

Физическая география и геоэкология

УДК 550.4+574

DOI: <https://doi.org/10.26456/2226-7719-2023-1-5-15>

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ВЛИЯНИЯ КАЛИНИНСКОЙ АТОМНОЙ СТАНЦИИ НА ТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ

О.А. Тихомиров

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

Дан анализ термического режима водоема-охладителя за весь период существования Калининской атомной станции. Установлены основные этапы формирования гидротермического режима под влиянием воздействия теплых вод атомной станции.

***Ключевые слова:** термический режим, тепловое воздействие, водоем-охладитель атомная станция, этапы влияния.*

Постановка проблемы

Калининская атомная станция – крупнейший производитель электроэнергии в Центральной части России. На долю станции приходится 74% всей вырабатываемой электроэнергии в Тверской области [1].

Строительство Калининской АЭС сопровождалось созданием водоема-охладителя (Удомельского водохранилища) за счет перекрытия плотиной р.Съежи. Искусственный водоем, включающий два плеса (оз.Удомлю и оз. Песьво) используется с целью технического водоснабжения и в качестве поглотителя тепла.

Система мониторинга, направленная на оценку воздействия АЭС на водные экосистемы региона, существует более 35 лет, включает 12 гидрологических створов, на каждом из которых от 3 до 7 пунктов наблюдения. Полученные за этот срок данные позволяют выявить изменения термического режима озер Песьво и Удомля, связанные с пуском в строй атомной электростанции.

Целью работы является обобщение полученных данных и установление изменений термического режима водоема-охладителя за срок существования Калининской атомной станции.

В настоящей работе использованы фондовые материалы по экологическому мониторингу окружающей среды в районе Калининской атомной станции, материалы Министерства природных ресурсов и

© Тихомиров О.А., 2023

экологии Тверской области и Тверского областного центра мониторинга окружающей среды [1, 2, 6, 7].

Результаты исследования

До пуска в строй АЭС гидрометеорологические наблюдения проводились на водомерных постах, расположенных на озерах Песьво, Удомля, Наволок, Кезадра, а также устьевых участках малых рек (Тихомандрица, Овсянка) и истока р. Съежы.

В этот период озера находились в естественных условиях и характеризовались типичным для региона гидротермическим режимом, с четко выраженной сезонностью. Основную роль в формировании температурного режима озер до начала строительства АЭС играли климатические условия. С конца октября и до начала апреля на озерах наблюдался устойчивый ледяной покров.

Среднемноголетние значения температуры поверхностного слоя воды (°С) в летние месяцы в течении 10 лет, предшествующих введению в строй АЭС, в озерах Песьво и Удомля составляли $18,5 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$ и $18,3 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$. Пределы колебаний среднемноголетних температур воды не превышали соответственно $21,8 - 27,0^{\circ}\text{C}$ и $23,2 - 26,8^{\circ}\text{C}$ (табл.1). При этом в фоновых озерах Наволок и Кезадра эти параметры укладывались в показатели $18,3 - 19,0 \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ и $22,4 - 28,6^{\circ}\text{C}$.

Таблица 1

Среднемноголетние и максимальные значения температуры поверхностной воды (°С) в летние месяцы в водных объектах Удомельского района до строительства Калининской АЭС [1,6]

Показатель	Озера		Реки		
	Наволок	Кезадра	Съежа	Тихомандрица	Овсянка
Средняя многолетняя температура, °С	$19,0 \pm 1,7$	$18,3 \pm 1,6$	$18,2 \pm 2,1$	$18,7 \pm 1,5$	$16,4 \pm 1,3$
Диапазон максимальных значений температур, °С	22,4-28,6	24,0–27,4	22,1 – 26,1	23,6– 27,4	21,3– 23,2

1-й этап. С пуском первого энергоблока атомной станции термический режим озер Песьво и Удомля претерпел существенные изменения. Период с 1984 по 1986 гг. следует определить, как переходный с неустановившимся температурным режимом. На этом этапе шло становление гидрологического и термического режима водоема-охладителя.

