

Оценка содержания ртути в почвах и донных отложениях дельты реки

Дон

А.В.Михайленко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: В статье рассматривается содержание ртути в почвах и донных отложениях дельты реки Дон. Определены особенности пространственного распределения концентраций металла, а также по поперечным профилям и с глубиной. Рассчитаны объемы поступления ртути в донные отложения из почв с поверхностным смывом, как на отдельных участках, так и на всей территории дельты Дона.

Ключевые слова: дельта, Дон, почвы, донные отложения, тяжелые металлы, ртуть.

Введение

Почвы и донные отложения являются особыми компонентами наземных и аквальных ландшафтов, очень близкими по структурным особенностям и выполняемым экологическим функциям. Они служат фокусом биогеохимических процессов, контролируя накопление, перераспределение и массоперенос химических элементов, в том числе тяжелых металлов (ТМ) [1,2]. Важными факторами концентрирования ТМ, трансформации форм их нахождения и, как следствие миграционной активности выступают физические, физико-химические и биогеохимические свойства почв и донных отложений [3,4].

В комплексе наземных и аквальных ландшафтов дельтовых участков рек в миграции ТМ главную депонирующую роль играют донные отложения. Однако, при определенных условиях они могут переходить обратно в водную среду и служить источником вторичного загрязнения водной среды наиболее токсичными формами металлов. Ранее доказано, что перманентно изменяющаяся гидродинамическая и физико-химическая обстановка в устьевых областях рек является основной причиной смены условий накопления и миграции ТМ в водной среде [5]. В то же время, строение дельт рек неоднородно, их отдельные протоки находятся на разной стадии развития, имеют индивидуальную морфологию и морфометрию, степень

антропогенного воздействия [6], что, несомненно, вносит свои коррективы в направленность и интенсивность процессов депонирования и перераспределения металлов в почвах и донных отложениях.

Материалы и методы

В ходе экспедиционных исследований на пяти станциях в дельте реки Дон в районе городов Ростов-на-Дону и Азов, на гирлах Старое и Большая Кутерьма, а также в месте впадения реки Усть-Койсуг в соответствии с методикой (ГОСТ 17.4.4.02-84.) были отобраны пробы почв и донных отложений с использованием грунтовой трубки ГОИН (рис.1).

