

В.А. Земцов, Д.А. Вершинин, А.Л. Дубцов, А.С. Тарасов

**ВЛИЯНИЕ УРАБАНИЗАЦИИ НА ДЕГРАДАЦИЮ ОЗЕР И РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ЕЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕРА БЕЛОЕ В ЧЕРТЕ
Г. ТОМСКА)**

V.A. Zemtsov, D.A. Vershinin, A.L. Dubtsov, A.S. Tarasov

**INFLUENCE OF URBANIZATION ON DEGRADATION OF LAKES AND
RECOMMENDATIONS FOR ITS PREVENTION (THE WHITE LAKE
IN THE CITY OF TOMSK AS A CASE STUDY)**

Показано, как озеро за несколько столетий полностью изменилось под влиянием антропогенных факторов. Определены морфометрические характеристики озера. Дана оценка водного баланса озера в прежнем и в современном состоянии. Предложены рекомендации для предотвращения дальнейшей деградации озера и направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: Белое озеро, Томск, морфометрические показатели, водный баланс, антропогенные воздействия.

It is shown how the lake has been completely changed under the influence of anthropogenic factors during some last centuries. The morphometric parameters of the lake have been determined. An estimation of the water balance of the lake in the former and present state is presented. Recommendations to prevent ongoing degradation of the lake and directions for further research have been proposed.

Key words: White Lake, the city of Tomsk, morphometric parameters, water balance, anthropogenic influences.

Работа по исследованию исторического водного объекта в г. Томске — оз. Белого проводилась кафедрой гидрологии Томского государственного университета с целью определения его происхождения, морфометрических характеристик и водного баланса для планирования мероприятий по предотвращению дальнейшей деградации озерной экосистемы. В статье излагаются результаты этой работы.

Физико-географические условия и история озера

Белое озеро расположено на территории г. Томска. Климат в его бассейне континентально-циклонический. Средняя годовая температура воздуха составляет — 0,5°С, годовые осадки — около 600 мм [4].

Оз. Белое находится в бассейне р. Ушайка, правого притока р. Томь. Это один из самых крупных водоемов на поверхности междуречной равнины в черте города. Котловина водоема предположительно имеет провальное происхождение [5]. Посреди водоема находился остров (по-видимому, сложенный органическим грунтом). Раньше оз. Белое питалось подземными водами, на его песчаном дне били ключи. Из него вытекала речка Белая, впадавшая в р. Ушайка, о чем свидетельствуют архивные источники.

К настоящему времени котловина сильно изменена искусственным путем: изначально прямоугольная, она стала почти идеально круглой (рис. 1, 2). Ложе водоема сейчас блюдцеобразное, рельеф дна ровный.

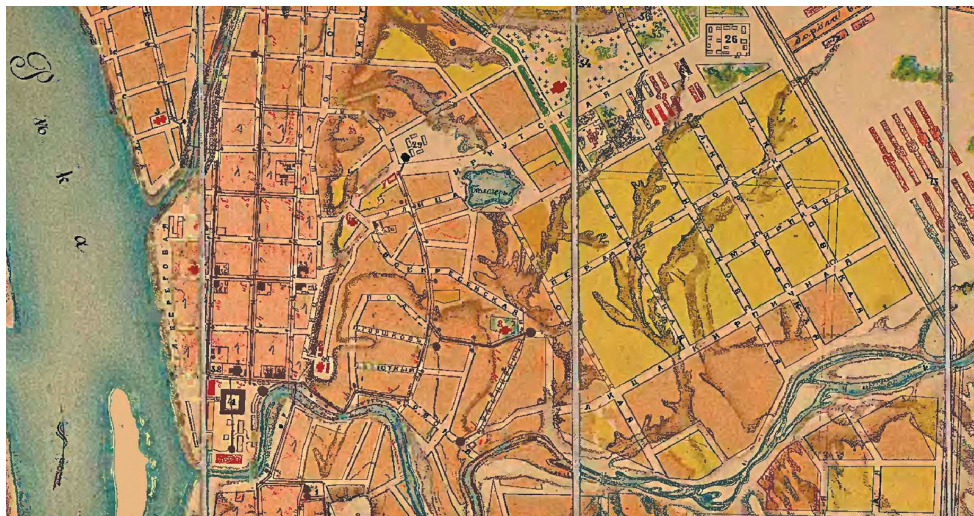


Рис. 1. Фрагмент плана г. Томска 1872 г.