После пуска первого блока АЭС в 1984 г. естественный гидрологический режим озер претерпел значительные изменения. Созданное водохранилище стало осуществлять регулирование стока с поддержанием нормального подпорного уровня нового водоема 156,25 м БС. Подъем уровня воды привел к некоторому увеличению площади водного зеркала. Затопление части береговой зоны обеспечило формирование мелководных аквальных комплексов с присущими для литорали особыми температурными условиями.

При сбросе сточных вод температура воды в водоеме-охладителе не должна превышать более чем на 5°C по сравнению с естественной, с общим повышением температуры не более чем до 20°C летом и 5°C зимой (для водных объектов, где обитают холодолюбивые рыбы) [1].

В этот период сточные воды АЭС поступали в основную часть оз. Песьво, разогревая водную массу. Процесс остывания шел медленно, температура воды в среднем понижалась всего на 0,5 – 1,0°C и водоем в целом ощущал существенный перегрев в летнюю межень, даже в своей глубоководной части в условиях пелагиальных аквальных комплексов. В результате теплового воздействия станции в зимнее время стали проявляться нарушения ледяного покрова.

2-й этап. В 1986 г. вошел в строй 2-й блок АЭС и факторы воздействия на термический режим водоемов-охладителей приобрели ежегодную относительную стабильность.

Антропогенное воздействие на термический режим водоема в этот период определялось, прежде всего, сбросными водами двух блоков АЭС, максимальный расход которых достигал 350 000 м³/час. После охлаждения агрегатов теплые воды поступали в юго-восточную часть акватории оз. Песьво. Кроме того, в водоем сбрасывались хозяйственно-бытовые сточные воды (выпуск №1) г. Удомля. Важно отметить, что в этот период теплые воды АЭС в оз. Удомля не сбрасывались [1].

Становление уровня режима водохранилища и цикла работы 2-х блоков АЭС сопровождалось стабилизацией гидротермического режима водоема-охладителя. В этот период разогретые воды по сбросному каналу поступали в оз. Песьво. Поэтому особенностью второго этапа формирования термического режима водоема-охладителя является высокая тепловая нагрузка на мелководный плес этого озера. Здесь термика водной массы существенно отличалась от термического режима фоновых озер Удомельского района. Было установлено, что максимальное тепловое воздействие в течение всего года ощущала в основном южная часть плеса. Особенно сильно изменился термический режим водной массы в зимнюю межень. Здесь норматив (+8°C) по среднемесячным показателям превышался на 2–3°C. В летнюю межень температуры приближались к нормативным, однако в отдельные периоды могли достигать +29–30°C и более градусов [1, 3].

Анализ полевых наблюдений показал, что произошло изменение сезонного хода температуры воды. Зимой практически вся акватория оз. Песьво не замерзала. Средняя температура воды в зимнюю межень составляла $8,2 \pm 1,6^\circ\text{C}$, а в летнюю межень – $25,6 \pm 2,4^\circ\text{C}$. Наиболее высокие температуры в течение года наблюдались в юго-восточной части озера.

В контрольном створе выпуска теплых вод АЭС зимой температура воды в среднем составляла $11,1 \pm 1,5^\circ\text{C}$, что выше установленного норматива. Летом средняя температура в этом створе составляла $28,2 \pm 2,3^\circ\text{C}$, что выше, чем температура поверхностного слоя воды в оз. Наволок ($20,2 \pm 3,0^\circ\text{C}$). Максимальные значения температуры воды находились в диапазоне от $30,4$ до $35,4^\circ\text{C}$ [1, 3, 4, 5].