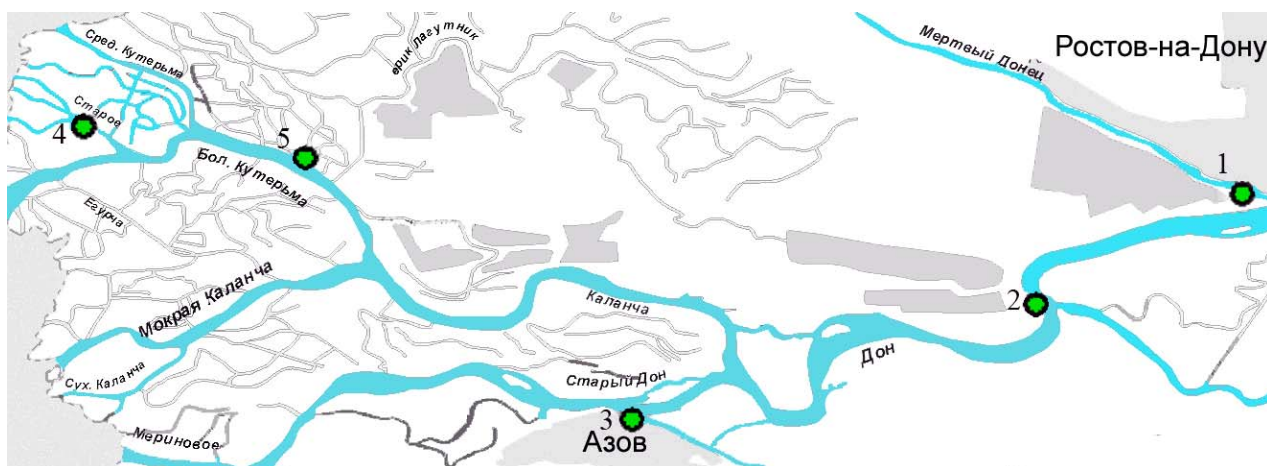


Рис.1. – Схема расположения станций отбора проб в дельте реки Дон

Отбор осуществлялся по поперечным профилям, включающим участки на надпойменной террасе, пойме, русловой части реки (рис.2). Было отмечено, что в прирусловой части поймы проток дельты Дона, как правило, залегают пески и супеси. Притеррасная часть поймы характеризуется развитием легких и тяжелых суглинков, в некоторых местах она почти полностью сложена тяжёлыми суглинками и глинами с незначительными прослойками песков в основании. Для структуры почвенного покрова было характерно преобладание луговых, лугово-болотных, болотных, аллювиально-луговых и аллювиальных почв. Концентрация гумуса в верхних

горизонтах почв (0-5см) варьировала от 2% на заболоченных почвах до 4-6% в аллювиально-луговых глинистых и суглинистых почвах. Донные отложения на станциях отбора проб представлены преимущественно илистой и илисто-песчаной фракцией.

Концентрация ртути определялась в аттестованной лаборатории при помощи атомно-абсорбционной спектроскопии методом «холодного пара» [7,8].

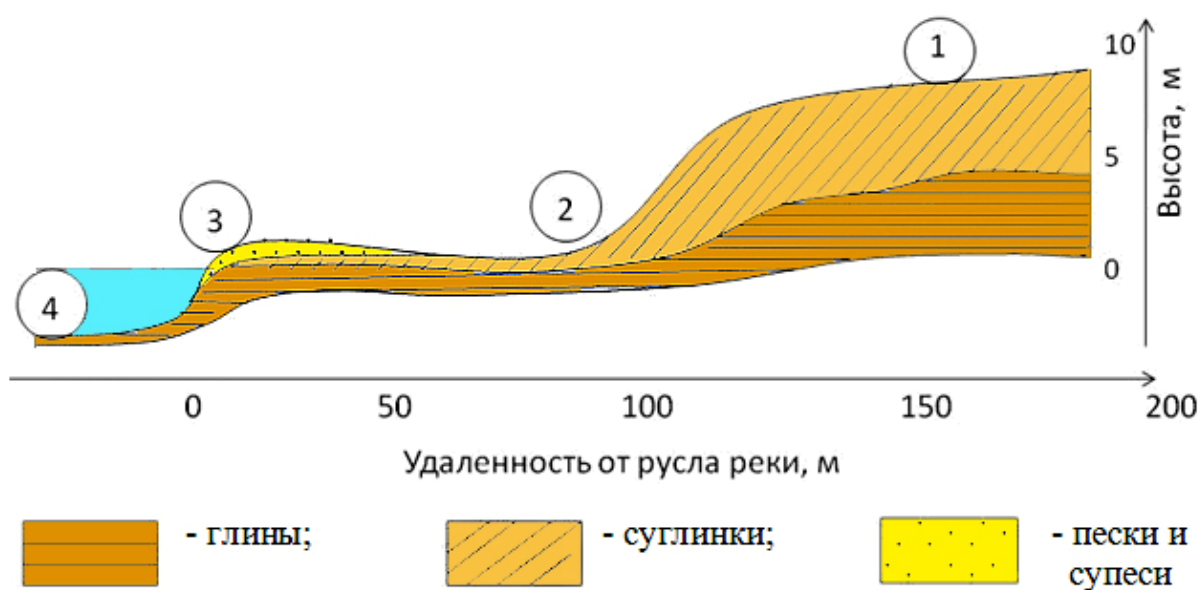


Рис. 2. – Схема расположения участков отбора проб по поперечному профилю исследуемых проток дельты Дона и его геологическое строение (1– надпойменная терраса, 2– притеррасный участок поймы, 3– прирусловой участок поймы, 4– русло реки (отбор донных отложений))

