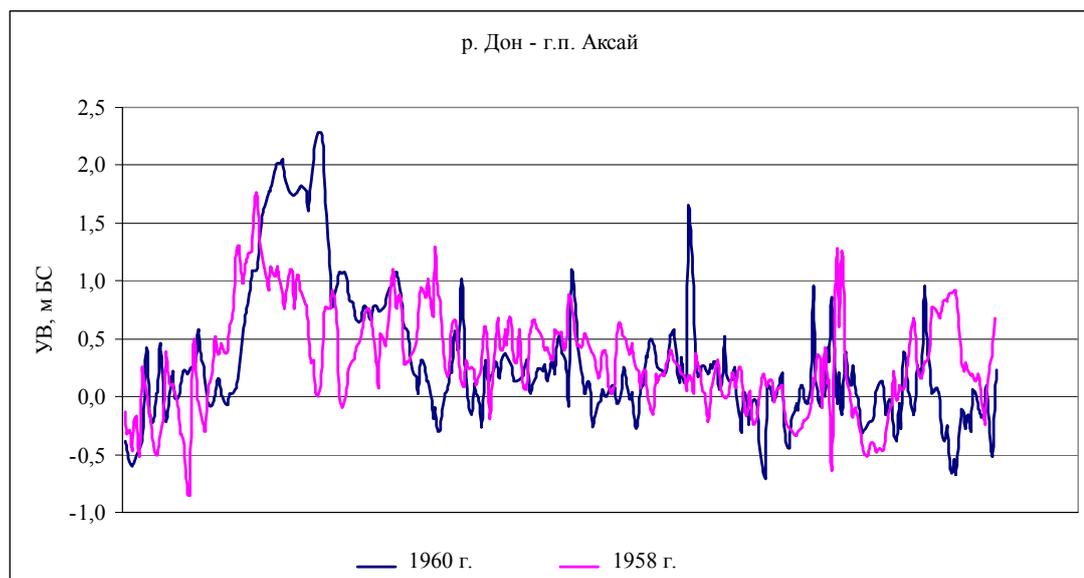


Рис. 5. — Гидрографы уровней воды р. Дон по гидропосту Аксай

Следует отметить отсутствие в рассматриваемом створе чётко выраженного пика весеннего половодья. Амплитуда колебания уровней весеннего половодья и средне-меженного уровня не превышает 2,0 м.

На режим уровней р. Дон для рассматриваемого участка большое влияние оказывают сгонно-нагонные явления.

Сгонно-нагонные явления

Причинами образования сгонно-нагонных явлений являются мелководье и совпадение продольной оси Таганрогского залива и устьевой части р. Дон с направлением господствующих ветров.

Юго-западные ветры, создающие нагоны достигают наибольшего развития с июля по сентябрь. Эффективность сгонно-нагонных явлений настолько велика, что в пределах подпёртого Таганрогским заливом участка реки их можно считать важнейшим фактором формирования годового хода уровня, наряду с величиной проходящего по руслу реки расхода воды.

При ветре более 2 м/с водные массы начинают поступать из Азовского моря в Таганрогский залив. В то же время речные воды поступают к морскому краю дельты. В результате чего повышается уровень вначале на взморье, в дальнейшем подпор продвигается вверх по реке. При повышении уровня на взморье уклоны водной поверхности принимают отрицательные значения.

В межень, при малом расходе в вершине устьевой области даже значительные нагоны не всегда приводят к затоплению дельты, тогда как в период половодья даже небольшой нагон способен вызвать затопления.

При расходе 500 м³/с и ветровом повышении уровня моря в Таганроге на 1 м вызывает подъём уровня в Ростове-на-Дону на 1 м, в ст-це Раздорской 0,2 м; при расходе 5000 м³/с такой же подъём моря даёт подъём уровня в Азове на 0,4 м, в Ростове-на-Дону – ноль.

Последний, наиболее сильный нагон на этом участке был в 1970 г. 31.10 – 1.11. Скорость ветра достигала 49 м/с. Относительная высота подъёма

уровня воды у ст. Старочеркасской составила 0,94 м. Продолжительность стояния максимальных уровней при сгонах и нагонах не более одних суток.

