

УДК 556.5:574.5

## ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЁННОСТИ ВОДНЫХ МАСС И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВОДОЁМОВ-ОХЛАДИТЕЛЕЙ КАЛИНИНСКОЙ АЭС ТЯЖЁЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

<sup>1</sup>Кузовлев В.В., <sup>2</sup>Григорьева И.Л., <sup>2</sup>Комиссаров А.Б., <sup>2</sup>Чекмарёва Е.А.

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Тверской государственный технический университет», Тверь, e-mail: v\_kuzovlev@mail.ru;

<sup>2</sup>Иваньковская НИС – филиал ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук, Тверская область, Конаково, e-mail: Irina\_Grigorieva@list.ru

Дана гидрохимическая характеристика водоемов-охладителей Калининской АЭС по результатам исследований в 2014 и 2017 гг. Установлено, что воды озер относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации являются пресными, по величинам жесткости – мягкими, по значениям pH – слабощелочными и щелочными. Приведены результаты натурных исследований содержания ряда тяжелых металлов (железо общее, марганец, медь, цинк, свинец, кадмий, хром) в воде и донных отложениях озер-охладителей Калининской АЭС Песво и Удомля, а также фоновых озер Наволок и Кезадра. Исследования выполнялись осенью 2010 г. и летом и осенью 2017 г., отбор проб воды производился из поверхностного горизонта. В 2017 г. предельно допустимые концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов были превышены в воде озер-охладителей для таких ингредиентов, как железо общее, марганец, медь, свинец, цинк. Зафиксировано, что произошло снижение в воде средних концентраций железа общего и меди в 2017 г. по сравнению с 2010 г. Отмечено, что максимальные концентрации железа общего, меди и свинца в воде озер наблюдаются в летний период. Концентрации хрома, кадмия, кобальта, никеля не превышали ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Высокие концентрации железа общего и марганца в воде можно объяснить высокой степенью заболоченности водосборного бассейна. Установлено, что уровень загрязнения ДО водорастворимыми формами металлов – слабый, а экологическая обстановка – допустимая. Вторичное загрязнение воды химическими соединениями возможно в результате взмучивания донных отложений по направлению течений в озерах, в местах сброса сточных вод и впадения притоков.

**Ключевые слова:** Калининская АЭС, тяжелые металлы, водная масса, донные отложения, озера Песво, Удомля, Наволок, Кезадра

## ASSESSMENT OF POLLUTION WITH HEAVY METALS OF WATER AND BOTTOM SEDIMENTS OF THE COOLER-PONDS OF THE KALININ NUCLEAR POWER PLANT

<sup>1</sup>Kuzovlev V.V., <sup>2</sup>Grigoreva I.L., <sup>2</sup>Komissarov A.B., <sup>2</sup>Chekmareva E.A.

<sup>1</sup>Tver State Technical University, Tver, e-mail: v\_kuzovlev@mail.ru;

<sup>2</sup>Ivankovskaya Research Station the Department of Water Problems Institute of Russian Academy of Science, Konakovo, Tver region, e-mail: Irina\_Grigorieva@list.ru

The hydrochemical characteristic of cooler-ponds of Kalinin NPP on the results of studies in 2014 and 2017 were given. It is established that water of lakes belong to the hydrocarbonate class of calcium group, the degree of mineralization is fresh, the quantities of hardness – soft, pH – slightly alkaline and alkaline. The results of field studies of the content of a number of heavy metals (iron, manganese, copper, zinc, lead, cadmium, chromium) in water and bottom sediments of cooler-ponds Pesvo and Udomlya, as well as background lakes Navolok and Kezadra. Studies were carried out in autumn 2010 and summer and autumn 2017, water sampling was carried out at 9 points in the cooling-lakes from the surface horizon. In 2017 the maximum allowable concentration (MAC) for fishery water objects are exceeded in water of the cooling-lakes for such ingredients as iron total, manganese, copper, lead, zinc. It was recorded that there was a decrease in the average concentrations of total iron and copper in water in 2017 compared to 2010. It was noted that the maximum concentrations of total iron, copper and lead in the water of lakes are observed in the summer. Concentrations of chromium, cadmium, cobalt, nickel did not exceed MAC for fishery water bodies. High concentrations of total iron and manganese in water can be explained by the high degree of wetland catchment. It is established that the level of pollution of water-soluble forms of metals and ecological situation-admissible. Secondary pollution of water by chemical compounds is possible as a result of bottom sediments in the direction of currents in lakes, in places of wastewater discharge and inflow.