Результаты и их обсуждение

Результаты анализа показали, что концентрации ртути в районе исследований, как в почвах, так и в донных отложениях варьируют в широких пределах (таблица 1). Интервал минимальных значений содержания ртути в почвах составил 0,033-0,05 мкг/г с.м. (в среднем 0,41 мкг/г с.м.), что для данного района можно считать фоновой величиной. В горизонте 0-5 см в

33,3% случаев содержание Hg было меньше 0,05 мкг/г с.м., и в 66,7% превысило 0,1 мкг/г с.м. На глубине 5-15см в 55,5% проб значения изменяются в пределах от 0,05 мкг/г с.м. до 0,1 мкг/г с.м., а величины, превышающие 0,1 мкг/г с.м. отмечались в 44,5% случаев. Характерно, что во всех образцах почв содержание металла не превышает ПДК (2,1 мкг/г).

Таблица № 1

Среднее содержание ртути в почвах и донных отложениях исследуемого района, мкг/г с.м.

| Станции отбора проб | Глубина отбора почв, см | Концентрация в почвах | Концентрация в донных отложениях, интервал глубин 0-5 см. |
|---------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|
| Ст. 1 | 0-5 | $\frac{0,033-0,047}{0,04}$ | 0,026 |
| | 5-15 | $\frac{0,053-0,07}{0,06}$ | |
| Ст.2 | 0-5 | $\frac{0,07-0,107}{0,089}$ | 0,102 |
| | 5-15 | $\frac{0,04-0,09}{0,063}$ | |
| Ст. 3 | 0-5 | $\frac{0,107-0,337}{0,197}$ | 0,112 |
| | 5-15 | $\frac{0,05-0,153}{0,116}$ | |
| Ст.4 | 0-5 | $\frac{0,107-0,113}{0,11}$ | 0,133 |
| | 5-15 | $\frac{0,053-0,107}{0,081}$ | |
| Ст.5 | 0-5 | $\frac{0,102-0,109}{0,106}$ | 0,113 |
| | 5-15 | $\frac{0,06-0,1}{0,07}$ | |

Изменение содержания ртути в почвах по поперечному профилю в большинстве случаев характеризуется снижением величин по мере удаления от коренного берега. Для гирла Строго отмечено, что в пределах пойменных участков наблюдается увеличение содержания ртути с глубиной. Вероятно,

это связано с интенсивным сезонным смывом верхнего горизонта во время ливневых атмосферных осадков. Кроме того, причиной смыва является затопление поймы при прохождении половодий и паводков, а также нагонных подъемов уровня воды, которые в дельте Дона имеют частую повторяемость. Так же отмечено, что на участках надпойменных террас средние концентрации металла в горизонте 0-5 см выше, чем на глубине 5-15 см.

Примечательно, что и величины концентраций ртути и особенности их распределения с глубиной в почвах дельты Дона существенно разнятся с результатами исследований в других районах, где в отличие от описываемого района природные источники ртути не обнаружены. В частности, средние концентрации ртути в почвах дельты реки Дон выше, чем в устьевой части Северной Двины. Так, в пробах почв г. Архангельска в горизонте 0-5 см в 79 % случаев концентрации ртути не превысили 0,05 мкг/г с.м., в 21% содержание металла было выше 0,05 мкг/г с.м. и только в 7% превысило 0,1 мкг/г с.м. В горизонте 5-15 см в 56% случаев концентрации превысили 0,05 мкг/г с.м. и в 14% - 0,1 мкг/г с.м. [9,10]. Так же в почвах Архангельской области в целом средние концентрации металла в горизонте 5-15 см выше, чем в поверхностном слое, в то время как в дельте Дона такое распределение характерно только для пойменных участков.

