

Оценка площади водного зеркала Иваньковского водохранилища на основе данных Sentinel-2

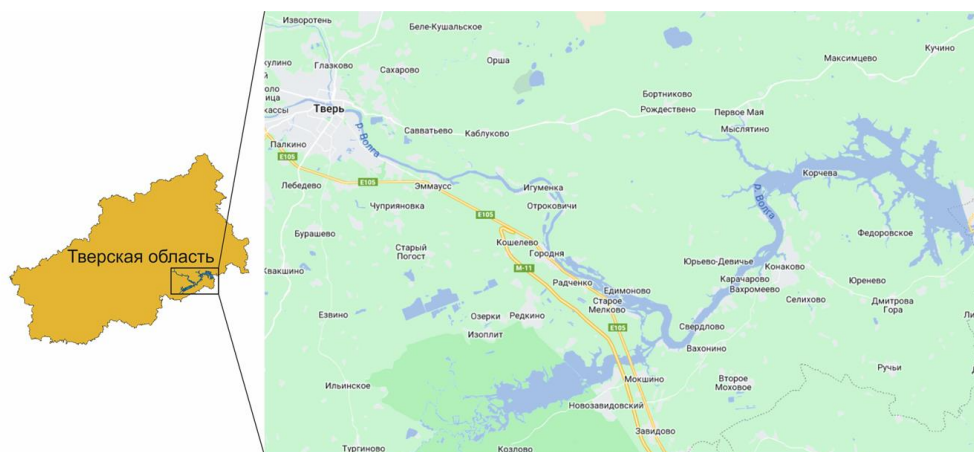
А.В. Бочаров(1, 2, 3), М.Г. Гречушникова (2, 4), С.И. Биденко (5),
С.А. Лебедев (6, 7, 8), И.Л. Григорьева (9)

- (1) Тверской государственный университет
- (2) Институт водных проблем Российской академии наук
- (3) Институт океанологии Российской академии наук
- (4) Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
- (5) АО НПО Импульс
- (6) Геофизический центр Российской академии наук
- (7) Майкопский государственный технологический университет
- (8) Национальный исследовательский университет «Московский институт электронной техники»
- (9) Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина Российской академии наук



Иваньковское водохранилище образовано в 1937 году. По морфологическим особенностям водохранилище делится на различные участки, именуемые Волжским, Шошинским и Иваньковским плесами.

Берега Иваньковского водохранилища низкие и только в некоторых местах умеренно возвышенные, что определяет **нечеткость границ и обширные прибрежные экотонные зоны**. Водохранилище мелководное, средняя глубина по разным источникам составляет 3,4 или 4 м. Площадь мелководий с глубинами до 2 м составляет около 50%.



Физико-географическое положение Иваньковского водохранилища



Схема расположения плесов Иваньковского водохранилища



Официальные данные о площади и уровне Иваньковского водохранилища

Нормальный подпорный уровень (НПУ) водохранилища равен 123,89 м БС, при нем, согласно большинству литературных источников, площадь зеркала водоема составляет **327 км²**. В государственном водном реестре указано такое же значение. Впервые эта величина была приведена в отчете о строительстве канала Москва-Волга. В более поздних источниках указывается площадь водохранилища при НПУ равная **316 км²**.

Приказ Росводресурсов
от 31.05.2019 N 125
"Об утверждении
Правил использования
водных ресурсов
Иваньковского
водохранилища на р.
Волге"