**Keywords:** Kalinin NPP, heavy metals, water mass, bottom sediments, lakes Pesvo, Udomlya, Navolok, Kezadra

Одним из значительных по действию и наиболее распространенным химическим загрязнением окружающей среды является загрязнение тяжелыми металлами. В качестве токсикантов в водоемах обычно встречаются ртуть, свинец, кадмий, олово, цинк, марганец, никель, медь, которые в определенных концентрациях могут ока-

зывать отрицательное действие на гидробионтов. Оценка загрязненности водных масс и донных отложений (ДО) водоемов тяжелыми металлами важна для оценки их экологического состояния. В условиях теплового загрязнения водоемов токсичность загрязняющих веществ может усиливаться.

Цель исследования: изучение содержания тяжелых металлов в водных массах и донных отложениях озер Песьво и Удомля, которые являются водоемами-охладителями Калининской АЭС.

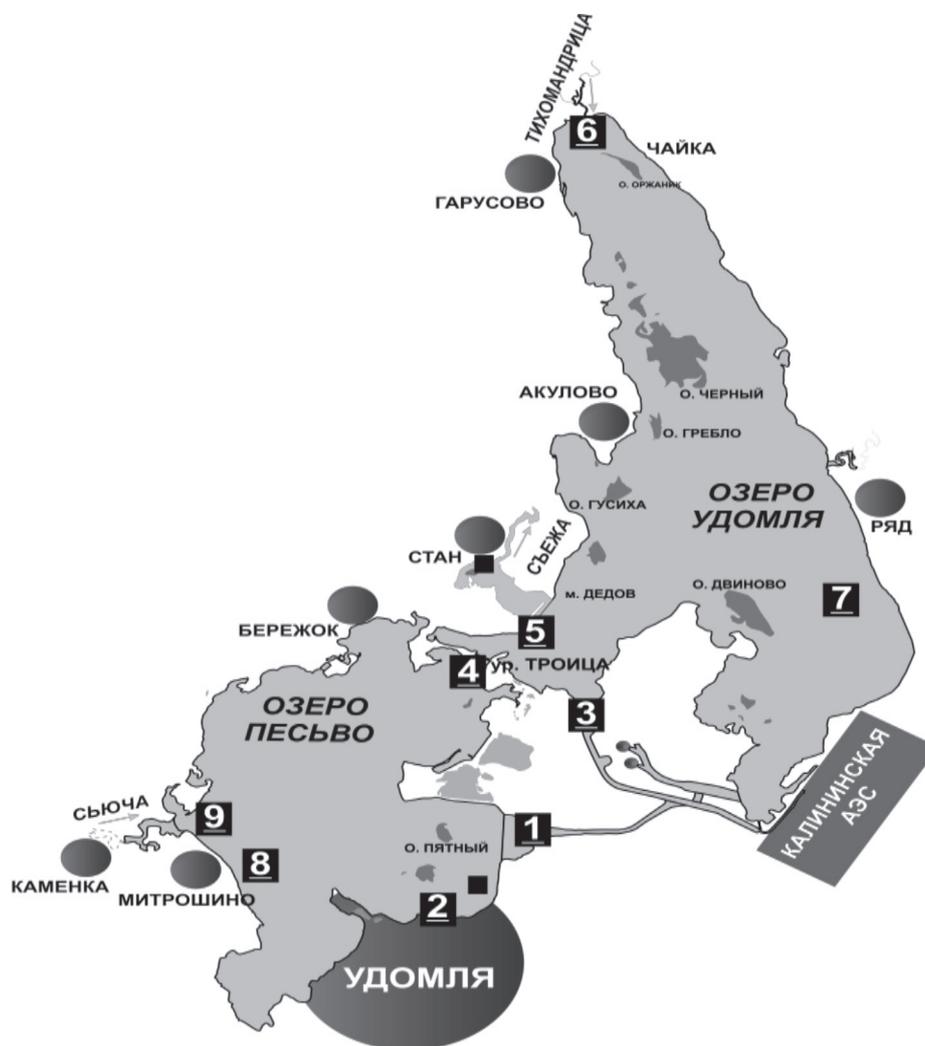
#### Материалы и методы исследования

Оценка загрязненности воды и донных отложений водоемов-охладителей тяжелыми металлами проводилась по результатам исследований, выполненных авторами в сентябре 2010 г. и июле и октябре 2017 г. Пробы воды отбирали из поверхностного слоя воды согласно ГОСТ 31861-2012 [1]. Для отбора проб ДО использовали дночерпатель ДЧ-0.025. Этот

дночерпатель предназначен для отбора смешанной пробы с поверхностного слоя грунта с нарушением стратификации слоев (ГОСТ 17.1.5.01-80 [2]). Всего было отобрано 40 проб воды и 10 проб донных отложений.

Определение металлов в пробах воды и ДО производилось на атомно-абсорбционном спектрофотометре AA-6800F (производитель корпорация SHIMADZU, Япония) в аттестованной химической лаборатории Ивановской НИС – филиале Института водных проблем РАН. Определение макрокомпонентов производилось в той же лаборатории.

Точки отбора проб воды и донных отложений в 2017 г. представлены на рисунке.



