
ПРОБЛЕМЫ ЯДЕРНОЙ, РАДИАЦИОННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

УДК 574.52; 631.9; 639.2

АНАЛИЗ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСТУПЛЕНИЯ ИОНОВ МЕДИ В ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОДОЕМЫ ОТ АТОМНЫХ СТАНЦИЙ

© 2020 О.И. Горская*, И.А. Бубликова**, В.М. Сапельников**

**Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Ростовская атомная станция», Волгодонск,
Ростовская обл., Россия*

*** Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского
ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия*

Техногенное загрязнение объектов окружающей среды определяет актуальность работы по анализу обеспечения требований экологической безопасности при эксплуатации атомных станций при поступлении ионов меди в водные объекты со сбросами АЭС. В работе выполнен анализ динамики как фактических сбросов ионов меди для Балаковской АЭС, Нововоронежской АЭС и Смоленской АЭС (т/г), так и в долях от нормативно-допустимых сбросов для этого тяжелого металла (%). Показано отсутствие нарушений требований экологической безопасности. Более подробный анализ выполнен для Ростовской АЭС. Показано, что модернизация трубных систем конденсатора турбины энергоблока № 1 привела к резкому снижению поступления ионов меди в водоем-охладитель от атомной станции. Анализ динамики содержания токсиканта в воде водоема-охладителя и Цимлянском водохранилище не выявил влияние поступления ионов меди из водоема-охладителя с фильтрующей водой на их концентрацию в воде водохранилища.

Ключевые слова: атомная станция, сбросы, содержание ионов меди в воде, водоем-охладитель, Цимлянское водохранилище, поллютант, корреляционно-регрессионный анализ.

Поступила в редакцию 02.10.2020
После доработки 19.10.2020
Принята к печати 28.10.2020

Медь в настоящее время являются одним из ведущих поллютантов водных объектов, при этом этот тяжелый металл относится к биогенным веществам, поступление которых в организмы обязательно в очень маленьких дозах. К сожалению, техногенное поступление данного загрязнителя в объекты природной среды достаточно часто приводит к превышению безопасных концентраций, что с учетом накопительной функции биоты провоцирует рост его содержания в тканях и токсическое поражение организмов. В воде водоемов медь присутствует в форме ионов и может вступать в обменные процессы, как между биотическими, так и абиотическими компонентами водных экосистем. Это определяет внимание специалистов и общественности к присутствию ионов меди в водных объектах [1].

Объекты атомной энергетики всегда рассматриваются как источники поступления в окружающую среду не только радиационных, но и химических загрязнений. В рамках данной работы объектом анализа экологической безопасности АЭС рассматривалось поступление ионов меди со сбросами атомных станций в открытую гидрографическую среду. Для этого была использована информация отчетов по экологической безопасности атомных станций за период с 2013 по 2018 гг., представленная на официальном сайте АО «Концерн Росэнергоатом» [2-21]. Необходимо отметить, что не все АЭС включают в состав основных загрязняющих веществ сбросов такой гидрохимический показатель как ионы меди. При этом, если в отчетах Балаковской

АЭС [2, 6, 9, 12, 14] указывается, что определение фактических сбросов вредных химических веществ с фильтрационными водами водохранилища-охладителя Балаковской АЭС выполняется на основании расчета по гидрохимическим данным в контрольных точках р. Волга выше и ниже водоема-охладителя, то в отчетах Ростовской АЭС [4, 5, 10, 13, 16] данные о поступлении в водные объекты основных загрязняющих веществ приводятся отдельно по каждому выпуску, через которые сбросы АЭС поступают как в водоем-охладитель, так и непосредственно в Цимлянское водохранилище. Поэтому для анализа были использованы однородные данные по трем АЭС – Балаковской, Смоленской, Нововоронежской, который показал, что несмотря на то, что значения фактического сброса ионов меди Нововоронежской АЭС были значительно выше аналогичных значений Смоленской и Балаковской атомных станций, доля рассматриваемого параметра от уровня нормативно-допустимого сброса (НДС) для Нововоронежской и Балаковской АЭС в рассматриваемый период была ниже 40% с тенденцией к снижению (рис. 1, 2), а для Смоленской АЭС при снижении фактического сброса в 2017-2019 гг. относительно 2015 и 2016 гг., доля от НДС наоборот выросла за счет снижения нормативного значения и в 2018-2019 гг. составила 100 %. Но в целом, анализ данных показал, что превышений НДС по рассматриваемому показателю в рассмотренный период не наблюдалось, поэтому экологическая безопасность водных объектов поступлением ионов меди от атомных станций не нарушалась.