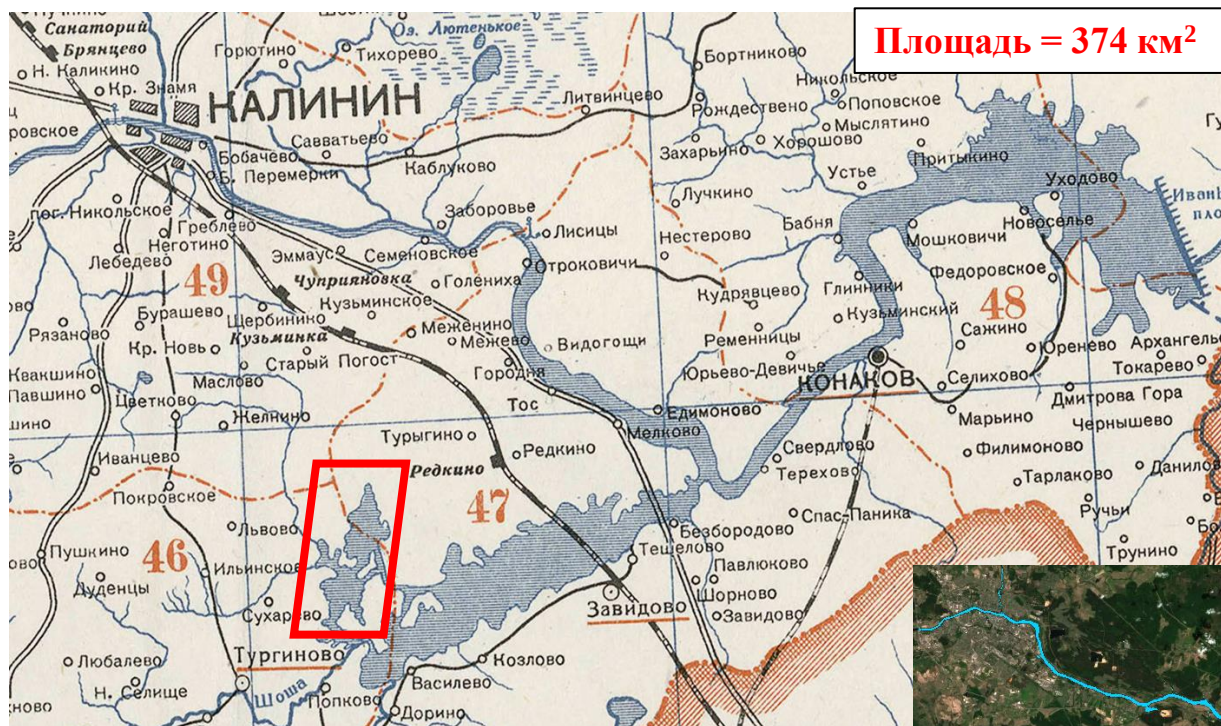


**ИНТЕРПОЛЯЦИОННАЯ ТАБЛИЦА
ПЛОЩАДЕЙ ЗЕРКАЛА ИВАНЬКОВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА, км²**

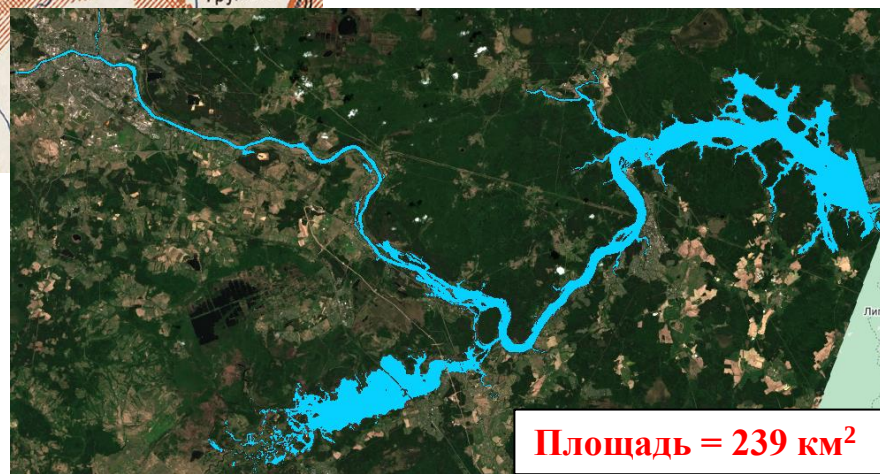
Отметк и уровней воды, м	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
116.90	51.86	51.93	51.98	52.05	52.13	52.20	52.26	52.33	52.39	52.47
117.00	52.53	52.59	52.67	52.72	52.80	52.86	52.93	53.00	53.07	53.13
117.10	53.20	53.27	53.35	53.42	53.50	53.58	53.66	53.73	53.79	53.87
117.20	53.94	54.00	54.07	54.15	54.22	54.28	54.35	54.44	54.51	54.57
117.30	54.64	54.73	54.79	54.86	54.93	54.99	55.07	55.19	55.29	56.41
117.40	56.54	56.65	56.75	56.87	56.97	57.08	57.17	57.28	57.38	57.50
117.50	57.60	57.71	57.80	58.03	58.22	58.43	58.63	58.85	59.04	59.26