Карта-схема озер-охладителей Удомля и Песьво. Точки отбора: пробы воды: 1 – отводящий канал от КАЭС в оз. Песьво; 2 – оз. Песьво, выпуск с о/с г. Удомли; 3 – отводящий канал от КАЭС в оз. Удомля; 4 – протока из оз. Песьво в оз. Удомля, «Троица»; 5 – исток р. Съезжа; 6 – оз. Удомля, «Чайка» (уст. р. Тихомандрицы); 7 – оз. Удомля, о. Двиново; 8 – оз. Песьво, д. Митрошино; 9 – оз. Песьво, д. Каменка (уст. р. Сьюча).

■ – пробы донных отложений: 1 – д. Стан (ист. р. Съезжа), 2 – оз. Песьво, выпуск с о/с г. Удомли

**Результаты исследования  
и их обсуждение**

Калининская АЭС расположена на севере Тверской области, примерно в 120 км от г. Твери. Площадка АЭС находится на южном берегу оз. Удомля, около одноименного города, в 2,7 км восточнее оз. Песьво. Озера соединены между собой прорезью. В озеро Песьво поступают сточные воды от г. Удомли, численность населения которого составляет 29 тыс. чел. Озера также используются для товарного рыборазведения и в рекреационных целях местным населением. Станция состоит из четырех энергоблоков с реакторами типа ВВЭР-1000 электрической мощностью 1000 МВт, которые были введены в промышленную эксплуатацию в 1984, 1986, 2004 и 2011 гг.

Изучение химического состава воды и донных отложений проводилось не только на водоемах-охладителях Калининской АЭС (озерах Песьво и Удомля), но и на фоновых озерах (Наволоки и Кезадра) (табл. 1). Аналогом мелководного озера-охладителя Песьво служит мелководное озеро Наволок, глубоководного озера-охладителя Удомля – глубоководное озеро Кезадра.

Озера Удомля и Песьво соединены между собой короткой протокой (длиной около 100 м и шириной 60 м) и с 1984 г., после строительства Калининской АЭС, используются в качестве единого водоема-охладителя. Водоем носит название водохранилища Калининской АЭС общей площадью водного зеркала 21,2 км<sup>2</sup>. Водосборная площадь водохранилища 400 км<sup>2</sup>.