Расходно-уровенные характеристики

Так как на гидропосту Аксай регулярные измерения расходов воды не проводятся (пост является только уровнем), то для построения кривой связи уровней и расходов воды $Q = f(Z)$ по гидропосту Аксай был выполнен анализ связи уровней между постами ст-ца Раздорская и г. Аксай. Выше (см. рис. 3) была показана возможность интерполяции расходов в створе ст-ца Раздорская к створу г. Аксай.

Если рассматривать графики годового хода уровня по вышеуказанным постам (рис. 6), то можно отметить некоторую синхронность изменения уровней.

График связи уровней между постами (рис. 7) не показывает чёткой зависимости между этими характеристиками, что вполне объяснимо влиянием на уровни воды р. Дон по г.п. Аксай сгонно-нагонных явлений. Однако, для характеристики морфологии речного русла и описания внутрирусловых форм такой связи будет достаточно. Кроме того, полученную расчётом кривую расходов можно будет проверить имеющимися данными измерений по гидропосту Аксай.

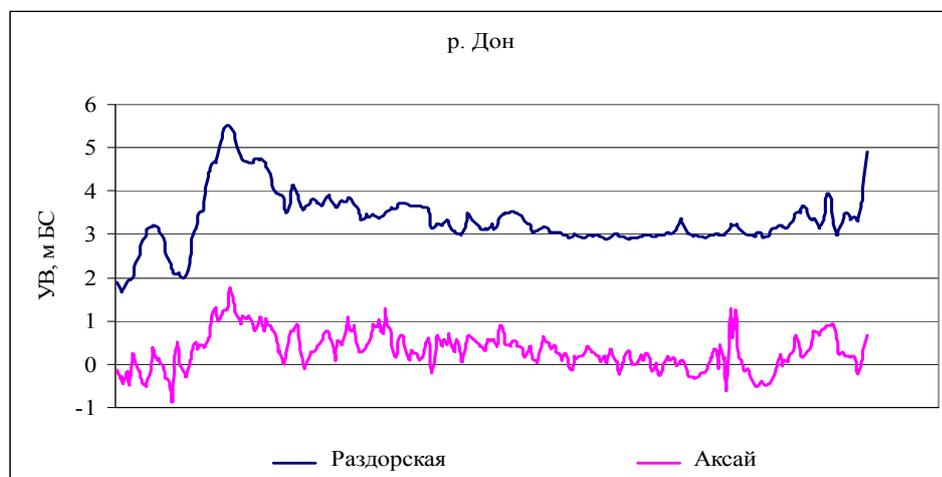


Рис.6. — Гидрографы уровней гидропостов ст-ца Раздорская и г. Аксай в средний по водности год.

