К ВОПРОСУ О ПОСТУПЛЕНИИ ВЗВЕШЕННЫХ НАНОСОВ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДЕЛЬТУ ДОНА ПРИ НАГОНАХ

А.В. Клещенко, Е.Г. Алешина, В.Г. Сойер, И.В. Шевердяев

ЮНЦ РАН
geo@ssc-ras.ru

Аннотация. В результате изменений гидрологических условий Нижнего Дона во второй половине XX века после строительства Цимлянского водохранилища и ряда низконапорных гидроузлов произошло сильное сокращение стока взвешенных наносов от 4,4 млн.т/год в 40-х годах до 0,4 млн.т/год в период с 1983 по 2005 гг. После 2007 г. на Нижнем Дону с наступлением современного маловодного периода твёрдый сток Дона в Азовское море составляет 0,15 млн. т. Сильное сокращение твёрдого стока в современный период характерно для крупных освоенных дельт о всему миру: Миссисипи, Нила, Дуная, Инда, Роны и др. В статье приводятся результаты измерений поступления взвешенных веществ в гирле Свином дельты Дона во время сильных нагонов 24.12.2017 г. и 21.03.2019 г. Подъём воды 24.12.2017 г. составил 1,7 м у х. Донской и 1,5 м в Ростова-на-Дону. Измеренная концентрация взвешенных наносов достигала 116 г/м³ в поверхностном слое и 99,5 г/м³ в придонном при среднемноголетней концентрации взвеси в Свином гирле 21 г/м³. В результате измерений был зафиксирован рост концентрации взвеси в поверхностном и придонном горизонтах вместе с ростом уровня воды, причём на спаде уровня концентрация взвеси придонного горизонта превышала поверхностную. Во время нагона 21.03.2019 г. наряду с динамикой концентрации взвеси на двух горизонтах исследовалось содержание во взвеси тяжёлых металлов – Ni, Cu, Pb и Cd. Концентрация ТМ во взвешенной форме не имеет четко выраженной зависимости от фазы нагона и мутности. Абсолютные значения концентраций металлов во взвеси близки к полученным ранее соответствующим значениям концентрации металлов. Однако стоит отметить, что для всех металлов средняя концентрация во взвеси в придонном горизонте выше, чем в поверхностном.

Ключевые слова: взвешенные вещества, тяжелые металлы, дельта Дона, Таганрогский залив.

Начало изучения взаимодействия устьевого взморья и дельты Дона приходится на 10–30-е годы прошлого века и связано с изысканиями, проектированием и вводом в эксплуатацию Азово-Донского морского канала. В те годы были даны первые оценки роли и места дельты в трансформации твердого стока Дона. Позже, в 50–60-х годах серии специальных наблюдений сотрудников Донской устьевой станции были направлены на установление масштабов оседания взвешенных наносов в дельте Дона при движении от вершины к устьям рукавов. Тогда же было обращено внимание на влияния сгонно-нагонных явлений на поступление взвешенных веществ при нагонах. В дальнейшем эти работы были расширены и детализированы, однако основной целью было определение изменения гранулометрического состава взвеси и донных отложений в пределах устьевых баров и их размыва при сгонах и нагонах. Непосредственно поступлению взвеси из залива при нагонах внимания уделялось мало. Отчасти это происходило от того, что масштабы твердого стока Дона в середине прошлого века были значительно выше современных показателей. Однако вместе с тем, было сформировано понимание, что в условиях половодья нагоны вызывают подпор, вследствие чего течение насыщенных наносами весенних вод реки замедляется, а наносы осаждаются на поверхности затоплен-

ной дельты. В межень мутные воды, приходящие с нагоном со взморья распространяются вверх по течению, а зона наибольшего заиления дельты перемещается вместе с волной нагона [1].

Изменения гидрологических условий Нижнего Дона и дельты во второй половине XX века после строительства Цимлянского водохранилища и ряда низконапорных гидроузлов (Николаевского, Константиновского, реконструкции Кочетовского) привели к значительной перестройке внутригодового распределения стока, сопровождающегося сокращением доли весеннего половодья [2, 3]. Кроме того, произошло значительное сокращение стока взвешенных наносов от 4,4 млн.т/год в 40-х годах до 0,4 млн.т/год в период с 1983 по 2005 гг. [3]. Исследования последних лет [4], показали, что в современный маловодный период, начавшийся в 2007 году, характеризуется значительным сокращением стока взвешенных наносов по сравнению с предыдущими годами и изменением его сезонного распределения. Во многом, это обусловлено тем фактом, что в настоящее время Нижний Дон представляет собой зарегулированную речную систему, состоящую из русловых водохранилищ, приуроченных к гидроузлам воднотранспортной системы и отдельных участков естественного русла. Помимо осадения взвеси в русловых водохранилищах, существенная ее часть теряется в результате

сильного зарегулирования местного стока локальными гидротехническими сооружениями на малых водотоках [5], широкого развития противоэрозионных мероприятий на водосборе, а также в процессе водоподготовительных мероприятий при использовании стока р. Дон в промышленности, теплоэнергетике и коммунальном хозяйстве [2]. Причем, стоит отметить, что это повсеместно распространенный эффект и подобные проблемы отмечаются по всему миру. Сокращение твердого стока и деградация дельт зафиксированы для Миссисипи, Нила, Дуная, Инда, Роны, и других [6].