Годовой ход температуры на большей части акватории плеса оз. Удомля был близок к озерам-аналогам. В этот период озеро находилось под относительно слабым отепляющим воздействием станции. В зимнюю межень среднемесячные температуры воды в среднем составляли $+4,8^\circ\text{C}$, а летом были существенно ниже ($15\text{--}20^\circ\text{C}$), чем в оз. Песьво. В целом термический режим оз. Удомля был близок к термическому режиму фоновых озер региона.

Глубокая перестройка теплового режима проявилась в формировании в водохранилище трех зон с водными массами, разного уровня разогрева: сильного, умеренного и слабого, с проявлениями температурных различий как в поверхностных, так и придонных слоях воды (табл. 2, 3) [1, 4, 5]. Максимальный перегрев был приурочен к юго-восточной части плеса оз. Песьво в районе сброса сточных вод. Залив в этой части водоема оказался в условиях умеренного, а остальная акватория в области слабого воздействия. В зоне сильного влияния температура поверхностных вод изменялась от $21,4$ до $24,3^\circ\text{C}$, в зоне умеренного влияния от $18,2$ до $21,6^\circ\text{C}$ и слабого влияния – от $16,2$ до $17,9^\circ\text{C}$. Максимальные температуры за 5 лет в протоке между озерами достигали $27,5\text{--}32,4^\circ\text{C}$.

В летнюю межень температуры в контрольном створе составили за пять лет $28,3 + 2,3^\circ\text{C}$, что на $3,7^\circ\text{C}$ выше, чем средняя температура воды в системе озер в целом ($24,5 + 2,0^\circ\text{C}$). Максимальные же температуры в контрольном створе оз. Песьво достигали $30,4\text{--}35,4^\circ\text{C}$.

Особенно заметно изменение температурного режима проявилось в зимнее время. В этот период значительная часть акватории оз. Песьво не замерзала, а средняя температура составляла $8,2 + 1,2^\circ\text{C}$.

Наименьшее тепловое воздействие проявлялось в окраинных частях Удомельского водохранилища, удаленных от сбросного канала. Здесь температуры придонных слоев изменялись от $7,1$ до $10,9^\circ\text{C}$. Они были более чем на $5\text{--}10^\circ\text{C}$ ниже, чем в условиях сильного воздействия АЭС. В средней зоне температурные колебания составляли $11,1\text{--}16,1^\circ\text{C}$

и самые высокие показатели температур воды отмечались в условиях сильного отепляющего влияния ($16,7 - 20,5^{\circ}\text{C}$).

Наиболее близкий к естественным условиям в этот период был температурный режим акватории оз. Удомля. В летнюю межень температура воды составляла здесь $21,9 \pm 2,7^{\circ}\text{C}$. На глубинных участках установилась ярко выраженная температурная стратификация. В то же время в основной части оз. Песьво в течение всего года температурная стратификация была очень слабой.

Разогретые воды достигали р. Съежи, что привело к частичному изменению термического режима реки. В летнюю межень средняя температура воды в истоке стала составлять $22,0 \pm 2,3^{\circ}\text{C}$, что примерно на 4°C выше, чем до строительства станции ($18,2 \pm 2,1^{\circ}\text{C}$). В естественных условиях колебания средней температуры воды зимой в реке составляли $0,5 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, а после введения в строй АЭС достигли $2,4 \pm 1,1^{\circ}\text{C}$ [1, 5].

Таблица 2

Среднегодовое и максимальные значения температуры поверхностной воды ($^{\circ}\text{C}$) в летние месяцы в Удомельском водохранилище [1, 3, 4, 5]

Показатель	Плеса Удомельского водохранилища	
	оз.Песьво	оз.Удомля
Средняя многолетняя температура	$18,5 \pm 1,8^{\circ}\text{C}$	$18,3 \pm 2,0^{\circ}\text{C}$
Пределы максимальных значений температур	$21,8 - 27,0^{\circ}\text{C}$	$23,2 - 26,8^{\circ}\text{C}$

Таблица 3

Диапазон изменения температуры воды в зонах термического влияния водохранилища-охладителя КАЭС

Слой воды	Диапазон изменения температуры воды ($^{\circ}\text{C}$) в зонах теплового воздействия КАЭС		
	Сильного влияния	Умеренного влияния	Слабого влияния
Поверхностный слой, $^{\circ}\text{C}$	$21,4 - 24,3$	$18,2 - 21,6$	$16,2 - 17,9$
Придонный слой, $^{\circ}\text{C}$	$16,7 - 20,5$	$11,1 - 16,1$	$7,1 - 10,9$

3-й этап – становления термического режима в условиях 3-х блоков (с ноября 2004 г.).