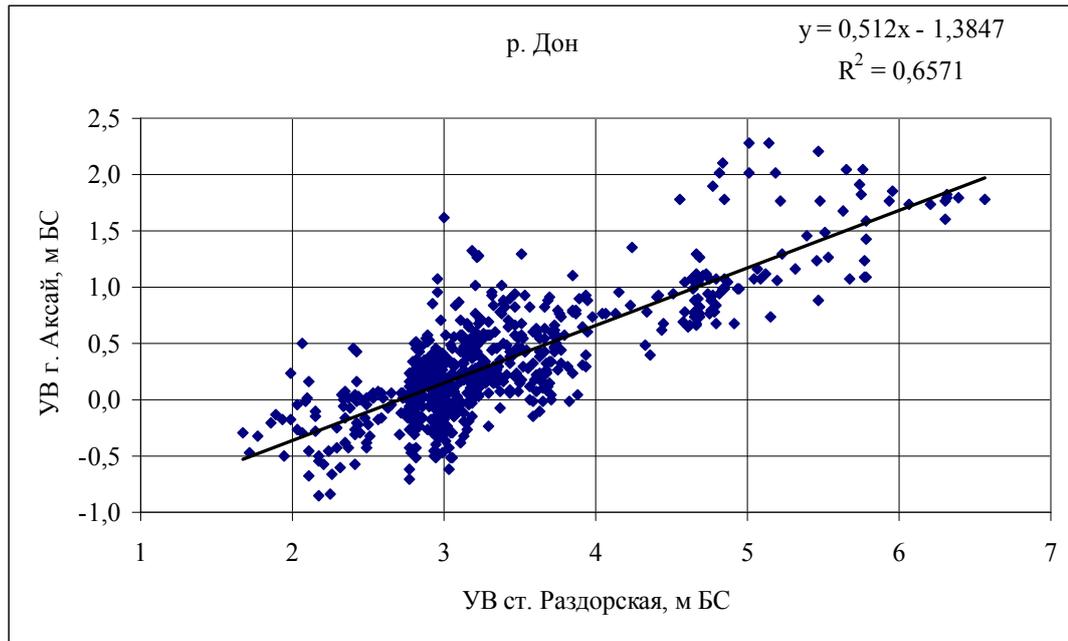


Рис. 7. — График связи уровней воды между постами ст. Раздорская и г. Аксай по результатам многолетних измерений

График кривой расходов $Q = f(Z)$ для гидропоста ст-ца Раздорская (рис.8) построен по материалам гидрологических ежегодников СК УГМС.

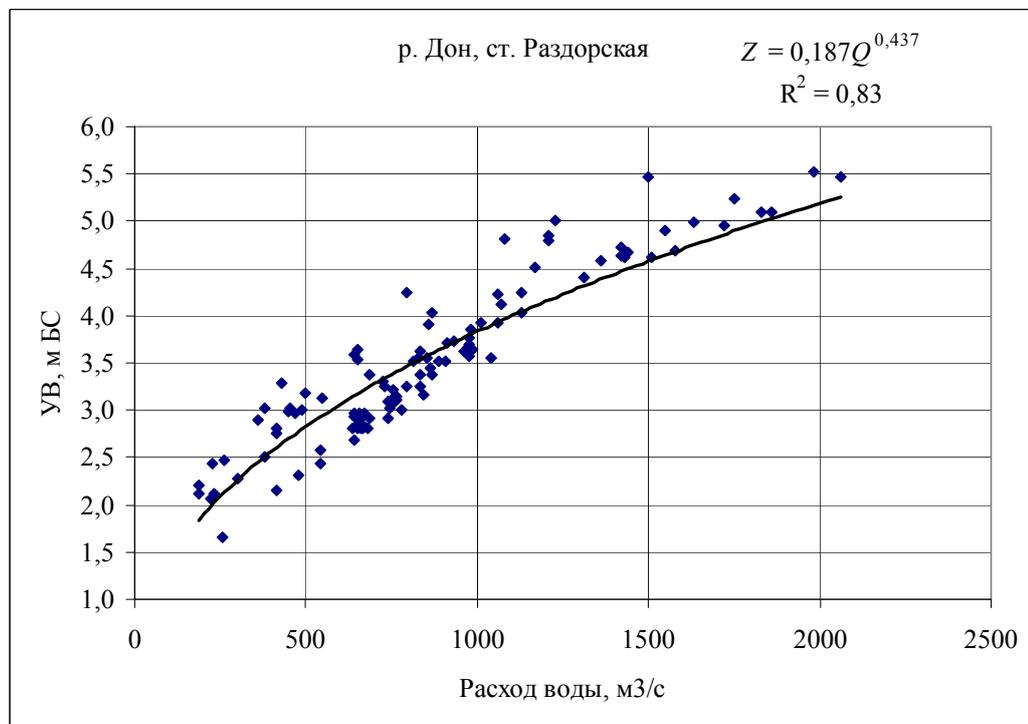


Рис. 8. — Кривая расходов г.п. Раздорская

Расчётная кривая расходов г.п. Аксай приведена на рис. 9.