Исследования авторов в 2010 и 2014 гг. [5–7] показали, что химический состав воды в водоемах-охладителях Калининской АЭС практически однороден по большинству показателей, отличия наблюдаются в районе выпуска коммунально-бытовых и промышленных сточных вод от г. Удомли. На большинстве стан-

ций отмечаются превышения температуры воды относительно естественного фона на 6–10 °С в период открытой воды. Воды озер относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы, по степени минерализации являются пресными, по величинам жесткости – мягкими, по значениям pH – слабощелочными и щелочными. Слабощелочные воды формируются при разложении органических веществ и поступлении угольной и других органических кислот. Кислородный режим благоприятный: концентрация растворенного кислорода постоянно находится выше установленных норм для зимнего (не менее 4 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) и летнего (не менее 6 мгО<sub>2</sub>/дм<sup>3</sup>) периодов. Концентрации биогенных элементов (ионы аммония, нитратов, общего фосфора) и показателей содержания органических веществ (перманганатная (ПО) и бихроматная окисляемость (ХПК), БПК<sub>5</sub>) на большинстве станций не превышают ПДК<sub>рыб-хоз</sub>. Концентрации общего фосфора, аммонийного азота, нитритов и нитратов, значительно превышающие ПДК, наблюдаются в районе выпуска сточных вод от г. Удомля.

Сравнительный анализ гидрохимических характеристик озер-охладителей и оз. Наволок показал, что для водной массы водохранилища Калининской АЭС характерны более высокие значения pH, жесткости, щелочности и минерализации воды, чем в фоновом озере Наволок. В озерах-охладителях концентрации сульфатов примерно в три раза выше, чем в оз. Наволок. Летом концентрации хлоридов в озерах-охладителях выше, чем в оз. Наволок, в 15 раз. Более высокие концентрации железа общего, общего фосфора и нитратов, цветности, ПО и ХПК, наоборот, выше в оз. Наволок, чем в озерах-охладителях. Концентрации нитратов, меди и свинца выше в озерах-охладителях, чем в фоновых озерах. Концентрации цинка и хрома примерно равны во всех озерах.

**Таблица 1**

Параметры озер в районе Калининской АЭС, по [3, 4]

Тип и название водного объекта	Площадь водоема, км <sup>2</sup>	Водосборная площадь, км <sup>2</sup>	Глубина сред./max, м	
Водохранилище КАЭС, в том числе:				
1	Озеро Удомля	10,1	400	10/38
2	Озеро Песьво	6,3	128	2,7/5,2
	Озеро Кезадра	8,7	120	5,6/20,7
	Озеро Наволок	12,5	105	2,3/3,4

В [8] отмечено, что с момента пуска АЭС в озерах-охладителях достоверно увеличились концентрации гидрокарбонатов, сульфатов, кальция и магния и рН, что подтверждено и нашими исследованиями. В 1990-х гг. значения ПО в воде колебались в интервале 7,9–16,3 мгО/дм<sup>3</sup>. По нашим данным значения ПО в озерах в настоящее время варьируют в интервале 11–18 мгО/дм<sup>3</sup>, что ниже, чем в фоновом озере Наволок.

В ходе исследований 2017 г. установлено, что железо переносится водной средой из фоновых озер Наволок и Кезадра (диапазон концентраций от 0,2 до 0,5 мг/дм<sup>3</sup>) с нейтральным рН в слабощелочные воды озер-охладителей Песьво и Удомля (концентрации менее 0,1 мг/дм<sup>3</sup>), где происходит его осаждение.

Исследования показали, что концентрации микроэлементов в поверхностных водах озер изменяются в интервале: меди – от 0,0014 (оз. Кезадра) до 0,0142 (оз. Песьво, д. Митрошино) мг/дм<sup>3</sup>, свинца – от 0,0022 (оз. Кезадра) до 0,0146 (отводящий канал в оз. Песьво; исток р. Съежа) мг/дм<sup>3</sup>, цинка – от 0,0071 (отводящий канал в оз. Удомля) до 0,1292 (оз. Песьво, г. Удомля), хрома от 0,0 (оз. Удомля, о. Двиново) до 0,037 (исток р. Съежа).

Максимальные концентрации железа общего отмечены в северной части оз. Удомля и юго-западной части оз. Песьво (район впадения р. Съючи), а также в озерах Наволок и Кезадра; марганца – в оз. Песьво (район г. Удомля) и оз. Наволок; меди – в оз. Удомля и Песьво по всем точкам наблюдения водных масс, задействованных в цикле охлаждения производственных вод; свинца – в районе очистных сооружений г. Удомли и отводящего канала от АЭС в оз. Песьво, в истоке р. Съежи; цинка –

в районе очистных сооружений г. Удомли и в устье р. Съючи.