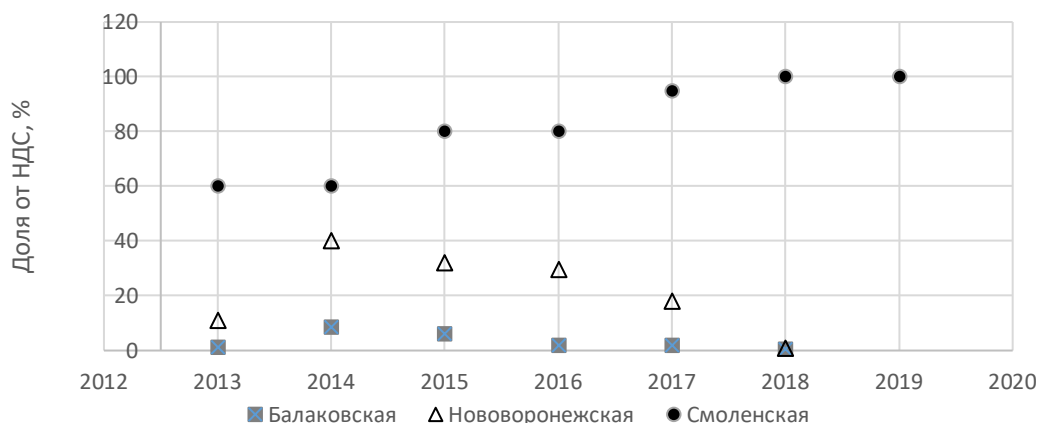


Рисунок 1 – Доля фактических сбросов ионов меди от уровня нормативно-допустимых сбросов (НДС)
[The share of actual discharges of copper ions from the level of regulatory permissible discharges (VAT)]



Рисунок 2 – Динамика фактических сбросов ионов меди [Dynamics of copper ions actual discharge]

Рассмотрим более подробно влияние Ростовской АЭС на содержание ионов меди в воде Цимлянского водохранилища, на берегу которого располагается эта атомная

станция, и которое имеет большое рыбохозяйственное и водохозяйственное значение в регионе.

Сбросы от Ростовской АЭС в открытую гидрографическую среду осуществляются через:

- выпуск № 1 – сброс загрязняющих веществ со сточными водами, прошедших биологическую очистку и доочистку на блоке доочистки на очистных сооружениях канализации зоны «свободного» режима в водоём-охладитель;
- выпуск № 2 – сброс продувочных вод водоёма-охладителя в Цимлянское водохранилище, осуществляется с 2010 года;
- выпуски №№ 3 и 5 – сброс очищенных дождевых сточных вод с территории энергоблоков в водоём-охладитель;
- выпуск № 6 – сброс очищенных дождевых сточных вод с территории НДВ х. Харсеев в Цимлянское водохранилище.

Анализ динамики поступления ионов меди через выпуски №№ 1 и 2, представленной на рисунках 3 и 4, показал, что несмотря на то, что НДС не превышен для рассматриваемых выпусков, фактическое поступление поллютанта из водоема-охладителя (ВО) в Цимлянское водохранилище (ЦВ) через выпуск № 2 значительно превышает аналогичные значения выпуска № 1 при использовании выпуска № 2 всего около 2 месяцев в году при продувке ВО на период сброса паводковых вод.

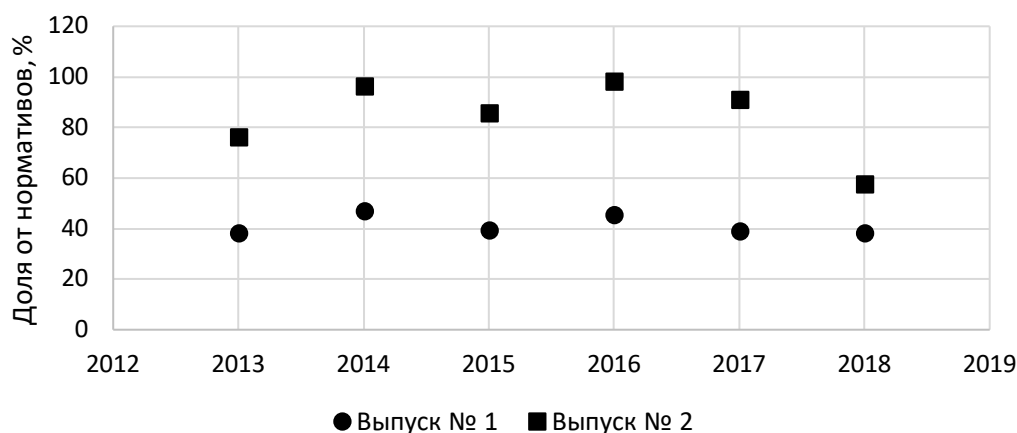


Рисунок 3 – Доля фактических сбросов ионов меди Ростовской АЭС от уровня нормативно-допустимых сбросов (НДС) [The share of Rostov NPP copper ions actual discharges from the level of regulatory permissible discharges (VAT)]