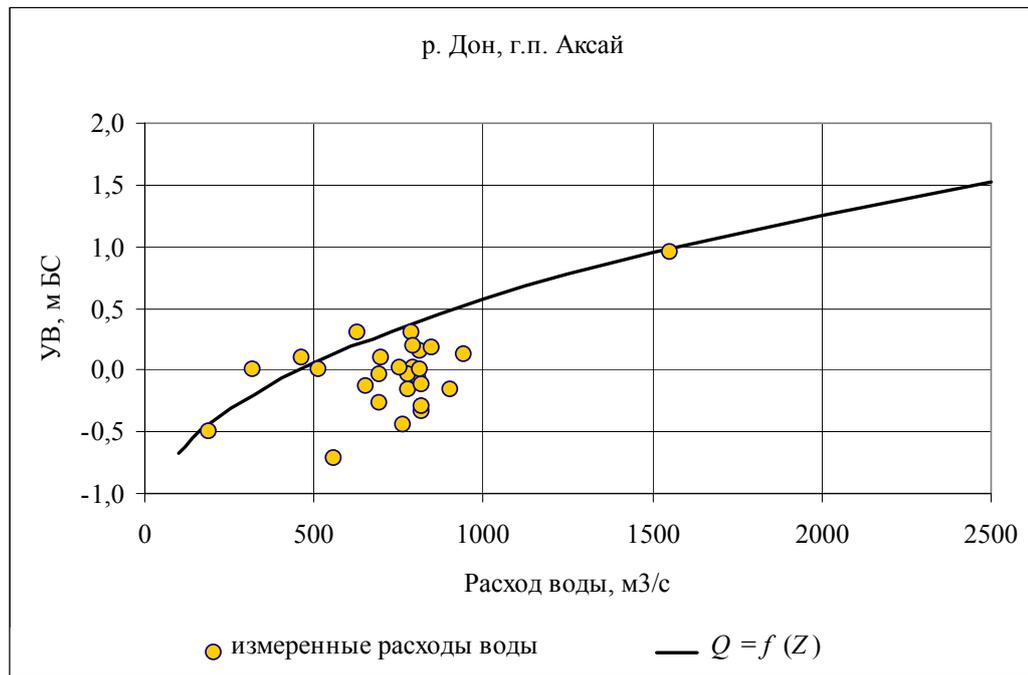


Рис. 9. — Кривая расходов г.п. Аксай

Нанесённые на график значения измеренных расходов воды показывают удовлетворительную сходимость с полученной кривой расходов воды.

Ледовые явления

Зимний режим на р. Дон начинается обычно прохождением «сала», у берегов образуются «забереги». В это время во многих местах на Дону и его притоках на дне образуется, так называемый, «донный» лёд или «внутриводный» лёд. Отрываясь от дна и всплывая на поверхность, донный лёд проходит в виде шуги.

Данные о зимнем режиме р. Дон по гидропосту Аксай приведены только с 1952 г., то есть за период с нарушенным ледовым режимом в результате влияния Цимлянского водохранилища.

Средние характеристики:

- дата начала осенних ледовых явлений с 19.11 (1959 г.) по 19.01 (1961 г.), в среднем – 12.12;



- дата начала осеннего ледохода с 20.11 (1959 г.) по 19.01 (1961 г.), в среднем – 13.12 (93% случаев);
- дата начала ледостава с 23.11 (1959 г.) по 09.02 (1959 г.), в среднем 25.12 (93% случаев);
- дата начала весеннего ледохода с 04.02 (1979 г.) по 06.04 (1956 г.), в среднем 09.03 (96% случаев);
- дата окончания ледовых явлений с 15.02 (1966 г.) по 10.04 (1954, 56 г.), в среднем 18.03.;
- продолжительность осеннего ледохода (шугохода) в среднем 15 сут. (наибольшая – 72 сут. в 1958-59 г.);
- продолжительность весеннего ледохода (шугохода) в среднем 9 сут. (наибольшая – 31 сут. в 1979 г.);
- продолжительность ледостава в среднем 76 сут. (наибольшая – 115 сут. в 1959-60 г.);
- продолжительность всех ледовых явлений в среднем 96 сут. (наибольшая – 138 сут. в 1953-54 г.; наименьшая – 32 сут. в 1965-66 г.).