Анализ ретроспективных источников



Фрагмент карты Калининской области 1937 года

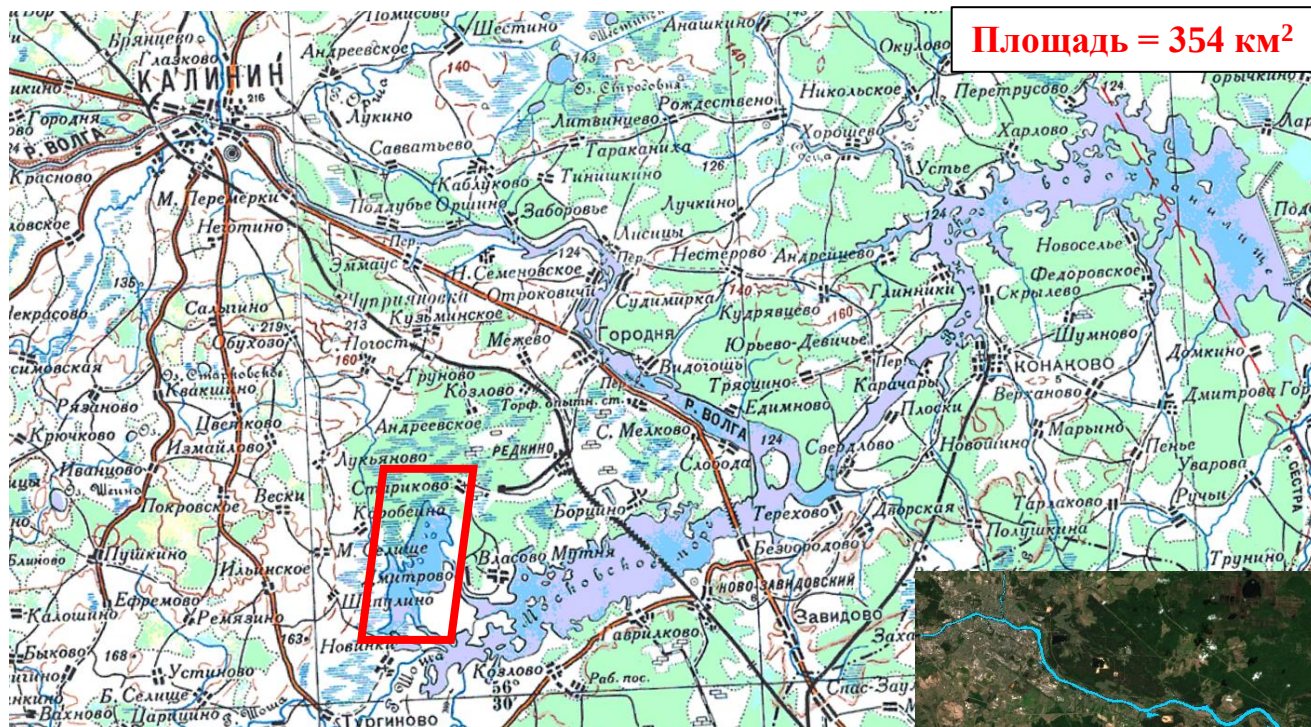


Спутниковый снимок Sentinel-2 (18 мая 2019 г.)*

* получено из датасета Google Earth Engine



Анализ ретроспективных источников



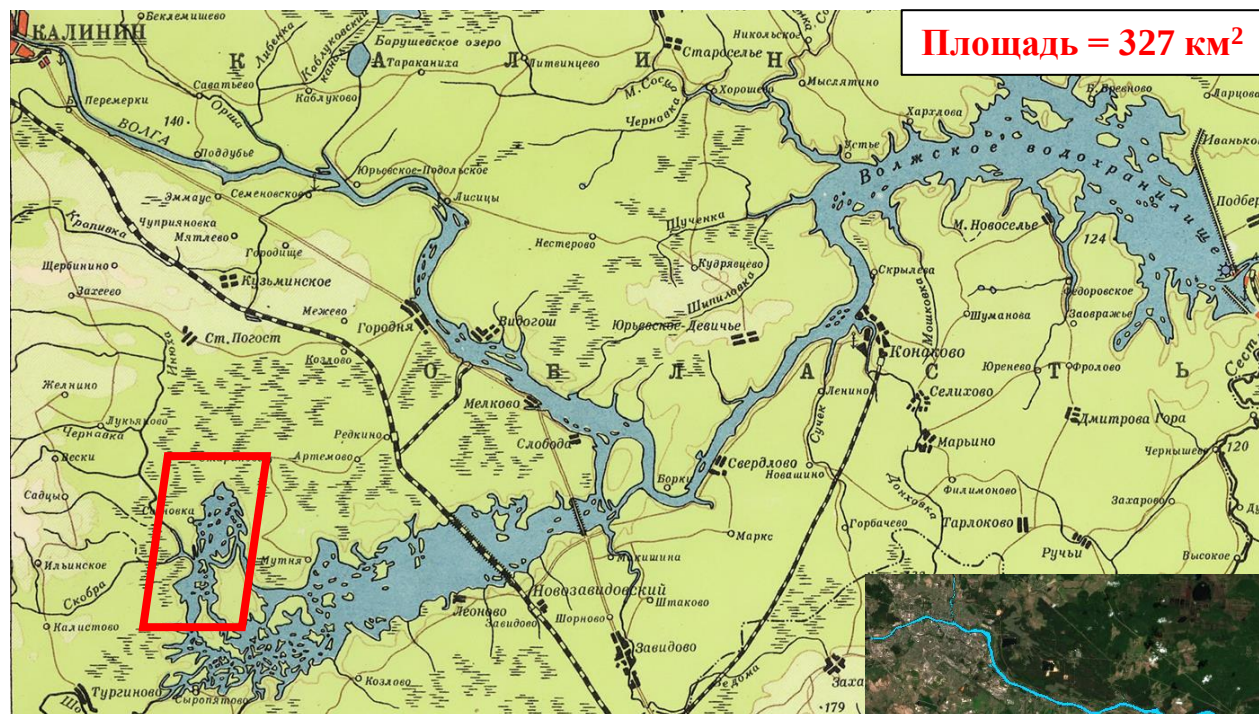
Фрагмент карты РККА 1937-1941 гг.



Спутниковый снимок Sentinel-2 (18 мая 2019 г.)*

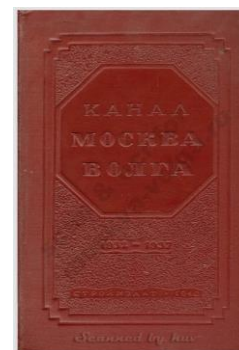
* получено из датасета Google Earth Engine

Анализ ретроспективных источников



Площадь = 327 км²

Площадь соответствует данным
указанным отчете о строительстве
канала Москва-Волга



Фрагмент карты-схемы канала Москва-Волга
в Большом советском атласе мира 1939 г.



Площадь = 239 км²

Спутниковый снимок Sentinel-2 (18 мая 2019 г.)*

