

А. А. Камбалин¹, М. В. Тыгдымаева¹, А. В. Софронова^{1}*

Исследование динамики площади водного зеркала водоема урочища Трехозерки по изображениям космических снимков

¹Муниципальное бюджетное образовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа № 6», г. Саяногорск, Российская Федерация
* e-mail: asofronova.rf@gmail.com

Аннотация. В работе продолжен мониторинг площади водного зеркала водоема в урочище Трехозерки на основе визуального дешифрирования изображений космических снимков, начатый в 2016 году по временному ряду изображений космических снимков, полученных из ПО GoogleEarth. Проведена базовая статистическая обработка результатов визуального дешифрирования разными исполнителями. Получены картограммы и диаграммы, иллюстрирующие динамику водного зеркала.

Ключевые слова: водно-болотное угодье, урочище Трехозерки, космические снимки, визуальное дешифрирование

А. А. Kambalin¹, М. В. Tygdymaeva¹, А. В. Sofronova^{1}*

Investigation of the dynamics of the water mirror area of the reservoir of the Trekhozerki tract based on satellite images

¹ Municipal budgetary educational institution, Secondary school No. 6, Sayanogorsk,
Russian Federation
* e-mail: asofronova.rf@gmail.com

Abstract. The work continues to monitor the area of the water mirror of the reservoir in the Trekhozerki tract on the basis of visual decoding of satellite images, which began in 2016 using a time series of satellite images obtained from GoogleEarth software. The basic statistical processing of the results of visual decryption by different performers was carried out. Cartograms and diagrams illustrating the dynamics of the water mirror are obtained.

Keywords: wetland, Trekhozerki tract, satellite images, visual decryption

Введение

Урочище Трехозерки – это небольшой, мелководный, сильно минерализованный водоем. Он расположен в Алтайском районе Республики Хакасия в стратегически важном месте для миграции птиц: вблизи долины Енисея – важнейшего русла пролета птиц сибирских популяций [1, 2]. Заболоченность и топкость его берегов, высокая продуктивность экосистем создавали ранее хорошие защитные и кормовые условия для обитания, гнездования и отдыха перелетных птиц. Урочище Трехозерки входит в состав водно-болотного комплекса Озера Койбальской степи, имеющего, по критериям Рамсарской конвенции, международное значение [1]. В целях охраны урочища в 1995 году впервые здесь был обра-

зован орнитологический заказник «Урочище Трехозерки», который функционировал 10 лет. В 2014 году вновь на территории урочища был образован зоологический заказник «Урочище Трехозерки» [2]. Площадь водного зеркала водоема постоянно меняется.

Оценить уровень воды, исследовать динамику площади водной поверхности урочища можно по космическим снимкам сверхвысокого разрешения. Программа Планета Земля (GoogleEarth) [3, 4] позволяет подобрать временной ряд изображений, поэтому их можно использовать для мониторинга. В 2017 году К. О. Синельниковой [5] было проведено исследование динамики площади водного зеркала водоема урочища Трехозерки с 1984 по 2015 гг. Материалы исследования представлены на рисунке 1. Результаты дешифрирования площадей представлены в таблице 1.