Толщина льда в обычные зимы равна 20 – 40 см, а в суровые зимы она достигает 60 – 80 см. Поверхность ледяного покрова торосистая. Создание Цимлянского водохранилища привело к изменению ледового режима: так вскрытие реки проходило обычно снизу вверх по течению, а сейчас от плотины к устью. Причиной этого является более высокая температура сбросной воды из Цимлянского водохранилища. Это приводит к образованию заторных явлений на Нижнем Дону.

Весенний ледоход на Дону начинается сперва крупными ледяными полями. Сталкиваясь и наползая друг на друга, они дробятся сперва на крупные, а затем на отдельные льдинки. Прохождение весеннего ледохода на Дону часто представляет величественную картину: при обильном ледоходе льдины напирают и даже наползают на берег, иногда на большом протяжении.



Отметка максимального уровня воды при ледоходе и шугоходе для гидропоста Аксай 2,32 м БС; при ледоставе 1,87 м БС.

Отметка минимального уровня воды при ледоходе и шугоходе: – 0,08 м БС; при ледоставе: – 1,66 м БС.

Низкий уровень зимнего периода: – 1,66 м БС. В русле р. Дон возможно скопление шуги подо льдом (до 50% площади живого сечения). В большом количестве шуга может наблюдаться у берегов, а ближе к середине реки шуги может и не быть из-за недостаточной скорости течения воды.

Твёрдый сток

На Нижнем Дону сток взвешенных наносов измерялся по гидропосту ст-ца Раздорская; сток донных наносов СК УГМС не измеряется.

Характеристика средних месячных расходов взвешенных наносов за многолетний период наблюдений дана в табл. 4.

Таблица № 4.

Расходы и сток взвешенных наносов р. Дон – ст. Раздорская

Средние месячные расходы наносов, кг/с												Средний расход наносов, кг/с	Годовой сток, тыс. т
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12		
25	110	150	310	100	39	29	25	22	25	20	13	72	2300

Наибольший годовой сток взвешенных наносов за период наблюдений составил 6300 тыс. т; наименьший – 310 тыс. т.

Средняя годовая мутность воды 0,1 кг/м³.

Наибольший средний суточный расход взвешенных наносов составил 6100 кг/с (08.04.56).

Наибольшая срочная мутность воды – 3,3 кг/м³ (29-30.03.52).

По данным измерений СК УГМС на посту ст-ца Раздорская связь между расходами воды и мутностью чётко не выражена. Отсутствие такой связи отмечено и по гидропосту г. Аксай.

Анализ гранулометрических составов взвешенных наносов по гидропостам ст. Раздорская и г. Аксай, а также донных наносов и донных отложений по гидропосту ст. Раздорская показал следующее.

Для поста ст-ца Раздорская средний диаметр зёрен наносов колеблется от 0,024 мм до 0,102 мм; средний диаметр расчётного состава $d_{cp} = 0,067$ мм. Для поста г. Аксай расчётный диаметр наносов $d_{cp} = 0,074$ мм.

Характерные диаметры расчетных составов донных наносов: у берегов – $d_{cp} = 0,08$ мм; $d_{95} = 0,70$ мм; на стрежне – $d_{cp} = 0,75$ мм; $d_{95} = 6,00$ мм.

Расчётные диаметры донных отложений: $d_{cp} = 1,05$ мм; $d_{95} = 9,00$ мм.

Донные наносы на равнинных реках составляют обычно 0,1 – 10,0 % от взвешенных. Вычисление стока донных наносов производилось по формулам Г.И. Шамова и В.Н. Гончарова. Результаты расчётов для среднего по водности года дали значения годового стока донных наносов $G_{\delta} = 250 - 270$ тыс. т.