* получено из датасета Google Earth Engine

Тринадцатая международная Школа-семинар: «Спутниковые методы и системы исследования Земли», Таруса, 23-26 мая 2025 г.

© 2025, А.В. Бочаров, М.Г. Гречушникова, С.И. Биденко, С.А. Лебедев, И.Л. Григорьева



Анализ ретроспективных источников



Площадь = 290 км²

Площадь по картам начиная с 1940-1941 г. становится меньше официальных данных

Фрагмент карты РККА 1940-1941 гг.



Площадь = 239 км²

Спутниковый снимок Sentinel-2 (18 мая 2019 г.)*

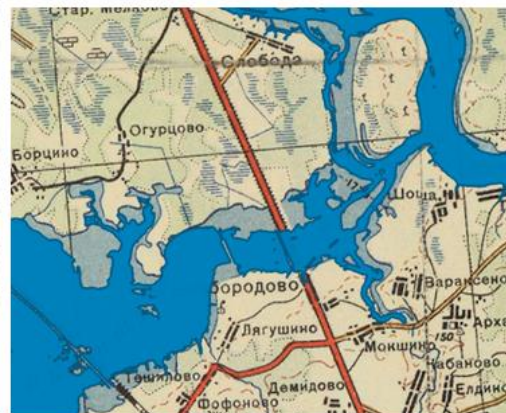
* получено из датасета Google Earth Engine



Анализ ретроспективных источников



а



б



в



г

Сравнение границ водоема полученным по спутниковым данным при НПУ с картой РККА 1940-1941 гг.