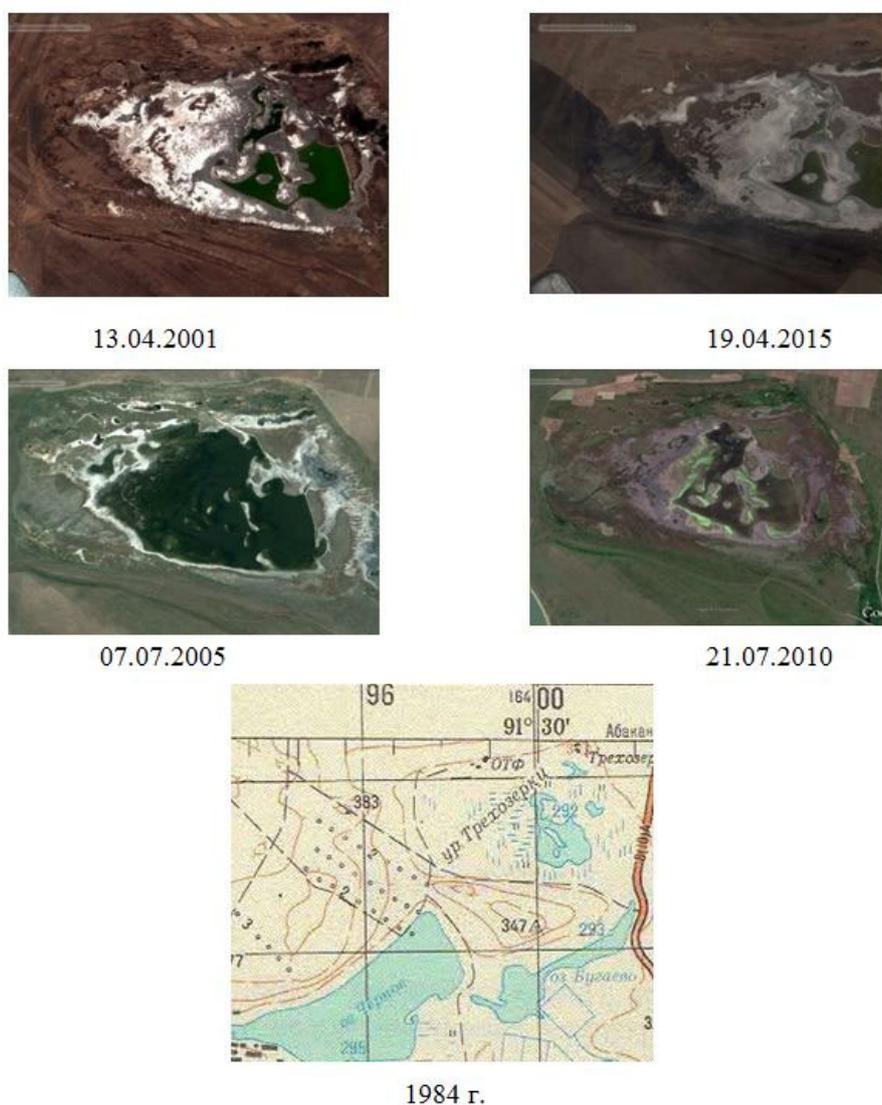


Рис. 1. Временной ряд материалов исследования в 2017 г.

Динамика изменения площади водного зеркала водоема урочища Трехозерки

Дата снимка	Площадь водного зеркала, га	Доля площади от площади 1984 г., %
13.04.2001	81,2	23,1
07.07.2005	252,3	71,8
21.07.2010	124,1	35,3
19.04.2015	60,5	17,2
1984 г.	351,4	100

Проведенное исследование показало, что с 1984 года площадь водного зеркала водоема урочища Трехозерки уменьшалась на 22%-83%, что говорит об осушении водоема.

Гипотеза: площадь водного зеркала водоема в урочище Трехозерки продолжает уменьшаться с каждым годом.

Цель данной работы заключается в продолжении мониторинга площади водного зеркала водоема в урочище Трехозерки на основе визуального дешифрирования изображений космических снимков.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- 1) изучить литературу об урочище Трехозерки, методах дешифрирования космических снимков, изучить результаты мониторинга с 2001 по 2015 год;
- 2) ознакомиться с программами Планета Земля, MapInfo, приобрести навыки работы в них;
- 3) подобрать изображения космических снимков с 2015 по 2024 года;
- 4) провести дешифрирование водного зеркала водоема по изображениям космоснимков;
- 5) провести статистическую обработку результатов визуального дешифрирования;
- 6) проанализировать полученные результаты, сделать выводы.

Материалы и методы исследования

Космические снимки позволяют получать объективно существующую информацию о территории и объектах. В настоящее время они широко представлены в сети Интернет [5]. Оценить уровень воды, исследовать динамику площади водной поверхности также можно по космическим снимкам. Программа Планета Земля [6] содержит базу снимков различного разрешения, полученных в разные годы, поэтому их можно использовать для мониторинга.

Термин «мониторинг» происходит от английского monitoring и переводится как контрольное наблюдение. Мониторинг представляет систему повторных наблюдений одного и более элементов окружающей природной среды в пространстве и времени с определенными целями с заранее составленной программой. Космический мониторинг – это мониторинг с помощью космических средств наблюдений. Космический мониторинг позволяет оперативно выявлять очаги и характер изменений окружающей среды, изучать взаимодействие антропогенных систем с окружающей средой.