В результате в современный маловодный период твердый сток Дона в Азовское море составляет 0,15 млн.т (без учета осаждения в дельте). В таких условиях стоит ожидать усиления роли нагонных явлений в поступлении взвешенных веществ и тяжелых металлов в дельту Дона.

Для установления влияния нагонных явлений на поступление взвешенного вещества и тяжелых металлов (ТМ) в дельту Дона нами была проведена серия натурных экспериментов.

Во время пика нагона 24–25.12.2017 года были отобраны пробы с целью определения концентрации взвеси в воде гирла Свиного в районе БНЭБ «Кагальник» ЮНЦ РАН. Данный нагон относился к классу сильных низовок по классификации Г.Г. Матишова [7]. Подъем воды на пике составил 1,7 метра в районе БНЭБ «Кагальник» и х. Донской и 1,5 метра в районе Ростова-на-Дону. Измеренная в соответствии с [8] концентрация взвешенных наносов достигала 116 г/м³ в поверхностном слое и 99,5 г/м³ в придонном при среднемноголетней концентрации взвеси в Свином гирле 21 г/м³. На приведенном ниже рисунке (Рис.1) отчетливо прослеживается, что концентрация взвеси растет при подъеме уровня, причем в поверхностном слое воды она несколько выше, чем в придонном вследствие интенсивной гидродинамической обстановки. Затем при достижении пика нагона, стабилизации уровня и затоплении прибрежных территорий происходит осаждение взвешенных веществ в рукаве дельты. Это сопровождается увеличением концентрации в придонном горизонте относительно поверхностного горизонта.

Вторая серия измерений была проведена нами во время нагона 21–22 марта 2018 года. Он также относился к классу сильных низовок. Подъем уровня в гирле Свином (БНЭБ «Кагальник») и в рукаве Старый Дон (х.Донской) составил 1,87 м, в Ростове-на-Дону 1,45 м. Во время этого нагона в районе БНЭБ «Кагальник» были отобраны пробы воды с целью изучения содержания взвешенных веществ в воде и тяжелых металлов (Cu, Ni, Pb, Cd) в воде и взвеси. Пробы отбирались стеклянным батометром и анали-

зировались согласно [8]. Анализ тяжелых металлов выполнялся на атомно-абсорбционном спектрометре КВАНТ-Z.ЭТА.

Рис. 1. Динамика концентрации взвешенных веществ в воде гирла Свиное во время нагона 24–25.12.2017. 1 – концентрация взвешенных веществ в придонном горизонте, г/м³; 2 – концентрация взвешенных веществ в поверхностном горизонте, г/м³; 3 – уровень воды над нулем поста, см.

Применялись стандартные методики выполнения измерений массовой концентрации металлов в питьевых, природных и сточных водах (ПНДФ 14.1:2.4.140–98) и валового содержания меди, кадмия, цинка, свинца, никеля и марганца в почвах, донных отложениях и осадках сточных вод (ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.36–02) методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

В ходе мартовского сильного нагона концентрация взвешенных наносов изменялась от 77,8 до 40,8 г/м³ в придонном горизонте воды, и от 67,3 до 125,3 г/м³ в поверхностном горизонте (Рис.2). Максимум концентрации взвеси в поверхностном горизонте приходится на пик нагона, с последующим понижением, тогда как в придонном наблюдается постепенное снижение концентраций.

Вместе с ростом концентрации взвеси в воде при нагоне отмечается рост концентраций растворенных форм металлов в воде (Рис.3), что подтверждает описанный ранее в ходе лабораторных экспериментов эффект перехода тяжелых металлов из донных отложений в растворенную форму при взмучивании [9]. Причем наиболее ярко эти закономерности прослеживаются для свинца и меди в поверхностном горизонте, свинца, кадмия и меди в придонном.

Концентрация ТМ во взвешенной форме не имеет четко выраженной зависимости от фазы нагона

и мутности. Абсолютные значения концентраций металлов во взвеси близки к полученным ранее соответствующим значениям концентрации металлов [10]. Однако стоит отметить, что для всех металлов средняя концентрация во взвеси в придонном горизонте выше, чем в поверхностном.