В донных отложениях концентрации ртути изменялись в пределах 0,026 - 0,133 мкг/г с.м. Характерно, что наибольшие значения отмечены на станции в гирле Старом - отмирающей протоке с невысокими скоростями течения, а самые низкие – в вершине дельты – в протоке Мертвый Донец и русле Дона, которые, несмотря на близость источников поступления ртути (агломерация Ростова-на-Дону, Восточный Донбасс и др.), отличаются более высокими скоростями течения, интенсивным водообменном и более значительной морфометрией. В то же время именно донные отложения в

гирле Старом будут в первую очередь служить источником вторичного загрязнения воды, а также верхнего горизонта почв поймы, поскольку гирло расположено в непосредственной близости от морского края дельты и подвергается воздействию нагонных явлений любой интенсивности, в то время как на других станциях – только во время сильных нагонов. Интенсивность гидродинамических процессов, по всей видимости, является одним из основных факторов пространственного распределения ртути в донных отложениях и соотношения концентраций металла в почвах и донных отложениях. Установлено, что чем выше скорости течения реки, тем ниже концентрации ртути в донных отложениях. Также можно отметить общую закономерность превышения концентраций металла в почвах, по сравнению с содержанием в донных отложениях в вершине дельты и противоположную картину по мере приближения к ее морскому краю (таблица 1).

Отбор проб почв и донных отложений по заложенным поперечным профилям и сравнительный анализ концентраций позволил выполнить анализ миграционных потоков ртути в системе «почвы — донные отложения». Так, на станции в гирле Старом были отмечены высокие концентрации валовой формы металла в водной толще с явным увеличением значений с глубиной [11]. Примечательно, что содержание взвешенной формы ртути было высоким в поверхностном слое. Возможно, был зафиксирован период перехода ртути, сорбированной на частицах почвы, попадающих в воду со смывом с берега. Частично это может быть также связано с сорбцией металла на частицах планктонных организмов, локализующихся в поверхностном слое воды. Одновременно с этим более высокие концентрации растворенной ртути в придонном слое воды свидетельствуют об активных биогеохимических процессах в донных отложениях в условиях слабой гидродинамики и эмиссии металла в придонную водную толщу. Как уже

отмечалось, гирло Старое расположено относительно далеко от судоходных путей и населенных пунктов, т.е. непосредственных антропогенных источников поступления ртути, однако благодаря особенностям строения и гидродинамики отличается более высоким содержанием металла в донных отложениях, чем другие протоки, например, Большая Кутерьма. Очевидно, что донные отложения гирла Старого сорбируют ртуть, поступающую не столько с непосредственного побережья, сколько с участков реки, расположенных выше по течению, а слабая проточность препятствует дальнейшей миграции металла за пределы дельты. В то же время в условиях широкого, открытого в сторону Таганрогского залива выхода Большой Кутерьмы, интенсивных сгонно-нагонных явлений происходит вынос ртути, как мобилизуемой из донных отложений, так и сорбированной на частицах, попадающих в водную толщу при их взмучивании, за пределы дельты на устьевое взморье.

Ранее авторами указывалось [12-15], что содержание ртути в почвах и донных отложениях находится в тесной взаимосвязи с концентрацией органического вещества. В этой связи представляется возможным выполнить количественную оценку исследуемых миграционных потоков на основе использования данных о содержании гумуса в почвах дельты Дона (13,5 т/га) и его ежегодных потерях вследствие плоскостного смыва (0,4% или 54 кг/га). Результаты произведенных расчетов представлены в таблице 2. Поскольку наибольшая средняя концентрация ртути в поверхностном слое почв 0,197 мкг/г с.м. была определена на станции в районе г. Азов (ст.3), было рассчитано, что ежегодно на данном участке смывается $10,6 \times 10^{-3}$ кг/га, а содержание металла в почве составляет $2,65 \times 10^{-3}$ т/га. В почвенном покрове гирла Старого (ст.4) содержится $1,48 \times 10^{-3}$ т/га ртути, а вследствие смыва в воду поступает $5,94 \times 10^{-3}$ кг/га. Для станции, расположенной в месте впадения реки Усть-Койсуг (ст.2), получены соответствующие значения