Выделяют два направления получения пространственной информации о земной поверхности из космоса: съемка в видимом и инфракрасном диапазонах длин электромагнитных волн (оптико-электронные системы) и съемка в сантиметровом радиодиапазоне (радарные системы).

Методы дешифрирования космических снимков – интенсивно развивающаяся область научных исследований. Различают визуальное и автоматизированное дешифрирование [7]. Визуальные методы наиболее просты и доступны, так как не требуют, в отличие от автоматизированных, узкоспециализированного дорогостоящего программного обеспечения. В данной работе был применен метод визуального сравнительного дешифрирования изображений космических снимков.

Для дешифрирования изменений площади водного зеркала водоема урочища Трехозерки из программы Планета Земля был подобран временной ряд изображений космических оптико-электронных снимков: 09.05.2016, 02.07.2017, 30.05.2019 и от 30.07.2021. Для исследования были отобраны снимки с максимально близкими датами, так как уровень воды в урочище сильно зависит от сезона года.

Дешифрирование космических снимков сравнительным визуальным методом и определение площадей было проведено в демонстрационной версии программного обеспечения MapInfo 11.5.

Изображения использованных материалов представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Временной ряд материалов исследования в 2023 г.

Результаты

При дешифрировании площади водного зеркала водоема по изображению космических снимков и привлечения полученных в 2016 г. данных были получены данные, представленные в таблице 2 и на рисунке 3.

Таблица 2

Динамика изменения площади водного зеркала водоема урочища Трехозерки

Дата снимка	Площадь водного зеркала, га	Доля площади от площади 1984 г., %
13.04.2001	81,2	23,1
07.07.2005	252,3	71,8
21.07.2010	124,1	35,3
19.04.2015	60,5	17,2
09.05.2016	107	30,4
02.07.2017	293	83,3
30.05.2019	78	22,2
30.07.2021	302	85,9
1984 г.	351,4	100

Из таблицы 2 и рисунка 3 видно, что наименьшая площадь (78 га) водного зеркала водоема отмечается в мае 2019, наибольшая – в июле 2021 (302 га). При сравнении значений по годам видна тенденция сокращения водного зеркала водоема. В 1984 г. она составляла 351,4 га. От этой величины была вычислена доля площади водного зеркала водоема в каждый год временного ряда снимков. По сравнению с 1984 годом площадь сократилась за 35 лет на 78 % (составила 22% по результатам дешифрирования майского снимка 2019) и на 14 % за 37 год (составила 86 % по результатам дешифрирования июльского снимка 2021).

На рисунке 4 представлены диаграммы динамики площадей водного зеркала урочища Трехозерки отдельно для весеннего и летнего времени года.