Сравнительный анализ микрокомпонентного состава выявил увеличение средних концентраций железа общего, марганца, свинца и цинка в 2017 г. по сравнению с 2010 г. и снижение концентрации меди (табл. 2).

Благодаря высокой температуре и слабощелочному рН в водной среде происходит активная миграция меди, свинца и цинка природного и антропогенного происхождения, концентрации хрома не превышают региональных фоновых концентраций [9].

Механический состав донных отложений озер представлен: заиленными сапропелями мощностью слоя 10–30 см, занимающими площадь около 4 км<sup>2</sup> (38% площади оз. Песьво, 66% – оз. Удомля); серыми илами, распространенными на площади в 3,2 км<sup>2</sup> оз. Песьво (31%); песками площадью 2,8 км<sup>2</sup> на оз. Песьво (27%) и 1,6 км<sup>2</sup> на оз. Удомля (25%); отложениями из макрофитов мощностью слоя 5–30 см на площади около 0,2 км<sup>2</sup> (2%); остальные отложения – затопленные почвы, отторфованный ил, супеси и суглинки. Чаще можно наблюдать сочетание донных отложений, формирующих грунтовые комплексы в устьях рек [10].

Химический анализ проб ДО, отобранных летом 2017 г., показал, что в ДО озер Кезадра и Наволок наблюдались концентрации железа общего в 1,5–6 раз выше, чем в озерах Удомля и Песьво. Концентрации сульфатов в ДО озер Кезадра и Песьво были близки между собой, а в озере Наволок – в 2–4 раза выше по сравнению с остальными озерами. Концентрации хлоридов в оз. Удомля в районе сброса сточных вод от г. Удомля превышали природный фон (оз. Кезадра) более чем в 4 раза.

**Таблица 2**

Микрокомпонентный состав воды озер Песьво и Удомля (в числителе – минимум и максимум, в знаменателе – среднее), 2010 г. [5], 2017 г. [по данным авторов]

Ингредиент	Значение, мг/дм <sup>3</sup>		ПДК <sub>рыб.</sub>
	2010 г.	2017 г.	
Железо общее	$\frac{0,02-0,15}{0,027}$	$\frac{0,04-0,58}{0,119}$	0,1
Марганец	$\frac{0,0006-0,0109}{0,0007}$	$\frac{0,02-0,17}{0,044}$	0,01
Медь	$\frac{0,029-0,038}{0,031}$	$\frac{0,0024-0,0142}{0,010}$	0,001
Свинец	$\frac{0,00008-0,00135}{0,00014}$	$\frac{0,006-0,0146}{0,0099}$	0,006
Цинк	$\frac{0,0022-0,0239}{0,0057}$	$\frac{0,0071-0,1292}{0,0323}$	0,01

**Таблица 3**

Значения (мг/100 г) / коэффициенты (Кс) концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов в пробах донных отложений изученных озер (лето 2017 г.)

Место отбора	Cu	Zn	Fe
оз. Кезадра	0,035/1,0	0,221/5,9	-/5,7
оз. Наволок	0,061/1,7	0,214/5,8	-/-
оз. Песьво/сброс сточных вод	0,615/17,6	0,037/1,0	-/3,7
оз. Удомля/исток р. Съежа	0,103/2,9	0,050/1,4	-/1,0

Выявлено, что в озерах-охладителях в ДО концентрации меди выше, чем в ДО фоновых озер, а концентрации цинка, наоборот, выше в ДО фоновых озер (табл. 3).

Формулы геохимических ассоциаций для исследованных озер:  $Zn_{5,9}-Fe_{5,7}$  (о. Наволок и о. Кезадра),  $Cu_{10,3}-Fe_{2,4}$  (о. Песьво и о. Удомля). Содержание свинца и хрома в донных отложениях в 2017 г. не было обнаружено. Возможно, это связано с отложением этих элементов глубже по профилю распределения донных отложений, а также накоплением их в биоте озер.