$1,2 \times 10^{-3}$ т/га и $4,8 \times 10^{-3}$ кг/га, а в гирле Большая Кутерьма (ст.5) они составили соответственно $1,43 \times 10^{-3}$ т/га и $5,72 \times 10^{-3}$ кг/га. Согласно произведенным вычислениям, величина смыва в г. Ростове-на-Дону (ст.1) составляет $2,54 \times 10^{-3}$ мкг/г (при концентрации металла 0,047 мкг/г и содержании в почве $0,63 \times 10^{-3}$ т/га).

Таблица № 2

Содержание гумуса и концентраций ртути в почвах и рассчитанное ежегодное поступление в воду.

| Исследуемые компоненты | Содержание в почве (т/га) | Ежегодное поступление в воду вследствие поверхностного смыва (кг/га) |
|------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| ст.1 | $0,54 \times 10^{-3}$ | $2,16 \times 10^{-3}$ |
| ст.2 | $1,2 \times 10^{-3}$ | $4,8 \times 10^{-3}$ |
| ст.3 | $2,65 \times 10^{-3}$ | $10,6 \times 10^{-3}$ |
| ст.4 | $1,48 \times 10^{-3}$ | $5,94 \times 10^{-3}$ |
| ст.5 | $1,43 \times 10^{-3}$ | $5,72 \times 10^{-3}$ |

Анализ таблиц 1 и 2 позволяет сделать вывод о том, что пространственное распределение концентраций ртути в почвах и величин объемов ее поступления в водную среду отличается максимальными значениями в г. Азов и минимальными на окраине г. Ростов-на-Дону (вершина дельты), что контролируется близостью к источнику поступления ртути, гранулометрическим составом и физико-химическими свойствами почв. В то же время в донных отложениях распределение содержания металла имеет иную картину – наибольшие значения характерны для гирла Старого. Причина этих отличий заключается во влиянии гидродинамических процессов разной интенсивности на депонирование и миграцию ртути в донных отложениях, а также смены физико-химических условий в зоне смешения речных и морских вод.

Данные таблицы 2 также позволяют выполнить расчет ежегодного поступления ртути из почв дельты Дона в донные отложения. Зная, что ее площадь составляет 27047,75 га, а средняя величина ежегодного поступления

в воду вследствие поверхностного смыва ртути $4,92 \times 10^{-3}$ кг/га, определено, что из почвенного покрова территории дельты в донные отложения ежегодно поступает 133,1 кг ртути.

Выводы

В почвах надпойменных террас дельты Дон наблюдалось уменьшение концентрации ртути по почвенному профилю с глубиной. Это говорит не только о связи металла с органическим веществом почвы, но и подтверждает техногенный источник ее поступления. В почвах пойменных участков наибольшие величины наоборот, отмечались в горизонте 5-15см, что свидетельствует об интенсивном вымывании ртути из почв во время ливневых атмосферных осадков, при прохождении волн половодий и паводков, развитии нагонов со стороны Таганрогского залива, и ее последующей миграции в воду и донные отложения.

Было установлено, что перераспределение содержания ртути между почвами и донными отложениями зависит от многих факторов, в числе которых определенное значение имеют стадия развития протоки, ее морфометрия и, соответственно, интенсивность гидрологических процессов.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта № 5.1848.2014/К. Выражаю благодарность д.г.н., главному научному сотруднику Института наук о Земле ЮФУ – заведующему кафедрой физической географии, экологии и охраны природы, профессору Федорову Ю.А, а также к.г.н., доценту кафедры физической географии, экологии и охраны природы Доценко И.В. за всестороннюю помощь и участие.