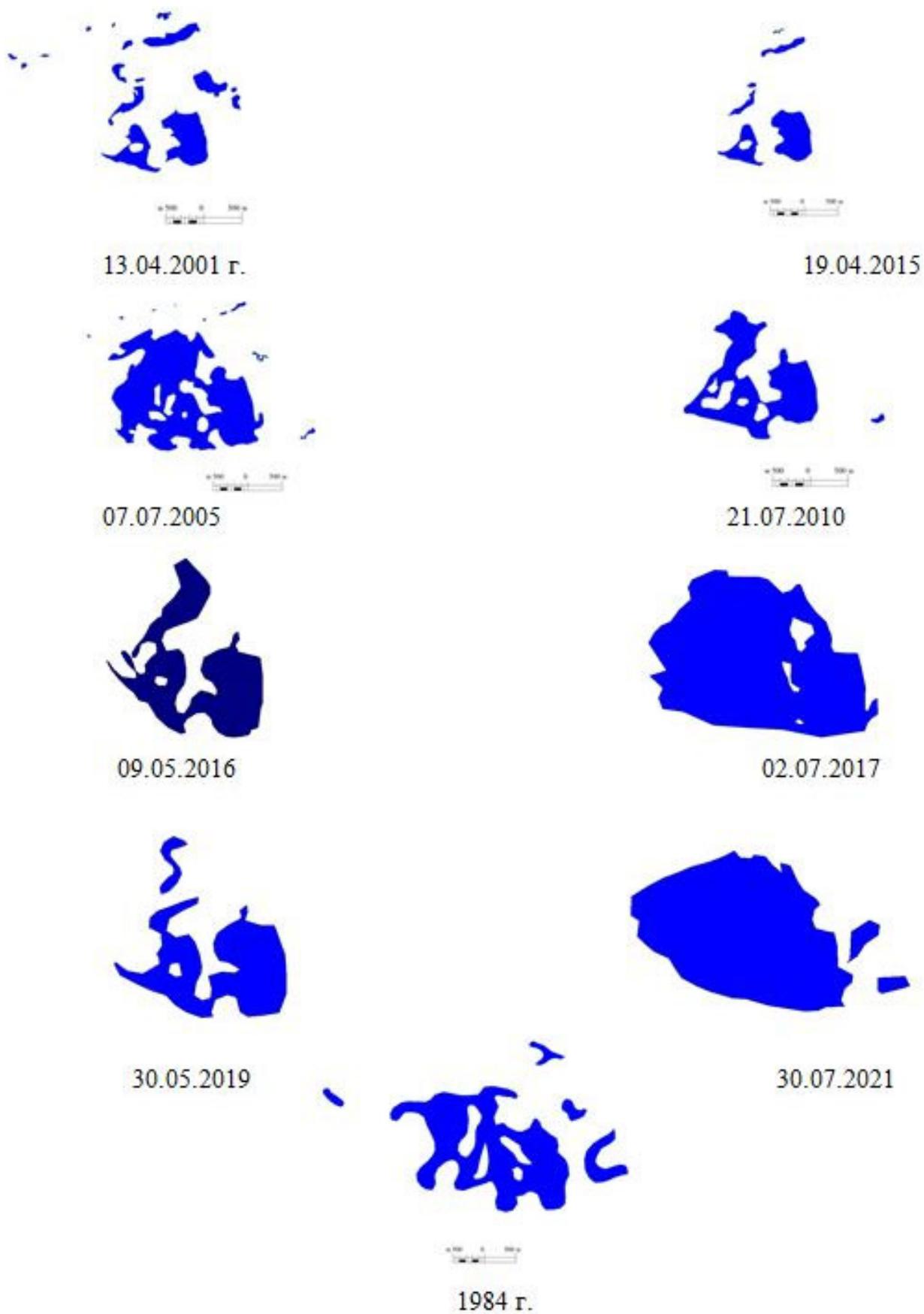


Рис. 3. Картограммы динамики площадей водного зеркала

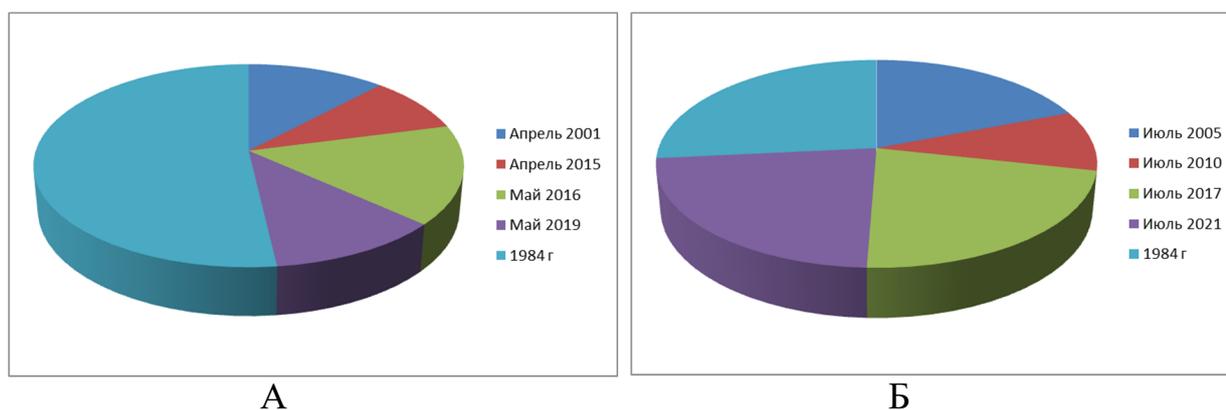


Рис. 4. Диаграммы динамики распределения площадей водного зеркала по годам в весенний период (А) и летний период (Б)