В различные годы оценка содержания микроэлементов в донных отложениях озер Удомля и Песьво проводилась путем сравнения концентрации элементов с их средним содержанием в осадочных породах – кларком (2000 и 2002 гг.) [10], либо с использованием фонового содержания в озерах Наволок и Кезадра (2017 г.). Концентрации микроэлементов в ДО в 2017 г. были около или равны кларку (фону) для марганца, молибдена, свинца, селена, олова, меди, цинка, железа общего [10], около или равны для цинка и железа общего.

В 2000 и 2002 г. [10] в ДО были определены концентрации цинка, бериллия, кадмия, а в 2017 г. меди выше кларка (фона).

Согласно суммарному показателю загрязнения  $Z_c$ , отражающему аддитивное превышение фонового уровня группой ассоциирующихся элементов, уровень загрязнения ДО подвижными формами металлов – слабый, а экологическая обстановка – допустимая [9].

### Выводы

В озерах Песьво и Удомля формируется особый гидрохимический режим, характерный для природно-техногенных объектов. Слабощелочные, подогретые воды озер с высокими концентрациями главных ионов (гидрокарбонатов, кальция, магния, сульфатов и хлоридов) создают условия для активной миграции меди, свинца и цинка, осаждения железа.

Анализ микрокомпонентного состава воды и донных отложений озер Песьво и Удомля за 2010 и 2017 гг. (табл. 2) показал, что:

– предельно допустимые концентрации (ПДК) для рыбохозяйственных водоемов

превышены в воде озер-охладителей Калининской АЭС для таких ингредиентов, как: железо общее, марганец, медь, свинец, цинк;

– произошло снижение в воде средних концентраций железа и меди в 2017 г. по сравнению с 2010 г.

– максимальные концентрации железа, меди и свинца наблюдаются в летний период;

– превышения концентраций хрома (2017 г.), кадмия, кобальта, никеля (2010 г.) в сравнении с ПДК<sub>рыб</sub> не наблюдается.

– поступление железа и марганца связано с природными источниками, в данном случае – заболоченностью водосборной территории.

– уровень загрязнения ДО водорастворимыми формами металлов – слабый, а экологическая обстановка – допустимая;

– возможно вторичное загрязнение воды химическими соединениями посредством взмучивания донных отложений по направлению течений в озерах, в местах сброса сточных вод и впадения рек.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Администрации Тверской области в рамках научного проекта № 17-45-690600.*

### Список литературы

1. ГОСТ 31861-2012 Вода. Общие требования к отбору проб. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2013. – 60 с.
2. ГОСТ 17.1.5.01-80. Гидросфера. Общие требования к отбору проб донных отложений водных объектов для анализа на загрязненность. – М.: Изд-во Госстандарт, 1980. – 7 с.
3. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблоков № 2, 3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной, г. Удомля, 2013. – 333 с.
4. Государственный водный реестр. URL: <http://www.textual.ru/gvr/> (дата обращения: 10.02.2018).
5. Оценка современного состояния качества воды водоемов-охладителей Калининской АЭС / И.Л. Григорьева [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 2. – С. 66–69.

6. Григорьева И.Л. Влияние Калининской АЭС на термический и гидрохимический режимы и состояние сообществ фитопланктона водоемов-охладителей / И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров, Е.А. Чекарёва // Ледовые и термические процессы на водных объектах России: труды V Всероссийской конференции (Владимир: Изд-во РГАУ-МСХА, 11–14 октября 2016 г.). – Москва. 2016. – С. 101–106.

7. Комиссаров А.Б. Гидрохимическая характеристика воды и состояние сообществ фитопланктона водоемов-охладителей Калининской АЭС в 2014 г. / А.Б. Комиссаров, И.Л. Григорьева, Е.А. Чекарёва // Качество воды. Геоэкология: труды VI межд. науч.-практ. конф. (г. Пермь 29 мая – 1 июня 2017 г.). – Пермь: Изд-во Перм. гос. нац. исслед. ун-та, 2017. – Т. 2. – С. 86–91.