Литература

1. Вишневецкий В.Ю., Ледяева В. С. Экспериментальные исследования загрязнений тяжелыми металлами в донных отложениях в Таганрогском заливе// Инженерный Вестник Дона. – 2012. №4-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p1y2012/1141.



2. Минкина Т.М., Бауэр Т.В., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Сушкова С.С., Чаплыгин В.А. Закономерности процесса трансформации цинка в черноземе обыкновенном в присутствии различных анионов// Инженерный Вестник Дона. – 2013. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1793.

3. Федоров Ю.А., Михайленко А.В., Доценко И.В. Биогеохимические условия и их роль в массопереносе тяжелых металлов в аквальных ландшафтах. Геохимия ландшафтов и география почв (к 100-летию М.А. Глазовской). Доклады Всероссийской научной конференции. Москва 4-6 апреля 2012. М.: МГУ, 2012, с. 332-334.

4. Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Mikhailenko A.V. The role of the hydrological factors in the formation of field concentrations and fluxes of reduced gases and mercury in the Sea of Azov. Conference Proceedings of 11-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2011, Conference Centre Flamingo Grand, Albena Complex, Bulgaria, 20-25 june, 2011, vol.III, pp. 717-723.

5. Федоров Ю.А., Доценко И.В., Михайленко А.В. Особенности распределения и мониторинга ртути в экосистеме Азовского моря при различной гидрометеорологической обстановке// Сборник трудов Всероссийской научной конференции «Проблемы безопасности в водохозяйственном комплексе России». Краснодар: ООО «Ангара плюс», 2010, с.438-446.

6. Федоров Ю.А., Хансиварова Н.М., Предеина Л.М. Особенности распределения ртути и свинца в донных отложениях Таганрогского залива и юго-восточной части Азовского моря// Водное хозяйство России. 2003, т.5, №6, с.528-540.

7. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измерения содержания ртути в твердых объектах (почва, компосты, кеки,

осадки сточных вод, пробы растительного происхождения) методом атомно-абсорбционной спектрометрии (метод «холодного пара») ПНД Ф 16.1:2.3:3.10-98. Москва:1998. 13 с.

8. Федоров Ю.А., Хансиварова Н.М., Березан О.А. Об особенностях распределения и поведения ртути в донных отложениях нижнего течения р. Дон и Таганрогского залива// Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки, 2001, № 3, с.76-81.

9. Федоров Ю.А., Овсепян О.В., Доценко И.В. Ртуть в почвах устьевой области р. Северной Двины// Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2007. № 6. с. 109 – 115.

10. Овсепян О.В., Федоров Ю.А. Ртуть в устьевой области реки Северная Двина/ Ростов-на-Дону-Москва: ЗАО «Ростиздат», 2011.с.104.

11. Доценко И.В. Ртуть в воде дельты р. Дон. Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», Ростов-на-Дону, 2010 г. с.106-109.

12. Федоров Ю.А., Доценко И.В., Кузнецов А.Н., Белов А.А., Логинов Е.А. Закономерности распределения $C_{орг}$ в донных отложениях российской части Азовского моря// Океанология, 2009, том 49, №2, с. 229-236.

13. Доценко И.В. Органическое вещество и его роль в аккумуляции ртути в экосистеме Азовского моря // «Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты». Материалы Международного симпозиума (Москва 7–9 сентября 2010г) М.: ГЕОХИ РАН, с. 218-222.

14. Доценко И.В., Федоров Ю.А. Распределение $C_{орг}$ в донных отложениях Азовского моря и его роль в накоплении ТМ и других элементов (по данным корреляционного анализа) // Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии. Сб. трудов. ИП Турова, Ростов-на-Дону. 2007. С.48-52.

15. Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Mikhailenko A.V. Mercury and organic matter in bottom sediments in the profile don river—Sea of Azov// 14th

GeoConference on Ecology, Economics, Education and Legislation Conference Proceedings Volume I Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria. pp. 81-87.