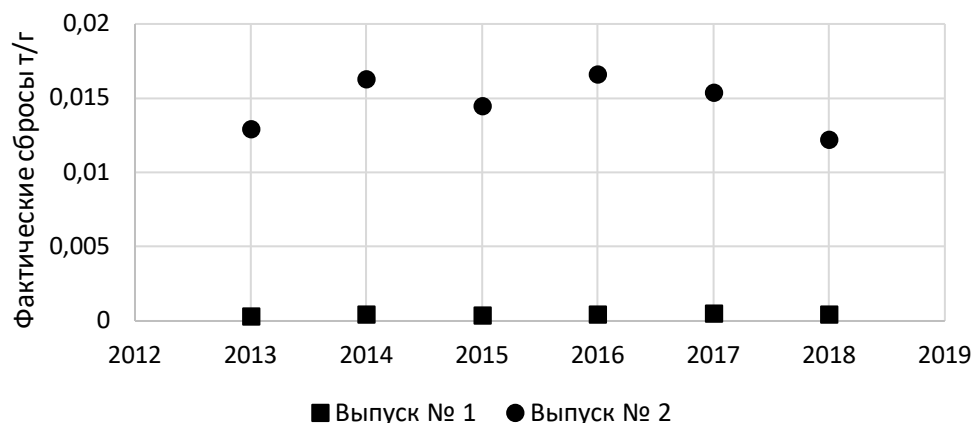


Рисунок 4 – Динамики поступления ионов меди в во и ЦВ через выпуски №№ 1 и 2 Ростовской АЭС [Dynamics of copper ions intake in the cooling reservoir and the Tsimlyansk reservoir through No. 1 and 2 outlets of Rostov NPP]

Рассмотрим взаимодействия Цимлянского водохранилища (ЦВ), водоема-охладителя (ВО) и Ростовской АЭС (РоАЭС) между собой (рис. 5).

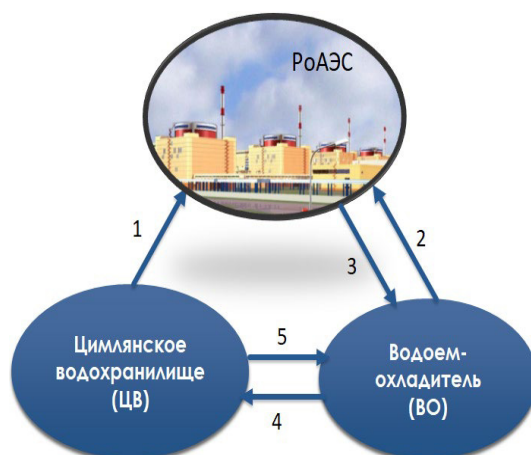


Рисунок 5 – Взаимодействие Ростовской АЭС, Цимлянского водохранилища и водоема-охладителя:

1 – подпитка первого контура и других технологических нужд; 2 – забор воды на охлаждение оборудования; 3 – сброс подогретых вод и очищенных сточных вод; 4 – фильтрация воды через тело плотины, продувка ВО; 5 – подпитка ВО [Interaction of the Rostov NPP, the Tsimlyansk reservoir and the cooling reservoir: 1 – recharge of the primary circuit and other technological needs; 2 – water intake for equipment cooling; 3 – discharge of heated water and treated waste water; 4 – filtration of water through the body of the dam, cooling reservoir blowing; 5 – cooling reservoir feeding]

В таблице 1 представлены данные, характеризующие интенсивность водообмена между рассматриваемыми объектами [3]. Таким образом, учитывая представленные выше взаимодействия и интенсивность водообмена, возможно поступление ионов меди с водой от атомной станции в Цимлянское водохранилище за счет фильтрации воды через тело плотины и продувки водоема-охладителя.