8. География Удомельского района. – Тверь: Изд-во РИУ Тверского университета, 1999. – 356 с.

9. Кузовлев В.В. Влияние крупных объектов теплоэнергетики Тверской области на современное гидроэкологическое состояние водоемов-охладителей / В.В. Кузовлев, И.Л. Григорьева, А.Б. Комиссаров, Е.А. Чекарёва // Труды региональных научных проектов Тверской области 2017 года в сфере фундаментальных исследований: сборник научн. трудов. – Тверь: Изд-во Твер. гос. ун-та, 2017. – С. 35–69.

10. Тихомиров О.А. Мониторинг экологического состояния донных отложений водоема-охладителя Калининской АЭС / О.А. Тихомиров, Л.К. Тихомирова // Вестник Тверского государственного университета. Серия: география и геоэкология. – 2007. – № 3. – С. 33–42.

### References

1. GOST 31861-2012 Voda. Obshhie trebovaniya k otboru prob. – М.: Изд-во Standartinform, 2013. – 60 p.

2. GOST 17.1.5.01-80. Gidrosfera. Obshhie trebovaniya k otboru prob donny'x otlozhenij vodny'x ob'ektov dlya analiza na zagryaznennost'. – М.: Изд-во Gosstandart, 1980. – 7 p.

3. Predvaritel'ny'e materialy' po ocenke vozdejstviya na okruzhayushhuyu sredu e'ksploatatsii e'nergoblokov № 2, 3

Kalininskoy AE'S na moshhnosti reaktornoj ustanovki 104% ot nominal'noj, g. Udomlya, 2013. – 333 p.

4. Gosudarstvenny'j vodny'j reestr. URL: <http://www.http://textual.ru/gvr/> (data obrashheniya: 10.02.2018).

5. Ocenka sovremennogo sostoyaniya kachestva vody' vodoyemov-oxladitelej Kalininskoy AE'S / I.L. Grigor'eva [i dr.] // Promy'shlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – № 2. – pp. 66–69.

6. Grigor'eva I.L. Vliyanie Kalininskoy AE'S na termicheskij i gidroximicheskij rezhimij i sostoyanie soobshhestv fitoplanktona vodoemov-oxladitelej / I.L. Grigor'eva, A.B. Komissarov, E.A. Chekmareva // Ledovy'e i termicheskie processy na vodny'x ob'ektax Rossii: trudy V Vserossijskoj konferencii (Vladimir: Izd-vo RGAU-MSXA, 11–14 oktyabrya 2016 g.). – Moskva. 2016. – pp. 101–106.

7. Komissarov A.B. Gidroximicheskaya karakteristika vody' i sostoyanie soobshhestv fitoplanktona vodoemov-oxladitelej Kalininskoy AE'S v 2014 g. / A.B. Komissarov, I.L. Grigor'eva, E.A. Chekmareva // Kachestvo vody'. Geo'kologiya: trudy VI mezhd. nauch.-prakt. konf. (g. Perm' 29 maya – 1 iyunya 2017 g.). – Perm': Izd-vo Perm. gos. nacz. issled. un-t. 2017. – T. 2. – pp. 86–91.

8. Geografiya Udomel'skogo rajona. – Tver': Izd-vo RIU Tverskogo universiteta, 1999. – 356 p.

9. Kuzovlev V.V. Vliyanie krupny'x ob'ektov teploe'nergetiki Tverskoj oblasti na sovremennoe gidro'kologicheskoe sostoyanie vodoemov-oxladitelej / V.V. Kuzovlev, I.L. Grigor'eva, A.B. Komissarov, E.A. Chekmareva // Trudy regional'ny'x nauchny'x projektov Tverskoj oblasti 2017 goda v sfere fundamental'ny'x issledovanij: sbornik nauchn. trudov. – Tver': Izd-vo Tver. gos. un-ta, 2017. – pp. 35–69.

10. Tixomirov O.A. Monitoring e'kologicheskogo sostoyaniya donny'x otlozhenij vodoema-oxladitelya Kalininskoy AE'S / O.A. Tixomirov, L.K. Tixomirova // Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: geografiya i geo'kologiya. – 2007. – № 3. – pp. 33–42.