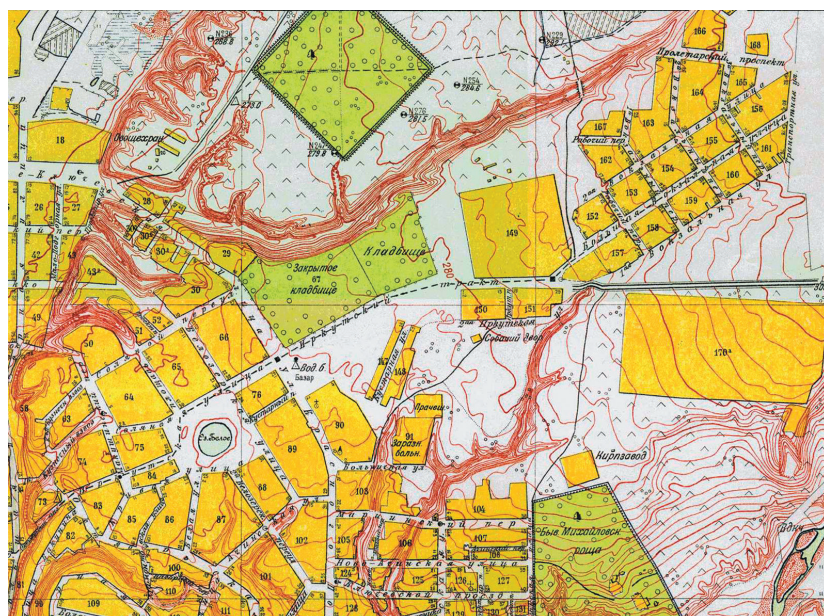


Рис. 2. План окрестностей Белого озера 1933 г.

Согласно материалам дореволюционной печати [2], с давних пор Белое озеро находилось в середине большой площади, окруженной с четырех сторон домами. Со временем вокруг него появились постоянные дворы, усадьбы извозопромышленников, доставлявших товары из Томска в Иркутск и обратно по Иркутскому тракту. Лед на оз. Белое ежегодно покрывался слоем навоза, весной попадавшим в воду. Еще в последней трети XVIII в. извозопромышленники выпустили воду из водоема, углубили его котловину, придали ей округлую форму, убрали торфяной остров и окружили водоем торфяным валом. Оз. Белое использовалось в противопожарных целях.

После прокладки железной дороги извозный промысел пришел в упадок. В водоем сбрасывалось большое количество бытовых стоков, что определило его антисанитарное состояние. В начале XX в. даже обсуждался вопрос о засыпке озера. В 1908 г. благодаря усилиям городской управы водоем был приведен в порядок, вокруг него высажены деревья.

Во время Великой отечественной войны оз. Белое использовалось как технический водоем. Березовая роща вокруг него была спилена на дрова. В 1970-е гг. его дно было снова очищено. Естественные родники, питавшие озеро подземными водами, забетонированы. Вода (по свидетельствам местных жителей) в результате стала затопливать подвалы окружающих домов. Вода в водоеме стала грязной и мутной, прибрежная территория постепенно замусоривалась. В последние десятилетия оз. Белое было в плохом санитарно-экологическом состоянии. Ситуацию удалось улучшить к 400-летию Томска. В результате полуторалетних работ была полностью заменена ливневая канализация, выполнено благоустройство аллей, набережная и дорожки вымощены плиткой. Территория вокруг водного объекта была оборудована для отдыха томичей. Оз. Белое вновь стало любимым местом отдыха горожан. И летом, и зимой здесь многолюдно. Сюда приходят порыбачить, покататься на катамаранах, посидеть в кафе на берегу, посетить с детьми аттракционы, послушать музыку, прокатиться на лошади, просто погулять, отдохнуть, посмотреть на воду [2].

Морфометрические показатели

Для построения плана водного объекта в изобатах и горизонталях в масштабе 1:2000 с сечением изолиний 0,5 м выполнены промеры глубин по продольным профилям с судна, расстояние между галсами 15–20 м. Расстояния между промерными точками на галсе — 5–15 м. Координирование промеров осуществлялось при помощи GPS-приемника. Наблюдения за уровнем воды выполнялись путем нивелирования горизонта воды перед началом промерных работ и их завершению. Отметка горизонта воды во время производства работ составила 110,1 м Балтийской системы высот (БС).