Таблица 1 – Характеристики водообмена между Ростовской АЭС, Цимлянским водохранилищем и водоемом-охладителем в 2017 г., тыс. м³ [Characteristics of water exchange between Rostov NPP, Tsimlyansk reservoir and cooling pond in 2017, thousand of m³]

№	Наименование	Фактический объем
1.	Подпитка первого контура и других технологических нужд	4961,21
2	Объем воды в системах оборотного водоснабжения*	4 417 198, 31
4	Фильтрация воды через тело плотины,	13458,36
5	Продувка ВО	8294,40
6	Подпитка ВО	59105,02

* – На Ростовской АЭС две системы оборотного водоснабжения:

- 1) система охлаждения оборудования турбинного отделения (неответственных потребителей) – оборотная вода водоема-охладителя и башенной испарительной градирни;
- 2) система охлаждения оборудования реакторного отделения (ответственных потребителей) – оборотная вода брызгальных бассейнов.

Для оценки Ростовской АЭС как источника поступления ионов меди в водоем-охладитель были использованы результаты ежемесячного определения содержания ионов меди в воде, полученные при проведении производственного контроля гидрохимических показателей рассматриваемых поверхностных водоемов отделом охраны окружающей среды Ростовской АЭС. При этом был выполнен анализ соответствующих данных на выходе отводящего и на входе подводящего каналов в период с 2004 по 2019 гг., что позволяет оценить изменения показателя до и после охлаждения технологического оборудования.

Корреляционно-регрессионный анализ (рис. 6) показал вполне ожидаемую тесную линейную связь между анализируемыми показателями: $y = 1,2112x - 5E-08$ с коэффициентом детерминации – 0,8585. Но при этом выявлено увеличение содержания ионов меди в воде отводящего канала по сравнению с аналогичным показателем подводящего. В связи с чем далее был выполнен анализ динамики разностей показателей.

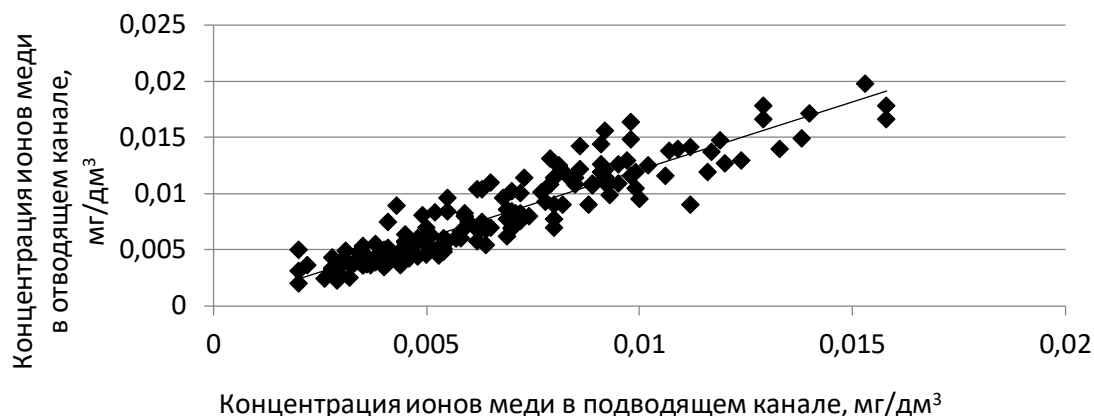


Рисунок 6 – Зависимость содержания ионов меди в воде отводящего канала от их содержания в воде подводящего канала [Dependence of the copper ions content in the outlet channel water on their content in the supply channel water]

Несмотря на то, что рассматриваемые разности в отдельные месяцы были отрицательными, но динамика среднегодовых значений (рис. 7) всегда была положительной. По характеру этой динамики можно выделить три характерных временных промежутка. Первый пришелся на период с 2004 по 2008 гг. с размахом значений практически от нуля в 2004 г. до максимального (0,0006 мг/м³) в 2006 г. Далее следует резкий рост со среднегодовым максимумом в 2011 г. (0,0028 мг/м³). И после модернизации трубных систем конденсатора турбины энергоблока № 1 с заменой медьсодержащих сплавов на титановые в 2015 г. произошло значительное снижение количества ионов меди, вымываемых с теплообменных поверхностей. Это свидетельствует о том, что основной источник поступления токсиканта в воду водоем-охладителя был устранен. Следует отметить, что трубные системы конденсатора турбины энергоблока № 2, который так же использует для охлаждения водоем-охладитель, еще при пуске были выполнены из титановых сплавов.