С введением в эксплуатацию 3-го блока АЭС увеличился объем сбрасываемых вод в водохранилище. Анализ фоновых материалов свидетельствует о существенном воздействии АЭС на термический режим и экосистемы озер Удомля и Песьво.

Измерение температуры воды показало [1, 3, 4], что значительно возросла тепловая нагрузка. Так в мае 2005 г. температура воды в оз. Песьво в среднем увеличилась по сравнению с аналогичным периодом до пуска 3-го энергоблока на 7,4 °С, достигая на отдельных участках 23 °С. В оз. Удомля теплые воды проникали слабо и в летний период температурный режим озера определялся метеорологическими факторами и был близок к режиму в условиях работы 2-х блоков АЭС.

Особенностью этого периода является введение в строй двух испарительных градирен, деятельность которых направлена уменьшение тепловой нагрузки на водоем. При прохождении через градирни температура воды понижается на 5–7 °С. Кроме того, в 2006 г. была введена в эксплуатацию система распределения потока сбросных вод. Новая система включала 3 канала, отводящие теплые воды в озера Песьво и Удомля. При этом в оз. Песьво сбрасывалось около 30% сточных вод, а остальные – в оз. Удомля [6, 7].

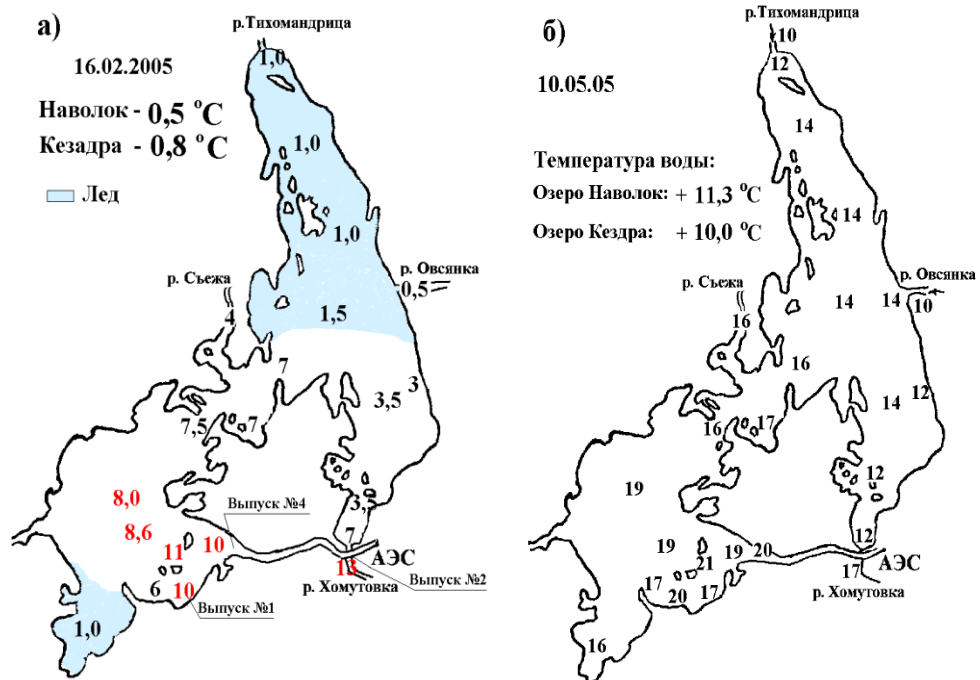


Рис. 1. Изменение температуры поверхностного слоя воды в водоеме-охладителе зимой (а), в паводок (б) 2005 г. [5, 6]