Литература

1. Вдовин Ю.И., Журба М.Г. Водозаборно-очистные сооружения и устройства. – М.: Астрель, 2003. – 156 с.
2. Куликов Н.И., Найманов А.Я., Омельченко Н.П., Чернышев В.Н., Маслак В.Н.. Теоретические основы очистки воды. – Макеевка: ДГАСА, 1999. – 277 с.
3. Михеев П.А., Шкура В.Н., Хецуриани Е.Д. Рыбозащитные сооружения водозаборов систем водоснабжения: учебное пособие. – Новочеркасск: НГМА, 2005. 111 с.
4. Лурье П.М., Панов В.Д. Влияние изменений климата на гидрологический режим р. Дон в начале XXI столетия // Метеорология и гидрология. 1999. № 4. Сс. 102.



5. Патент на полезную модель №120097 «Завеса для удерживания рыб на водозаборах» от 06.04.12.
6. Патент на полезную модель №120096 «Очистное устройство водозабора» от 06.04.12.
7. Баев О.А. Моделирование процесса водопроницаемости противofiltrационных экранов из геомембран // Инженерный вестник Дона, 2015, №1 (часть 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2818.
8. Косиченко Ю.М., Баев О.А., Ищенко А. В. Современные методы борьбы с фильтрацией на оросительных системах // Инженерный вестник Дона, 2014, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2593.
9. Семенова Е.А., Маршалкин М.Ф., Саркисова С. Г. От экологически ответственного хозяйствования к сохранению водных и энергетических ресурсов // Инженерный вестник Дона, 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2375.
10. Тимофеева В.В. Условия формирования русла Нижнего Дона. Эрозия почв и русловые процессы. Вып.15. М.. 2005. С. 207-218.
11. Olmstead, S. M., & Stavins, R. N. Comparing price and nonprice approaches to urban water conservation. *Water Resources Research*, 2009. V.45, N4. pp. W04301. DOI: 10.1029/2008WR007227.
12. Kirkwood, James Pugh. Report on the filtration of river waters: for the supply of cities, as practised in Europe, made to the Board of water commissioners of the city of St. Louis. Forgotten Books, 2015. 182 p.

References

1. Vdovin Ju.I., Zhurba M.G. Vodozaborno-ochistnye sooruzhenija i ustrojstva. [Water intake constructions]. М.: Astrel', 2003. 156 p.
2. Kulikov N.I., Najmanov A.Ja., Omel'chenko N.P., Chernyshev V.N., Maslak V.N. Teoreticheskie osnovy ochistki vody [Theoretical basement of water



treatment]. Makeevka: DGASA, 1999. 277 p.

3. Miheev P.A., Shkura V.N., Hecuriani E.D. Rybozashhitnye sooruzhenija vodozaborov sistem vodosnabzhenija: uchebnoe posobie [Fish-protection constructions of water supply systems]. Novocherkassk: NGMA, 2005. 111 p.

4. Lur'e P.M., Panov V.D. Meteorologija i gidrologija. 1999. № 4. Pp. 102.

5. Patent na poleznuju model' №120097 «Zavesa dlja uderzhivanija ryb na vodozaborah» [Screen for fish-protection on water-intakes] ot 06.04.12.

6. Patent na poleznuju model' №120096 «Ochistnoe ustrojstvo vodo-zabora» [Cleaning system of water-intake] ot 06.04.12.

7. Baev O.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №1 (part 2) URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1p2y2015/2818.

8. Kosichenko Ju.M., Baev O.A., Ishhenko A. V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2014/2593.

9. Semenova E.A., Marshalkin M.F., Sarkisova S.G. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2014/2375.

10. Timofeeva V.V. Erroziy z pochv I ruslovie processi. Vip.15. M.. 2005. p. 207-218.

11. Olmstead, S. M., & Stavins, R. N. Comparing price and nonprice approaches to urban water conservation. Water Resources Research, 2009. V.45, N4. pp. W04301. DOI:10.1029/2008WR007227.

12. Kirkwood, James Pugh. Report on the filtration of river waters: for the supply of cities, as practiced in Europe, made to the Board of water commissioners of the city of St. Louis. Forgotten Books, 2015. 182 p.