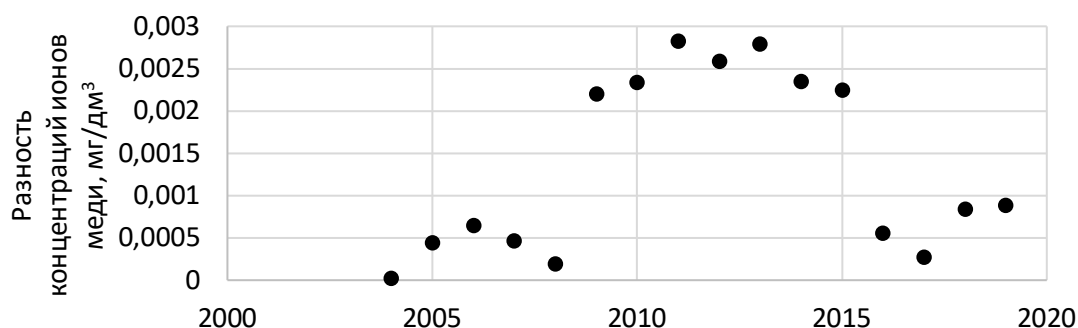


Рисунок 7 – Динамика среднегодовых разностей содержания ионов меди в воде отводящего и подводящего каналов [Dynamics of the average annual differences in the content of copper ions in the water of the outlet and supply channels]

Для анализа значимости для Цимлянского водохранилища поступлений ионов меди от атомной станции в водоем-охладитель были рассмотрены данные по точкам

контроля, находящимся напротив друг друга через фильтрующую плотину, отделяющую водоем-охладитель от Цимлянского водохранилища, в период с 2002 г. по 2019 годы. Для определения зависимости значений рассматриваемого показателя в воде водохранилища от аналогичных значений в воде водоема-охладителя (рис. 8) использовался корреляционно-регрессионный анализ. При этом линейная аппроксимация, выполненная в *MS Excel*, оказалась обратной, то есть большим значениям в ВО соответствовали меньшие значения в ЦВ: $y = -0,177x + 0,0033$, но с учетом значения коэффициента детерминации (0,1974) связь оказалась слабой.

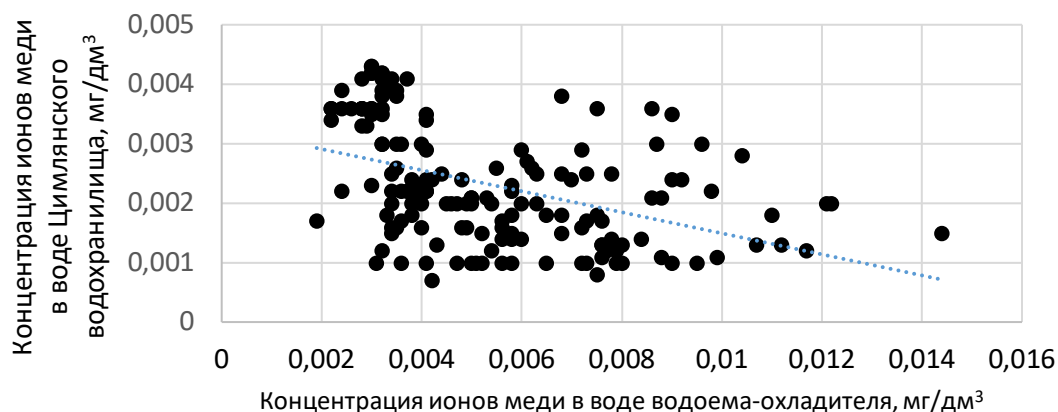


Рисунок 8 – Зависимость содержания ионов меди в воде Цимлянского водохранилища от их содержания в водоеме-охладителе [Dependence of the content of copper ions in the water of the Tsimlyansk reservoir on their content in the cooling pond]

Таким образом, характер динамики содержания рассматриваемого поллютанта в воде водоема-охладителя практически не связан с динамикой аналогичного показателя в воде водохранилища. Очевидно, что соотношение объемов воды в приплотинной части водохранилища и воды, фильтрующейся сквозь плотину из ВО в ЦВ, за счет разбавления нивелирует потенциальный негативный эффект от поступления ионов меди с фильтрующейся водой даже в период наибольшего вымывания ионов меди с поверхности теплообменного оборудования в период 2009-2015 гг., когда среднее значение превышения показателя в воде ВО над аналогичным значением в воде ЦВ составило 0,0019 мг/дм³ с максимумом 0,0036 мг/дм³. Значимость таких превышений определяется нормативом предельно-допустимой концентрации вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения, который для меди составляет 0,001 мг/дм³ [22].