Рис. 2. Динамика концентрации взвешенных веществ в воде р.Свиное гирло во время нагона 21.03.2018. 1 – концентрация взвешенных веществ в придонном горизонте, г/м³; 2 – концентрация взвешенных веществ в поверхностном горизонте, г/м³; 3 – уровень воды над нулем поста, см.

Полученные данные свидетельствуют о значительной роли нагонных явлений в поступлении взвешенных веществ и тяжелых металлов в растворенной и взвешенной форме в дельту Дона со стороны Таганрогского залива, особенно в условиях сокращения жидкого и твердого стока Дона. Необходимо продолжение исследований с целью установления масштабов поступления вещества со

взморья в зависимости от величины проникновения нагонной волны вверх по рукавам дельты.

Рис. 3. Динамика концентрации растворенных форм ТМ в воде р.Свиное гирло во время нагона 21.03.2018. А – Свинца (Pb) и кадмия (Cd), Б – никеля (Ni) и меди (Cu).

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-35-00441, в ходе реализации ПФИ Президиума РАН №20 «Новые вызовы климатической системы Земли» Подпрограмма «Обеспечение устойчивого развития Юга России в условиях климатических, экологических и техногенных вызовов», № госрегистрации проекта АААА-А18-118011990324-5.

Литература

1. Родионов Н.А. Гидрология устьевой области Дона. – М.: Гидрометеиздат, 1958. – 95 с.
2. Бронфман А.М., Хлебников Е.П. Азовское море. Основы реконструкции. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 269 с.
3. В.В. Сорокина. Особенности терригенного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века. Ростов-на-Дону: 2006, диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук.
4. Клещенко А.В. Особенности твердого стока р. Дон в современный маловодный период // Сборник докладов международной научной конференции памяти выдающегося русского гидролога Юрия Борисовича Виноградова «Третьи виноградовские чтения. Грани гидрологии» [Электронный ресурс]; Санкт-Петербург, 28–30 марта 2018 года/ под ред. О.М.Макарьевой. –СПб.: Научные технологии, 2018. С.586–590.URL:<http://publishing.intelgr.com/archive/hydrology-facets.pdf> (дата обращения 30.06.2019).
5. Климат, водные ресурсы и реконструкция гидротехнических сооружений с учетом интересов населения, рыболовства и сельского хозяйства, судоходства и энергетики. Доклад на расширенном заседании Президиума Южного научного центра РАН (г. Ростов-на-Дону, 25 мая 2016 г.) / Г.Г. Матишов. Ростов н/Д: Издательство ЮНЦ РАН, 2016. 64 с.

6. Giosan, Liviu & Syvitski, James & Constantinescu, Stefan & Day, John. (2014). Climate change: Protect the world's deltas. *Nature*. 516. 31–3. 10.1038/516031a.
7. Матишов Г.Г., Чикин А.Л., Бердников С.В., Шевердяев И.В., Клещев А.В., Кириллова Е.Э. 2014. Экстремальное затопление дельты Дона весной 2013 г.: хронология, условия формирования и последствия. *Вестник Южного научного центра*. 10 (1): 17–24.
8. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 6. Часть 1. // Л., Гидрометиздат, 1978 г. – 384 с.
9. Цыганкова А.Е., Бердников С.В., Сорокина В.В., Алешина Е.Г. модельно-экспериментальный подход к изучению поведения соединений тяжелых металлов (Cu, Pb, Cd) в устьевой области Дона. // В сборнике: Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии материалы международной научной конференции и молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова. 2016. С. 476–479.
10. Ткаченко О.В., Ткаченко А.Н., Лычагин М.Ю. Содержание тяжелых металлов в водных объектах дельты Дона: сезонная и пространственная динамика // *Геология, география и глобальная энергия*. 2016. № 2 (61). С. 76–84.