Площадь бассейна озера в настоящее время ограничена бордюром асфальтированной дорожки вокруг озера и составляет 16740 м².

К основным морфометрическим показателям относятся: длина, ширина, изрезанность береговой линии, площадь зеркала, объем воды, средняя и максимальная глубина, форма котловины [1, с. 484]. Длина озера (L) равна 155 м, средняя ширина (B) — 96 м. Длина береговой линии (l_0) на момент измерений составила 446 м. Изрезанность береговой линии определена как отношение длины береговой линии к длине

окружности круга, площадь которого равна площади озера (412 м), $m = 1,08$. Такое малое значение m свидетельствует и слабой, почти не выраженной изрезанности.

Площадь поверхности (зеркала) $A_{\text{оз}}$ на момент проведения промеров составила 13540 м². При максимальном уровне заполнения озера (УВВ) 111,4 м БС она составляет 15610 м². Объем воды в озере $V_{\text{оз}}$ на момент проведения промеров глубин эхолотом (16.10.2013), соответствующий отметке 110,1 м БС, равен 23 490 м³, при УВВ — 42 360 м³. Максимальная глубина (H_{max}) озера соответственно равна 4,2 и 5,5 м, а средняя глубина — 1,86 и 2,7 м. Коэффициент формы котловины Φ незначительно увеличивается с ростом уровня с 0,44 на момент измерений до 0,49 при максимальном заполнении. Средний уклон дна водоема (‰) составляет 0,086. Коэффициент глубинности b равен 0,078.

Кривые изменения площади и объема с глубиной в относительных единицах приведены на рис. 3.

Судя по формам кривых можно сделать вывод, что в глубинной части ($0,5 H_{\text{max}}$) котловина имеет форму конуса, и переходит к поверхности в форму полуэллипсоида. В целом оз. Белое можно классифицировать как мелководное по глубине и очень малое по площади.

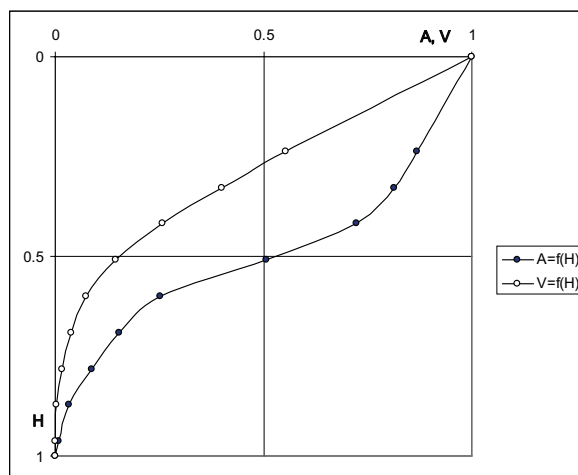


Рис. 3. Батиграфическая и объемная кривые котловины оз. Белое.
 H — глубина; A — площадь; V — объем озера (все в долях от значений, соответствующих УВВ)

Оценка водного баланса озера

Водный баланс — соотношение за какой-либо промежуток времени прихода, расхода и аккумуляции (изменение запаса) воды для речного бассейна, участка территории или водного объекта. В общем случае учету подлежат атмосферные осадки, конденсация влаги, горизонтальный перенос и отложение снега, поверхностный и подземный приток, испарение, поверхностный и подземный сток, изменение запаса влаги в почво-грунтах и др.

В отдельных частных случаях нет необходимости в детальном учете всех составляющих баланса. Техническим средством анализа воднобалансовых соотношений является уравнение водного баланса [6].

Уравнение водного баланса оз. Белое (при отсутствии поверхностного стока из него в несуществующую уже в течение длительного времени р. Белая) можно записать для среднего года при условии нулевого баланса и устойчивости состояния водоема, когда запасы воды в нем в среднем за год не меняются, следующим образом:

$$10^{-3} (P - E_{\text{вп}}) A_{\text{оз}} + 10^{-3} (P - E_{\text{с}}) A_{\text{всб}} + W_{\text{подз1}} - W_{\text{подз2}} = 0, \quad (1)$$

где P — норма годовых атмосферных осадки за год, мм; $E_{\text{с}}$ — норма годового испарения с поверхности суши, мм; $E_{\text{вп}}$ — норма годового испарения с водной поверхности, мм; $A_{\text{оз}}$ и $A_{\text{всб}}$ — соответственно площадь водного зеркала водоема и его водосбора, м²; $W_{\text{подз1}}$ и $W_{\text{подз2}}$ — соответственно приход подземных вод и сток из него, м³.