Был проведен сравнительный анализ результатов производственного контроля показателя, выполняемого отделом охраны окружающей среды Ростовской АЭС с данными ежегодников «Экологический вестник Дона» [23]. При этом для сравнения анализируемого параметра в воде Цимлянского водохранилища в районе расположения атомной станции, использовались данные для г. Калач-на-Дону (створ наблюдения реки Дон, впадающей в водохранилище) и г. Волгодонска, как и Ростовская АЭС располагающегося в приплотинной части водохранилища.

Данные, представленные на рисунке 9, свидетельствуют о том, что, несмотря на динамику рассматриваемого показателя в воде водоема-охладителя: рост в 2009-2014 гг., значительное снижение с 2016 г. после модернизации трубной системы конденсатора турбины энергоблока № 1, для рассматриваемых створов наблюдений нет выраженных общих тенденций, а динамика содержания ионов меди в воде створа наблюдения реки Дон (г. Калач-на-Дону) в принципе не может быть связаны с эксплуатацией Ростовской АЭС, располагающейся значительно ниже по течению.

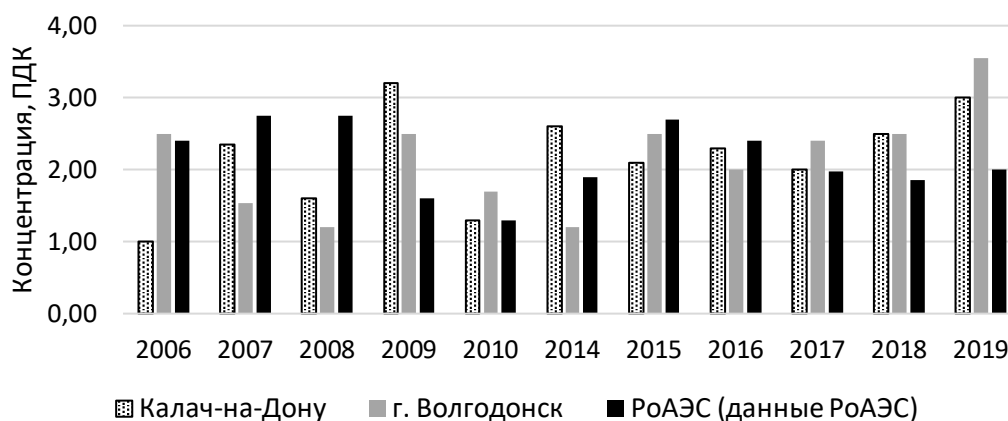


Рисунок 9 – Содержание ионов меди в воде Цимлянского водохранилища, ед. ПДК [Content of copper ions in the Tsimlyansk reservoir water, LOC units]

Выводы

1. Проведенный анализ экологической безопасности поступления ионов меди в поверхностные водоемы от Балаковской АЭС, Нововоронежской АЭС и Смоленской АЭС показал, что превышений нормативно-допустимых сбросов по рассматриваемому показателю в период с 2013 по 2018 гг. не наблюдалось, поэтому экологическая безопасность водных объектов поступлением ионов меди от атомных станций не нарушалась.

2. Более детальный анализ для Ростовской АЭС показал, что несмотря на увеличение количества ионов меди, поступающих в Цимлянское водохранилище из водоема-охладителя в период с 2009 по 2014 гг., благодаря разбавлению в водохранилище фильтрующейся воды, этот процесс не повлиял на сложившийся в водохранилище уровень загрязнения рассматриваемым тяжелым металлом.

3. Необходимо проведение дополнительных исследований по выявлению причин и источников поступления ионов меди в воду р. Дон и Цимлянское водохранилище.

В заключении хотелось бы отметить, что забор воды из Цимлянского водохранилища на технологические нужды Ростовской АЭС, который осуществляется в непосредственной близости от плотины водоема-охладителя, предопределяет заинтересованность атомной станции в поддержании качества этой воды, в том числе за счет минимизации собственного влияния на ее гидрохимические показатели. Поэтому интерес общественности и Ростовской АЭС в стремлении сохранить экологические свойства Цимлянского водохранилища безусловно совпадают.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Турецкая, И. В. Оценка загрязнения тяжелыми металлами поверхностных вод озера в районе полигона / И. В. Турецкая [и др.] // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 3-3. – С. 539-541. – URL : <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29750>.
2. Отчет по экологической безопасности. Балаковская АЭС, 2017. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/fcc/fccbd124971999bfec951df2dd50c880.pdf>.
3. Отчет по экологической безопасности. Нововоронежская АЭС, 2017. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1b0/1b04fad014abe6ec24d67fb9a4a00753.pdf>.
4. Отчет по экологической безопасности за 2017 г., Ростовская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/35f/35f7e17b9abf95e1ffeb140d7826f1d6.pdf>.
5. Отчет по экологической безопасности за 2016 г., Ростовская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/034/034a3c3bfc22a08df1e0a3a2d1bbe922.pdf>.
6. Отчет по экологической безопасности за 2016 г. Балаковская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/32f/32f34a81a395fb935da468e14b6330da.pdf>.
7. Отчет по экологической безопасности. Нововоронежская АЭС, 2016. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1b2/1b2830f224e6b1393afe2d9ace500153.pdf>.