ABOUT FLOW OF SUSPENDED SEDIMENT AND HEAVY METALS TO THE DON'S DELTA BY SURGES

A.V. Kleschenkov, E.G. Aleshina, V.G. Soyer, I.V. Sheverdyayev

SSC RAS

geo@ssc-ras.ru

Abstract. As a result of changes in the hydrological conditions of the Lower Don in the second half of the 20th century, after the construction of the Tsimlyansk reservoir and a several low-pressure waterworks, there was a strong reduction in suspended sediment discharge from 4.4 million tons / year in the 40s to 0.4 million tons / year in the period from 1983 to 2005. After 2007, in the Lower Don, with the onset of the modern low-water period, the solid flow of the Don into the Sea of Azov is 0.15 million tons. A strong reduction in solid flow in the modern period is typical for large developed deltas of the whole world: Mississippi, Nile, Danube, Indus, Rhone and others. The article presents the results of measurements of the intake of suspended solids in the branch Svinoe of the Don Delta during strong surges on 12/24/2017 and 03/21/2019. The rise of water on 12/24/2017 amounted to 1.7 m in Donskoy and 1.5 m in Rostov-on-Don. The measured concentration of suspended sediments reached 116 g / m³ in the surface layer and 99.5 g / m³ in the bottom layer at an average multi-year suspension concentration in branch Svinoe 21 g / m³. As a result of measurements, an increase in the concentration of suspended matter in the surface and near-bottom horizons was recorded along with an increase in the water level; moreover, on the decline in the level, the concentration of suspended matter in the bottom horizon exceeded the surface one. During the surge on 03/21/2019, along with the dynamics of the concentration of suspended matter on two horizons, the content in suspension of heavy metals – Ni, Cu, Pb, and Cd – was investigated. The concentration of heavy metals in suspended form does not have a clearly defined dependence on the surge phase and turbidity. The absolute values of metal concentrations in suspension are close to the previously obtained corresponding metal concentrations. However, it should be noted that for all metals the average concentration in suspension in the bottom horizon is higher than in the surface one.

Keywords: suspended matter, heavy metal, Don's Delta, Taganrog Bay.

The reported study was funded by RFBR according to the research project № 18-302-00001.

References

1. Rodionov N.A. 1958. *Gidrologiya ust'evoy oblasti Dona*. [Hydrology of the Don mouth area. M., «Gidrometeoizdat»: 98 p. (In Russian).
2. Bronfman A.M., Khlebnikov E.P. 1985. *Azovskoe more. Osnovy rekonstruktsii*. Leningrad, Hydrometeorological Publishing House: 271 p. (In Russian).
3. Sorokina V.V. Osobennosti terrigenного осадконакопления в Азовском море во второй половине XX века. Dissertatsiia na soiskanie uchonoj stepeni kandidata geograficheskikh nauk. Rostov-na-Donu. 2006. – 198 s.
4. Kleshchenkov A.V. Osobennosti tverdogo stoka r.Don v sovremennyj malovodnyj period // *Sbornik dokladov mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii pamyati vydayushchegosya russkogo gidrologa YUriya Borisovicha Vinogradova «Tret'i vinogradovskie chteniya. Grani gidrologii»* [EHlektronnyj resurs]; Sankt-Peterburg, 28–30 marta 2018 goda / Red. O. M. Makar'eva. – SPb.: Naukoemkie tekhnologii, 2018, ss.586–590.
5. Matishov G.G. 2016. [Climate, water resources and reconstruction of hydraulic structures, taking into account the interests of the population, fisheries and agriculture, shipping and energy. Report at the enlarged meeting of the Presidium of the Southern Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Rostov-on-Don, May 25, 2016)] *Klimat, vodnye resursy i rekonstruktsiya gidrotekhnicheskikh sooruzheniy s uchetom interesov naseleniya, rybolovstva i sel'skogo khozyaystva, sudokhodstva i energetiki. Doklad na rasshirennom zasedanii Prezidiuma Yuzhnogo nauchnogo tsentra RAN* (g. Rostov-na-Donu, 25 maya 2016 g.). Rostov n/D: Izdatel'stvo YuNTs RAN: 64 p. In Russian.
6. Giosan, Liviu & Syvitski, James & Constantinescu, Stefan & Day, John. (2014). Climate change: Protect the world's deltas. *Nature*. 516. 31–3. 10.1038/516031a.
7. Matishov G.G., Chikin A.L., Berdnikov S.V., Sheverdyayev I.V., Kleshchenkov A.V., Kirillova E.E. 2014. [Extreme flooding of the Don Delta in spring 2013: chronology, formation conditions, and consequences]. *Vestnik Yuzhnogo nauchnogo tsentra*. 10(1): 17–24. (In Russian).
8. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stanciyam i postam*. Vypusk 6. Chast' 1. Leningrad, Hydrometeorological Publishing House. 1978. 384 p. (In Russian).
9. Tsygankova A.E., Berdnikov S.V., Sorokina V.V., Aleshina E.G. Model'no-eksperimental'nyi podhod k izucheniyu povedeniya soedinenii tyazhelykh metallov (Cu, Pb, Cd) v usy'evoy oblasti Dona // *V sbornike: Okruzhayushchaya sreda i chelovek. Sovremennye problemy genetiki, selekcii i biotekhnologii. Materialy mezhdunarodnoi nauchnoi konferencii i molodezhnoi nauchnoi konferencii pamyati chlena-korrespondenta RAN D.G.Matishova*. 2016. p. 476–479.
10. Tkachenko O.V., Tkachenko A.N., Lyshagin M.Yu. Soderzhanie tyazhelykh metallov v vodnykh ob'ektah del'ty Dona: sezonnaya i prostranstvennaya dinamika. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya*. 2016. No.2 (61). P. 76–84.