Предположим, что климатические показатели, определяющие величину осадков и испарения, а также площадь зеркала водоема в среднем несущественно изменились за многолетний период.

По данным Гидрометеослужбы РФ [4], средние многолетние годовые осадки с поправками на смачивание осадкомерного сосуда составляют на метеостанции Томск 591 мм. По другим данным средние за многолетний период годовые осадки на метеостанции Томск, исправленные на все виды недоучета, оцениваются в 557 мм [5], что несколько меньше приведенных в вышеуказанном справочнике. Последние цифры принимаем в расчет, так как они самой расчетной схемой метода ГКР В.С. Мезенцева наилучшим образом увязаны с другими элементами водного и теплового баланса.

Норма годового испарения с поверхности водосбора, по гидролого-климатическим расчетам, проведенным для метеостанции Томск, равна 447 мм [3], а норма годового испарения с водной поверхности, вычисленная нами согласно [6] на основе карты изолиний (680 мм/год) и поправочных коэффициентов, учитывающих глубину водоема, степень защищенности его от ветра и площадь зеркала, оценивается в 525 мм.

Средняя за год площадь водоема $\bar{A}_{\text{оз}}$ составляет, по нашим измерениям, примерно $(13540 + 15610)/2 = 14575$ (м²), учитывая ее значения при минимальной отметке и при уровне высоких вод (последние определены по меткам высоких вод на берегах водоема).

Площадь водосбора водоема $A_{\text{всб}}$ раньше, когда вокруг него существовала малоэтажная деревянная застройка при отсутствии канализации, согласно нашим измерениям по карте 1933 г., оценивается в 542000 м².

После того, как эта застройка была заменена на многоэтажную каменную застройку, улицы заасфальтированы, проведены централизованное водоснабжение и канализация, вокруг водоема устроены бордюры, величина его площади, согласно нашим измерениям по карте м-ба 1:2000 1988 г. издания, сократилась до 16740 м², т.е. более чем в 32 раза.

Разность $(W_{\text{подз2}} - W_{\text{подз1}})$ содержит в себе, кроме характеристик подземного водообмена, также невязку водного баланса. Рассчитываем эту разность по формуле (1) для прежних, близких к естественным, условиям питания водоема (наличие достаточно большой водосборной площади и проч.):

$$W_{\text{подз2}} - W_{\text{подз1}} = 10^{-3}(557 - 525)14575 + 10^{-3}(557 - 447)542000 = \\ = 466 + 59620 = 60086 \text{ м}^3,$$

Это значит, что для сохранения равновесных условий отток из водоема должен превышать приток в него подземным путем. Разница соответствует 1,9 л/с среднегодового стока из озера, или 108 мм слоя воды, распределенного по всей площади водосбора ($A_{\text{оз}} + A_{\text{всб}} = 556575 \text{ м}^2$), и превосходит ошибку определения, например, слоя осадков. Этот сток частично мог осуществляться поверхностным путем достаточно постепенно и распределялся неравномерно по сезонам года. Таким образом, водоем мог питать небольшую речку даже при отсутствии подземного питания. Учитывая же, что озеро имело еще и родниковое питание, разгрузка воды из него (не важно, подземным или поверхностным путем) составляла достаточно заметную величину. Об этом свидетельствует и наличие в рельефе русла реки Белая, а также эрозионной ложбины к северо-западу от озера, которые хорошо просматриваются на карте 1872 г. (рис. 1).

Проведя аналогичный расчет для современных условий с меньшей площадью водосбора, получаем:

$$W_{\text{подз2}} - W_{\text{подз1}} = 10^{-3}(557 - 525)14575 + 10^{-3}(557 - 447)16740 + 0 = \\ = 466,4 + 1841,4 = 2307,8 \text{ м}^3,$$

или 0,007 л/с со слоем стока воды с суммарной площади водосбора ($A_{\text{оз}} + A_{\text{всб}} = 31315 \text{ м}^2$), равным 74 мм. Эта величина в единицах слоя воды довольно велика, но соизмерима с ошибкой подсчета водного баланса и в объемном выражении очень мала, так как невелика и оставшаяся площадь водосбора (в 32 раза меньше первоначальной).