8. Отчет по экологической безопасности за 2015 г., Нововоронежская АЭС – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/c1a/c1a9cdff7eea78448132932b47c45efc.pdf>.
9. Отчет по экологической безопасности за 2015 г., Балаковская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/130/130d431b5a375c4e240644ae3f6bd543.pdf>.
10. Отчет по экологической безопасности за 2015 г., Ростовская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/179/17965cad094d29bb6b698501edd8fd7f.pdf>.
11. Отчет по экологической безопасности за 2014 г., Нововоронежская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/6b6/6b6eae7d3db0579849a860def016df56.pdf>.
12. Отчет по экологической безопасности за 2014 г., Балаковская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1a7/1a7653fd65d183136e275eac114978b0.pdf>.
13. Отчет по экологической безопасности за 2014 г., Ростовская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/aae/aae24da9ebb12c184ff566087e0d7dbb.pdf>.
14. Отчет по экологической безопасности за 2013 г., Балаковская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/0f6/0f662120a25d325a35411985a116f083.pdf>.
15. Отчет по экологической безопасности за 2013 г., Нововоронежская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/73e/73e3d344ea93c70143cce62a745eec69.pdf>.
16. Отчет по экологической безопасности за 2013 г., Ростовская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1ee/1eeb0081b3d5ca00e92eb866017b9e11.pdf>.
17. Отчет по экологической безопасности за 2013г., Смоленская АЭС. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/fa1/fa19a336e4bfe74dcc19a5216525af23.pdf>.
18. Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2014 г. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/6a7/6a7cb756d40fe10706ab053ae1bef079.pdf>.
19. Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2015 г. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/084/08441b8d3d8ed614f8da3a803aeecb82.pdf>.
20. Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2016 г. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/33d/33da56170eab28956b28eb5e54cf1833.pdf>.
21. Отчет по экологической безопасности Смоленской АЭС за 2017 г. – URL : <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/4a6/4a66b91389b7c2bb59e042577e938139.pdf>.
22. Приказ Министерства сельского хозяйства РФ от 13 декабря 2016 г. N 552 (с изменениями от 12 октября 2018 г., 10 марта 2020 г.). – Система ГАРАНТ. – URL : <http://base.garant.ru/71586774/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/#ixzz6avV7SdG0>.
23. Министерство природных ресурсов и экологии Ростовской области / Экологический вестник Дона. – URL : <https://xn--d1ahaoghbejbc5k.xn--p1ai/projects/19/>.

REFERENCES

- [1] Turetskaya I.V., Potaturkina-Nesterova N.I., Shrol O.Yu., Panteleev S.V., Nemova I.S. Otsenka zagryazneniya tyagely`mi metallami poverhnostny`h vod ozera v ra`one poligona [Assessment of Heavy Metal Pollution of Lake Surface Waters in the Area of the Landfill]. Fundamental`ny`e issledovaniya [Fundamental research]. 2012. № 3-3. P. 539-541 (in Russian).
- [2] Report on Environmental Safety. Balakovo NPP, 2017. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/fcc/fccbd124971999bfec951df2dd50c880.pdf> (in Russian).
- [3] Report on Environmental Safety. Novovoronezh NPP, 2017. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1b0/1b04fad014abe6ec24d67fb9a4a00753.pdf> (in Russian).
- [4] Report on Environmental Safety, 2017, Rostov NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/35f/35f7e17b9abf95e1ffeb140d7826f1d6.pdf> (in Russian).
- [5] Report on Environmental Safety, 2016, Rostov NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/034/034a3c3bfc22a08df1e0a3a2d1bbc922.pdf> (in Russian).
- [6] Report on Environmental Safety, 2016. Balakovo NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/32f/32f34a81a395fb935da468e14b6330da.pdf> (in Russian).
- [7] Report on Environmental Safety. Novovoronezh NPP, 2016 URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1b2/1b2830f224e6b1393afe2d9ace500153.pdf> (in Russian).
- [8] Report on Environmental Safety, 2015. Novovoronezh NPP URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/c1a/c1a9cdff7eea78448132932b47c45efc.pdf> (in Russian).
- [9] Report on Environmental Safety, 2015, Balakovo NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/130/130d431b5a375c4e240644ae3f6bd543.pdf> (in Russian).
- [10] Report on Environmental Safety, 2015, Rostov NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/179/17965cad094d29bb6b698501edd8fd7f.pdf> (in Russian).
- [11] Report on Environmental Safety, 2014, Novovoronezh NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/6b6/6b6eae7d3db0579849a860def016df56.pdf> (in Russian).
- [12] Report on Environmental Safety, 2014, Balakovo NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1a7/1a7653fd65d183136e275eac114978b0.pdf> (in Russian).