а) устье р. Тропка и заливы у о.Клинцы и о.Харпуша; б) устье Шоши и протока у о.Низовка;

в) верховьях Шошинского плеса; г) заливы в районе с.Городня и д.Видогощи



Анализ ретроспективных источников



Площадь = 232 км²



Площадь соответствует современным спутниковым снимкам, это позволяет говорить о том, что значительного зарастания и преобразования берегов как минимум с 1975 г. не происходило

Снимок спутник Landsat-2 (12 мая 1975 г.)



Площадь = 239 км²

Спутниковый снимок Sentinel-2 (18 мая 2019 г.)*

** получено из датасета Google Earth Engine*



Сопоставления площади по данным Sentinel-2 и уровня водохранилища



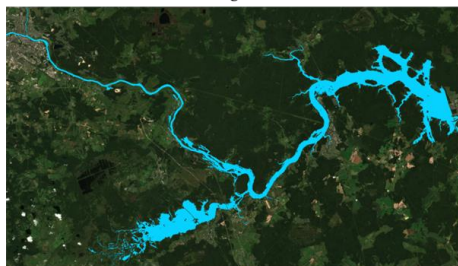
а



б



в



г



д



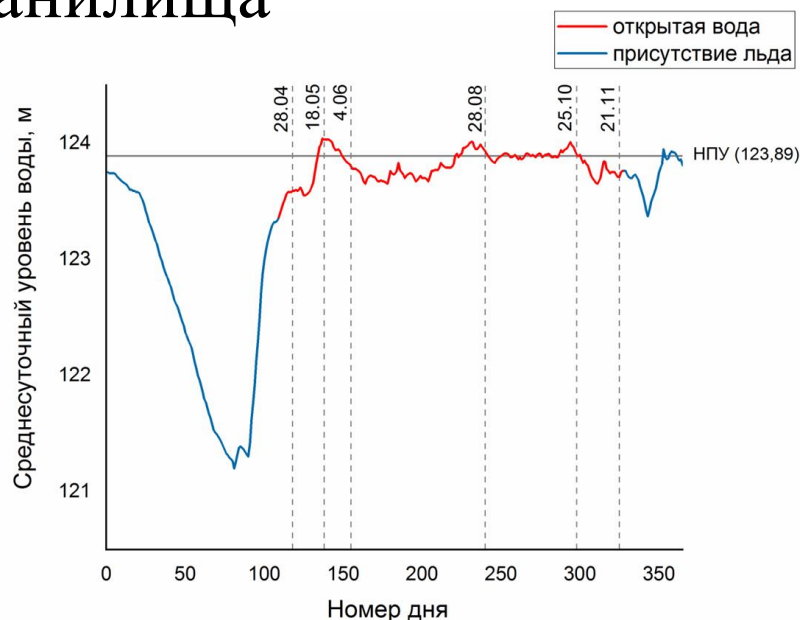
е

Использованные снимки Sentinel-2

(получены из датасета Google Earth Engine)

(а) 28 апреля 2019 г.; (б) 18 мая 2019 г.; (в) 4 июня 2019;