В 2005 г. температура поверхностного слоя воды зимой в контрольном створе выпуска вод АЭС и на большей части акватории оз. Песьво была выше +8 °С (8–11 °С) (рис. 1). Исключение составляла покрытая льдом юго-западная часть водоема. В весенний паводок

температура воды здесь колебалась от +16 до 21°C, что более, чем на 5°C выше по сравнению с температурой поверхностного слоя воды в озерах-аналогах. В плесе оз. Удомля этот показатель изменялся от 12 до 17°C, а в оз. Кезадра составил +10°C.

Таким образом, анализ фондовых данных по температуре поверхностного слоя воды свидетельствуют о том, что этот показатель в месте выпуска сточных вод АЭС в оз. Песьво зимой значительно превышал нормативные требования [7]. Во время паводка температура воды на большей акватории плеса оз. Удомля также оказалась на 2–4 °C выше, чем в оз. Кезадра, что можно связать с поступлением теплых вод через протоку из оз. Песьво.

Температуры воды в плесе оз. Песьво при сбросе теплых вод АЭС существенно изменились и превышали нормативные требования в зимний период. При этом изменения захватили всю массу водной среды водохранилища.

За период эксплуатации АЭС гидротермический режим в месте истока р. Съежи претерпел заметные изменения. До строительства станции колебания многолетней температуры воды зимой в среднем составляли $0,5 \pm 0,3^\circ\text{C}$, а в течение периода 2000–2005 гг. – $2,4 \pm 1,1^\circ\text{C}$. За пять лет средняя температура воды летом в истоке Съежи составляла $2,0 \pm 2,3^\circ\text{C}$, что примерно на 4°C выше норматива.

Наиболее заметные изменения в оз. Удомля отмечены в районе протоки, соединяющей его с плесом Песьво. Северная часть озера осталась в условиях близких к естественному режиму.

Итогом введения в строй 3-го блока АЭС, градирен и новой системы водоотведения стало незначительное снижение средних температур воды в оз. Песьво и заметный подъем температур в оз. Удомля, превышающий в зимний период допустимые значения [5].

4-й этап. Современный термический режим Удомельского водохранилища формируется под воздействием 4-х энергоблоков АЭС. В промышленную эксплуатацию 4-й блок принят в сентябре 2012 г.

В настоящее время все четыре блока АЭС работают на уровне 104% от номинальной тепловой мощности. Эксплуатация станции на повышенном уровне мощности позволяет вырабатывать дополнительный объем электроэнергии. Одновременно проведены необходимые работы по соблюдению требований безопасности на предприятии [6, 7].

В этот период основным антропогенным фактором в водоеме продолжает оставаться тепловое загрязнение. Вода при охлаждении агрегатов нагревается на 8–10°C, направляется в сбросный канал, где на открытом воздухе понижает свою температуру на 0,5–1,0°C. Затем вода проходит через градирни и охлаждается еще на 5–7°C, после чего сбрасывается в оз. Песьво [4, 5]. Далее теплые воды за счет течений

проходят через акваторию и поступают в оз. Удомля, несколько изменяя термический режим центральной части озера (рис. 2). Окраинные участки водоема-охладителя менее значительно прогреваются за счет сточных вод. Наименьшее влияние тепловых сбросов проявляется в аквальных комплексах заливов южной части акватории оз. Песьво и северной части оз. Удомля.

Повышение температуры воды в водоеме-охладителе по сравнению с естественной в наиболее жаркую декаду составляет более 6°C, что говорит о значительной степени нагрева воды.