References

1. Vishneveckij V.Ju., Ledjaeva V. S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2012. №4-1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1793.

2. Minkina T.M., Baujer T.V., Mandzhieva S.S., Nazarenko O.G., Sushkova S.S., Chaplygin V.A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus). 2013. №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1793.

3. Fedorov Ju.A., Mihajlenko A.V, Docenko I.V. Geohimija landshaftov i geografija pochv (k 100-letiju M.A. Glazovskoj). Doklady Vserossijskoj nauchnoj konferencii. Moskva 4-6 aprelja 2012. M.: MGU, 2012, pp. 332-334.

4. Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Mikhailenko A.V. The role of the hydrological factors in the formation of field concentrations and fluxes of reduced gases and mercury in the Sea of Azov. Conference Proceedings of 11-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference & EXPO Modern Management of Mine Producing, Geology and Environmental Protection, SGEM 2011, Conference Centre Flamingo Grand, Albena Complex, Bulgaria, 20-25 june, 2011, vol.III, pp. 717-723.

5. Fedorov Ju.A., Docenko I.V., Mihajlenko A.V. Sbornik trudov Vserossijskoj nauchnoj konferencii «Problemy bezopasnosti v vodohozjajstvennom komplekse Rossii». Krasnodar: OOO «Angara plus», 2010, pp.438-446.

6. Fedorov Ju.A., Hansivarova N.M., Predeina L.M. Vodnoe hozjajstvo Rossii. 2003, t.5, №6, pp.528-540.

7. Kolichestvennyj himicheskij analiz pochv. Metodika vypolnenija izmerenija sodержaniya rtuti v tverdyh ob'ektah (pochva, komposty, keki, osadki stochnyh vod, proby rastitel'nogo proishozhdenija) metodom atomno-absorbcionnoj spektrometrii (metod «holodnogo para») [Quantitative chemical analysis of soil.

The measurement procedure mercury in solid objects (soil, composts, cakes, sewage sludge, and samples of plant origin) by the method of atomic absorption spectrometry (method of "cold vapor")] PND F 16.1:2.3:3.10-98. Moskva: 1998. 13p.

8. Fedorov Ju.A., Hansivarova N.M., Berezan O.A. Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki, 2001, № 3, pp.76-81.

9. Fedorov Ju.A., Ovsepjan O.V., Docenko I.V. Izvestija vuzov. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki. 2007. № 6. pp. 109 – 115.

10. Ovsepjan O.V., Fedorov Ju.A. Rtut' v ust'evoj oblasti reki Severnaja Dvina [Mercury in the Northern Dvina River Estuarine Area]. Rostov-na-Donu-Moskva: ZAO «Rostizdat», 2011.p.104.

11. Docenko I.V. Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii «Jekologicheskie problemy. Vzgljad v budushhee», Rostov-na-Donu, 2010 g. pp.106-109.

12. Fedorov Ju.A., Docenko I.V., Kuznecov A.N., Belov A.A., Loginov E.A. Okeanologija, 2009, tom 49, №2, pp. 229-236.

13. Docenko I.V. «Rtut' v biosfere: jekologo-geohimicheskie aspekty». Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma (Moskva 7–9 sentjabrja 2010g) M.: GEOHI RAN, pp. 218-222.

14. Docenko I.V., Fedorov Ju.A. Problemy gidrometeorologii i geojekologii. Sb. trudov. IP Turova, Rostov-na-Donu. 2007. pp.48-52.

15. Fedorov Yu.A., Dotsenko I.V., Mikhailenko A.V. Mercury and organic matter in bottom sediments in the profile don river—Sea of Azov. 14th GeoConference on Ecology, Economics, Education and Legislation Conference Proceedings Volume I Ecology and Environmental Protection. Albena, Bulgaria. pp. 81-87.