Статистическая обработка результатов дешифрирования

Статистическая обработка результатов – это применение методов математической статистики для обработки результатов исследования. Одними из основных величин статистической обработки являются дисперсия и среднее квадратичное отклонение среднего арифметического значения. Дисперсия характеризует, насколько частные значения отклоняются от среднего значения ($D = \sum(x - x_{cp})^2 / (n - 1)$). Среднее квадратичное отклонение показывает, насколько отклоняются конкретные значения от среднего ($\sigma = \sqrt{D}$). Эта величина позволяет рассчитать доверительный интервал. Мы рассчитали доверительный интервал для определения визуально дешифрируемой площади.

Результаты статистической обработки результатов представлены в таблице 3.

Таблица 3

Статистическая обработка результатов дешифрирования изображений космических снимков

№	Площадь, га	Среднее значение	Дисперсия	Среднее квадратичное отклонение	Доверительный интервал при $\alpha=0,05$
1	79	63,49	169,73	13,02	8,02
2	58				
3	57,9				
4	60				
5	49				
6	72				
7	90				
8	55				
9	63				
10	51				

Доверительный интервал при уровне значимости $\alpha=0,05$ (задает критическое значение для статистического теста, $\alpha=0,05$ означает, что допускается не более чем 5%-ая вероятность ошибки) составил $63,5\pm 8$ га.

Обсуждение

Высокий уровень воды в 1984 г., возможно, был обусловлен функционированием Койбальской оросительной системы и орошением сельскохозяйственных полей. На космическом снимке за 2001 год видны поля и оросительные установки на них (на снимке имеют вид белых линий с точками, на рисунке 3 обозначены голубыми стрелками). На снимке за 2010 год полей уже меньше, оросительные установки отсутствуют. Влияние на уровень грунтовых вод, питающих водоем урочища Трехозерки, оказывает и угольный карьер (обведен красным цветом). На указанных снимках видно, что его площадь к 2010 году увеличилась.



Рис. 5. Антропогенные объекты близ урочища Трехозерки:
○ - угольный карьер, → - оросительные установки

Интерес представляет большая площадь водного зеркала 30 июля 2021 г. Лето 2021 г. было аномально засушливым. В дальнейшем планируется привлечь архивные данные метеостанций для выявления зависимости площади водного зеркала водоема от климатических факторов. Эти исследования позволят установить причину высыхания водоемов и разработать эффективные рекомендации для восстановления в нем уровня воды.

Заключение

Проведенное исследование показало, что с 1984 года площадь водного зеркала водоема урочища Трехозерки уменьшилась на 78% весной и 14% летом, что говорит об осушении водоема. Уменьшение уровня воды ведет к снижению продуктивности экосистем и успешности гнездования птиц, а значит и к снижению их численности.

Уровень воды зависит от времени года, погодных условий. Но в то же время, из сравнительного дешифрирования космических снимков разных лет, можно

предположить, что на уровень воды в водоеме большое воздействие оказывает антропогенная деятельность: разработка угольного карьера, снижение полива полей.

Благодарности

Выражаем благодарность компании Google за разработку ПО Планета Земля и возможность ее использования на безвозмездной основе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Водно-болотные угодья, внесенные в Перспективный список Рамсарской конвенции («Теневой список» водно-болотных угодий, имеющих международное значение) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.fesk.ru/tom/3.html>
2. Государственный природный зоологический заказник «Урочище «Трехозерки» [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.direkcia19.ru/reserve-trehozerki>
3. Лабутина, И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков: Учеб. пособие для студентов вузов / И. А. Лабутина. – М.: АспектПресс, 2004. – 184 с., 8 с. цв. вкл.
4. Планета Земля [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.google.ru/intl/ru/earth/download/ge/agree.html>
5. Синельникова, К.О. Космический мониторинг площади водного зеркала урочища Трехозерки / К.О. Синельникова, А.В. Софронова // X Краеведческие чтения «Сохраним то, что любим», посвященные году экологии в России – Саяногорск, 2018. – С. 88-92. URL: http://музейсаян.рф/Literatura/chtenija_2018_sbornik.pdf

© А. А. Камбалин, М. В. Тыгдымаева, А. В. Софронова, 2024