Для целей снижения температуры в 2011 г. был создан канал в верховьях оз. Удомля, что позволило увеличить длину пути водного потока по акватории для усиления процесса охлаждения [4, 5, 7]. Тем не менее, вода в районе протоки (в период с 2011 по 2020 гг.) продолжает иметь более высокие температуры, чем в естественных условиях, прежде всего, это наблюдается в зимние месяцы года.

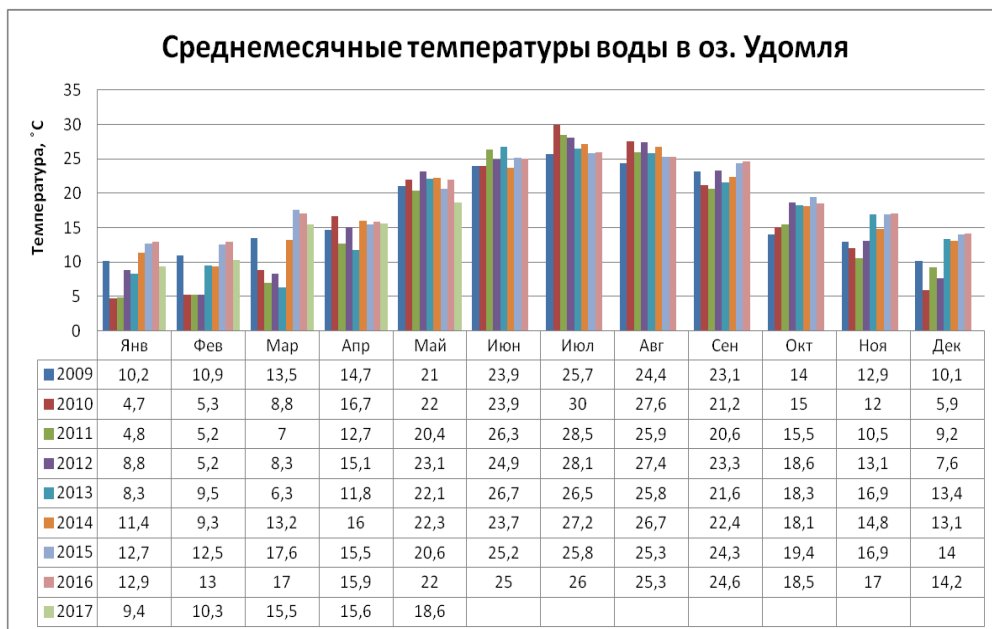


Рис. 2. Среднемесячные температуры воды в плесе оз. Удомля

Наблюдения показали, что при работе 4-х блоков произошло изменение зон влияния в пределах озер-охладителей. В поверхностном и придонном слоях воды развилась новая зона отепляющего воздействия в юго-западной части и частично северной части оз. Удомля. Увеличилась зона умеренного разогрева в месте, прилегающем к участку сброса вод градирен в центральной части плеса и в юго-западной части озера. При этом существенного роста температур на основной акватории озера не произошло.

Наблюдается незначительное повышение температурных показателей в зоне слабого воздействия. В глубоководных слоях сохраняется температурная стратификация близкая к естественной. Выявлено сокращение площади сильного подогрева поверхностных и придонных вод в плесе оз. Песьво. В то же время сохраняются условия для образования полыньи в зимнее время, часть акватории остается свободной ото льда за счет поступления теплых вод.

Выводы

Таким образом, за срок существования Удомельского водохранилища выделяются 4 этапа формирования температурного режима водоема-охладителя Калининской АЭС.

Первый этап связан со строительством плотины на р. Съеже, созданием водохранилища и становлением нового гидрологического режима водоема. Изменение уровня режима, затопление части береговой зоны привело к формированию мелководных аквальных комплексов с присущим им особым температурным режимом. На этом этапе начинаются первичные изменения термического режима основного объема водохранилища, связанные с началом работы первого энергоблока АЭС и поступлением потока подогретой воды в водоем-охладитель.