При ненулевом балансе возникает вопрос о наличии подземного водообмена. К настоящему времени водоем утратил естественные источники подземного питания, его котловина, по-видимому, изолирована от водоносных горизонтов и озеро питается только за счет атмосферных осадков. Гидравлическая связь озерных вод с подземными водами нарушена, родники на дне озера прекратили свое существование в результате техногенного воздействия.

Скважина, пробуренная в ноябре 2013 г. в озерной котловине на расстоянии 6 м от береговой линии водоема, до глубины 2,0 м от земной поверхности (отметка поверхности скважины 110,9 м), не вскрыла горизонты грунтовых вод, что говорит об отсутствии гидравлической связи вод оз. Белое с подземными в течение, как минимум, большей части года.

Таким образом, при отсутствии подземного питания водоема и стока из него положительный, но близкий к нулю баланс (соизмеримый с погрешностями расчета при отсутствии материалов фактических наблюдений) свидетельствует о том, что оз. Белое в настоящее время существует в критических условиях.

Тот же факт, что сейчас для поддержания уровней воды в водоеме требуется его искусственная подпитка, свидетельствует о том, что имеется подземная разгрузка водной массы, особенно при превышении уровня воды в озере уровней подземных вод на окружающей его территории, т.е. отрицательный баланс подземного питания.

В разные годы (в том числе в 2013 г.) озеро искусственно пополнялось, но официальные документированные сведения об объемах подпитки отсутствуют. Сведения о пополнении водоема примерно на 7000 м³ в год имеются лишь из средств массовой информации <http://www.tv2.tomsk.ru/news/lbeloe-ozero-popolnyayut-lvodoi>.

Следует подчеркнуть, что расчет водного баланса проведен при отсутствии данных натурных наблюдений за его составляющими непосредственно на исследуемом участке. Более точно его можно оценить только на основе инструментальных наблюдений в самом водоеме и на его водосборной площади, как минимум, в течение года и, в частности, более точно определить уровень подземных вод в бассейне и степень гидравлической связи вод водоема и подземных вод с учетом их сезонной и межгодовой изменчивости.

Рекомендации по поддержанию водности водного объекта и предотвращению его деградации

Для поддержания водности оз. Белое и предотвращения его деградации можно рекомендовать следующее:

1. Дополнительная подкачка воды из внешних источников. Объем воды и сроки подкачки следует определять в зависимости от количества осадков и их распределения внутри года с таким расчетом, чтобы фактический уровень воды соответствовал отметке уровня высоких вод.
2. Уборка водосборной площади водоема и прилегающей территории от мусора.
3. Заселение озера водными организмами, в том числе водной растительностью, способствующими прекращению деградации водоема и улучшению качества воды в нем.
4. Проведение мероприятий по поддержанию содержания кислорода в воде в зимний заморный период путем создания искусственных прорубей, бурения лунок во льду. Возможный дефицит кислорода в теплый период, связанный с разложением растительности и органики, поступающей со стоками, может быть предотвращен путем искусственной аэрации воды.

Литература

1. *Догановский А.М., Малинин В.Н.* Гидросфера Земли. Под ред. Л.Н. Карлина. — СПб.: Гидрометеиздт, 2004. — 630 с.
2. *Жеравина А.Н.* Томск второй половины XIX — начала XX в. (по материалам дореволюционной печати). Под ред. В.П. Зиновьева. — Томск: изд-во Том. ун-та, 2010. — 402 с.
3. *Карнацевич И.В., Мезенцева О.В., Тусупбеков Ж.А., Бикбулатова Г.Г.* Возобновляемые ресурсы тепло-энергообеспеченности Западно-Сибирской равнины и динамика их характеристик. — Омск: изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. — 268 с.
4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние данные. Части 1—6. Вып. 20. Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. — СПб.: Гидрометеиздт, 1993. — 717 с.
5. *Парначев В.П., Парначев С.В.* Геология и полезные ископаемые окрестностей города Томска: Материалы к полевой геологической экскурсии. Справочное пособие. — Томск: ТГУ, 2010. — 144 с.
6. Указания по расчету испарения с поверхности водоемов. — Л.: Гидрометеиздат, 1969. — 84 с.