(г) 28 августа 2019 г.; (д) 25 октября 2019 г.; (е) 21 ноября 2019 г



**График хода среднесуточного уровня воды
в Иваньковском водохранилище в 2019 г.**

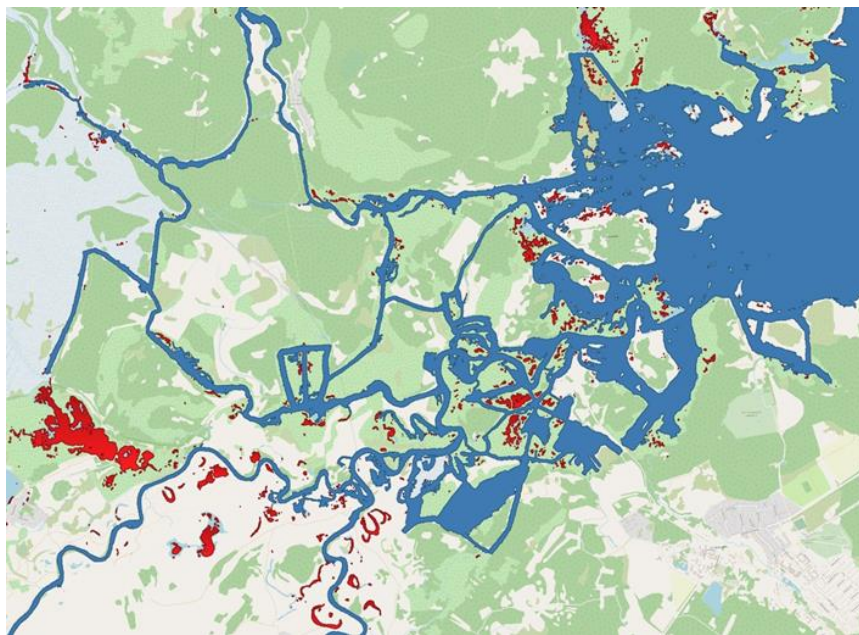
Дата	Уровень Дубна, м	Уровень Тверь, м	Площадь согласно приказу Росводресурсов № 125, км ²	Фактическая площадь по данным Sentinel-2, км ²
28/04/2019	123,59	123,63	302,44	235,2
18/05/2019	124,03	124,04	327,47	238,8
04/06/2019	123,80	123,81	311,46	229,5
28/08/2019	123,93	123,97	319,29	224,4
25/10/2019	123,90	123,99	316,84	218,2
21/11/2019	123,71	123,86	306,74	227,9

**Уровень воды и площадь водного зеркала Иваньковского
водохранилища по использованным снимкам Sentinel-2**



Водные объекты несоединённые с водоемом по ДДЗ

Для увеличения максимально неопровержимой площади водоема отдельно проведен учет полигонов водных объектов несоединённые с водоемом, но по морфометрическим признакам дешифрируемые как старицы, вероятно отделённые вследствие зарастания, и возможно имеющие связь с основной акваторией водохранилища в периоды повышения уровня воды. Наиболее количество подобных объектов находится в верховьях Шошинского плёса. По снимку Sentinel-2 произведённому 18 мая 2019 г. площадь всех подобных водных объектов не превышает 5 км². Существенного вклада эти объекты не вносят, в любом случае фактическая площадь Иваньковского водохранилища значительно меньше приводимых в литературе справочных значений.