Второй этап формирования термического режима водоема-охладителя определялся высокой тепловой нагрузкой на мелководное оз. Песьво за счет воздействия двух блоков станции. В это время наблюдались существенные отличия термического режима водоема от фоновых озер региона по сезонам. В пределах водохранилища сформировались 3 зоны (сильного, умеренного и слабого) влияния теплых вод. При этом максимальное тепловое воздействие в течение всего года ощущала южная часть озера Песьво. Особенно сильно изменился термический режим в зимнюю межень. По среднемесячным показателям норматив превышался на 2–6°C. Значительная часть озера Песьво перестала покрываться льдом.

На третьем этапе после ввода в строй 3-го блока АЭС изменения усилились. Температура воды в плесе оз. Песьво при сбросе теплых вод АЭС стала существенно превышать нормативные требования, особенно в зимний период. Проявились заметные изменения температур водной массы плеса оз. Удомля в районе протоки, соединяющей его с оз. Песьво. Северная часть акватории оз. Удомли осталась в условиях близких к естественному режиму.

На четвертом этапе современный термический режим водоема-охладителя формируется под влиянием 4-х энергоблоков. Новые условия привели к перераспределению зон теплового воздействия в водоем-охладителе. Произошло некоторое сокращение площади сильного подогрева на акватории оз. Песьво. Одновременно, появилась новая зона

теплых вод в юго-западной и частично северной частях оз. Удомля и увеличилась зона умеренного теплового воздействия в юго-западной части озера.

Список литературы

1. Анализ и обобщение данных полевых наблюдений на озерах-охладителях КЛНАЭС за 1992-1994 гг. // Текущая гидролого-экологическая оценка состояния озер Песьво и Удомля и выявление неблагоприятного воздействия на здоровье населения применительно к задачам эксплуатации 1-ой очереди КЛНАЭС. СПб: ГГИ, 2001. 345 с.
2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды в Тверской области в 2019 году». Тверь: МПРИЭ Тверской области. 2020. 179 с.
3. Печкуров А.В. Материалы обоснования лицензии на осуществление деятельности в области использования атомной энергии. Эксплуатация энергоблока №4 Калининской АЭС в 18-месячном топливном цикле на уровне мощности реакторной установки 104% от номинальной, книга 2. Удомля–Тверь. 2017. 572 с.
4. Сушко В.А. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока №2,3 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной. Удомля–Тверь, 2013. 333 с.
5. Сушко В.А. Предварительные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока №1 Калининской АЭС на мощности реакторной установки 104% от номинальной. Удомля–Тверь, 2014. 415 с.
6. Отчет об экологической безопасности за 2017 год // Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Калининская атомная станция». Удомля–Тверь: ПолиПРЕСС. 2017. 36 с.
7. Отчет по экологической безопасности за 2018 год // Филиал АО «Концерн Росэнергоатом» «Калининская атомная станция». Удомля–Тверь: ПолиПРЕСС. 2019. 48 с.

Об авторе:

ТИХОМИРОВ Олег Алексеевич – доктор географических наук, профессор кафедры физической географии и экологии. ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет» (170021, г. Тверь-21, Прошина, д. 3 корп.2, e-mail: tikhomirova@mail.ru) ORCID: 0000-0002-6564-2077, SPIN-код: 2586-8054.

THE MAIN STAGES OF THE INFLUENCE OF THE KALININ NUCLEAR POWER PLANT ON THE THERMAL REGIME OF THE COOLING RESERVOIR

O.A.Tikhomirov

Tver State University, Tver

The analysis of the thermal regime of the cooling reservoir for the entire period of existence of the Kalinin nuclear power plant is given. The main stages of the formation of the hydrothermal regime under the influence of the influence of warm waters of the nuclear power plant are established.

Keywords: *thermal regime, thermal effect, cooling pond, nuclear power plant, stages of influence*

Рукопись поступила в редакцию 12.01.2023

Рукопись принята к печати 20.01.2023