- [13] Report on Environmental Safety, 2014, Rostov NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/aae/aae24da9ebb12c184ff566087e0d7dbb.pdf> (in Russian).
- [14] Report on Environmental Safety, 2013, Balakovo NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/0f6/0f662120a25d325a35411985a116f083.pdf> (in Russian).
- [15] Report on Environmental Safety, 2013, Novovoronezh NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/73e/73e3d344ea93c70143cce62a745eec69.pdf> (in Russian).
- [16] Report on Environmental Safety, 2013, Rostov NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/1ee/1eeb0081b3d5ca00e92eb866017b9e11.pdf> (in Russian).
- [17] Report on Environmental Safety, 2013r, Smolensk NPP. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/fa1/fa19a336e4bfe74dcc19a5216525af23.pdf> (in Russian).
- [18] Report on Environmental Safety of Smolensk NPP, 2014. URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/6a7/6a7cb756d40fe10706ab053ae1bef079.pdf> (in Russian).
- [19] Report on Environmental Safety of Smolensk NPP, 2015 URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/084/08441b8d3d8ed614f8da3a803aeeeb82.pdf> (in Russian).
- [20] Report on Environmental Safety of Smolensk NPP, 2016 URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/33d/33da56170eab28956b28eb5e54cf1833.pdf> (in Russian).
- [21] Report on Environmental Safety of Smolensk NPP, 2017 URL: <http://www.rosenergoatom.ru/upload/iblock/4a6/4a66b91389b7c2bb59e042577c938139.pdf> (in Russian).
- [22] Order of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, December 13, 2016 N 552 (as amended on October 12, 2018, March 10, 2020). – GARANT System. URL : <http://base.garant.ru/71586774/53f89421bbdaf741eb2d1ecc4ddb4c33/#ixzz6avV7SdG0> (in Russian).
- [23] Ministry of Natural Resources and Ecology of the Rostov Region / Ecological Bulletin of the Don. – URL : <https://xn--dlahaoghbejbc5k.xn--plai/projects/19/> (in Russian).

Analysis of the Environmental Safety of Copper Ions Delivery to Surface Water Bodies from Nuclear Plants

O.I. Gorskaya^{*1}, I.A. Bublikova^{2}, V.M. Sapelnikov^{**3}**

**Rostov nuclear power plant, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

***Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360*

¹ ORCID iD: 0000-0003-3377-4654

e-mail: gorskaya-oi@vdpnp.rosenergoatom.ru

² ORCID iD: 0000-0002-4857-5271

e-mail: IABublikova@mephi.ru

³ ORCID iD: 0000-0001-5792-5344

e-mail: vsapelnikov@yandex.ru

Abstract – Technogenic pollution of environmental objects determines the relevance of work on the analysis of ensuring environmental safety requirements during the operation of nuclear power plants when copper ions enter water bodies with discharges from nuclear power plants. The paper analyzes the dynamics of both actual discharges of copper ions for Balakovo NPP, Novovoronezh NPP and Smolensk NPP (t / y), and in fractions of the normative permissible discharges for this heavy metal (%). The absence of violations of environmental safety requirements is shown. A more detailed analysis was carried out for the Rostov NPP. It is shown that the modernization of the turbine condenser pipe systems of the power unit No. 1 led to a sharp decrease in the flow of copper ions into the cooling pond from the nuclear power plant. Analysis of the toxicant content dynamics in the water of the cooling reservoir and the Tsimlyansk reservoir did not reveal the effect of the influx of copper ions from the cooling reservoir with filtering water on their concentration in the reservoir water.

Keywords: nuclear power plant, discharges, content of copper ions in water, cooling pond, Tsimlyansk reservoir, pollutant, correlation regression analysis.