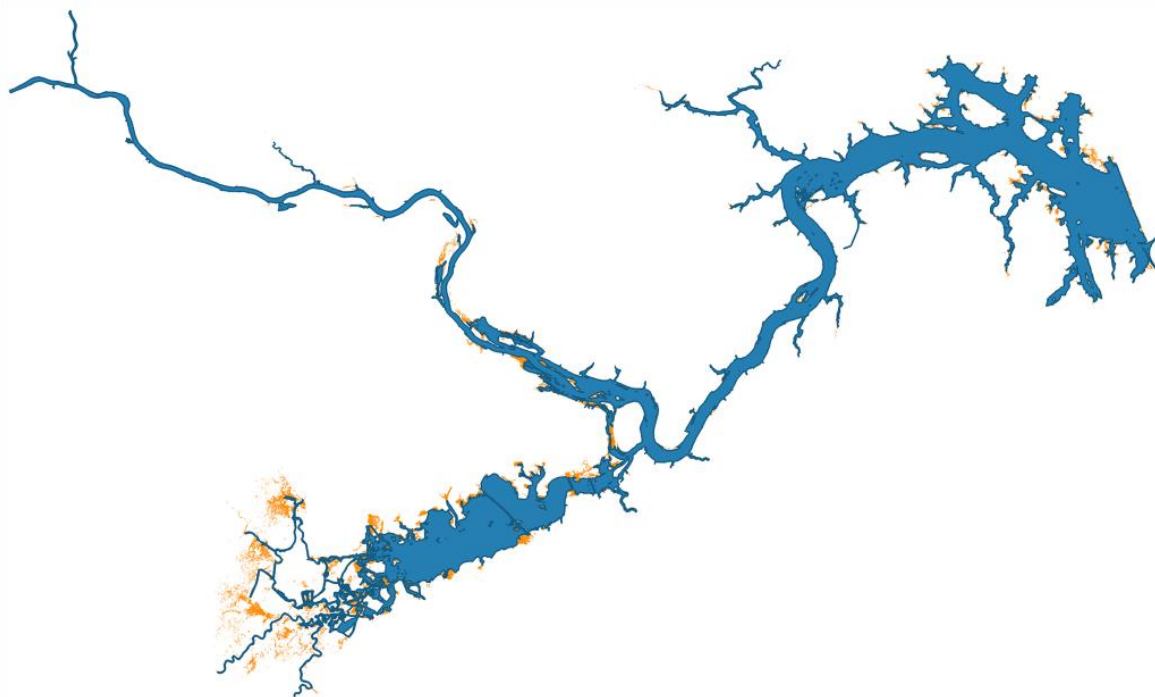


Водные объекты не соединённые с водоемом, но возможно имеющие связь с основной акваторией водохранилища (по данным Sentinel-2)



Водные объекты несоединённые с водоемом по ДДЗ

Максимальный проектный уровень при пропуске максимальных расходов воды вероятностью превышения 0.1% равен 124,19 м. Используя модель рельефа Copernicus DEM GLO-30 было смоделировано подтопление территории при повышении до максимального проектного уровня при нулевом уклоне водной поверхности. Для увеличения максимально не опровержимой площади водохранилища был проведен учет локальных понижений поблизости. Максимальная площадь водоема составила **276 км²**.



Согласно данным из приказа Росводресурсов от 31.05.2019 № 125 при пропуске максимальных расходов воды уровень воды в верховье Шошинского плеса может подниматься до 126 м, а верховье Волжского плеса до 130 м. При возникновении таких ситуаций будут происходить существенные подтопления в верховьях Шошинского плеса, а также менее значимые подтопления в среднем течении Волжского плеса и в устье Шоши. Определения площади затопления при пропуске максимальных расходов воды в данной работе не рассматривается.

Участки подтопления при максимальном проектном уровне (124,19 м) с учетом локальных понижений не соединённые с водоемом



Выводы

1. Площадь водоёма по данным ДЗЗ при уровнях, близких к НПУ в большинстве случаев находится в пределах **220-240 км²**. Фактическая площадь водного зеркала Иваньковского водохранилища на 22–33% меньше значений, приводимых в литературе.
2. **В большинстве литературных источников, вероятно, было использовано значение площади водоема из технического отчёта о строительстве канала Москва–Волга.** Отчёт был выпущен в первые годы существования водохранилища, и в нём приведены проектные значения.
3. Карт, изданных в первые годы после создания Иваньковского водохранилища сильно генерализованы и отличаются значительной изменчивостью расположения. Авторы предполагают, что в существенной степени это обусловлено не зарастанием, а недостаточным обследованием водоёма. Наиболее сильные изменения происходят на картах с 1937 г. по 1940-1941 гг., в первую очередь они связаны с уменьшением Шошинского плёса. На картах, отражающих состояние местности после 1940-1941 г., площадь водохранилища значительно меньше, чем в официальных источниках.
4. Одним из первых спутниковых изображений Иваньковского водохранилища является снимок, полученный сенсором спутника Landsat-2 в 1975 г., и с этого периода его площадь не претерпела значительных изменений.
5. Авторы не ставили задачу установления площади водного зеркала в первые годы существования водоёма, но предполагают, что она была меньше официальных данных. В дальнейшем произошло её сокращение по причине интенсивного зарастания в первые десятилетия после заполнения водохранилища. **Следует учитывать, что приводимые в других исследованиях площади зарастания водоёма могут быть завышены, так как, вероятно, они базировались на официальных данных о площади водохранилища.**



Исследования выполнены в рамках темы № FMWZ-2025-0002 "Исследования процессов формирования качества поверхностных и подземных вод, природных и антропогенных механизмов изменения экологического состояния водных объектов, разработка методов и технологий управления водными ресурсами и качеством вод".

