

В. Н. Маслей, К. Г. Белоусов, д-р техн. наук В. С. Хорошилов, А. С. Бушанская,
канд. техн. наук Д. К. Мозговой, В. В. Васильев

СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДСТВИЙ ЗАСУХИ

Выполнен анализ спутниковых снимков среднего и высокого разрешения с целью оценки влияния засухи 2011-2015 гг. на крупные пресноводные водоемы штата Калифорния. Выявлены существенные смещения береговой линии озер Оровилл и Фолсом.

Виконано аналіз супутникових знімків середнього й високого розрізнення з метою оцінювання впливу посухи 2011-2015 рр. на великі прісноводні водойми штату Каліфорнія. Виявлено істотні зсуви берегової лінії озер Оровілл і Фолсом.

The analysis of medium- and high-resolution satellite images is made for the purpose of evaluating the impact of 2011-2015 drought on large freshwater basins of California. The considerable coast line shifts of Oroville and Folsom lakes were revealed.

По данным ООН, рост потребления пресной воды, вызванный увеличением численности населения и последствиями изменения климата, ведет к растущей нехватке водных ресурсов. В последние 40 лет объем пресной воды на каждого человека в мире уменьшился на 60%. В течение последующих 25 лет предполагается дальнейшее уменьшение еще в два раза. Вместе с этим резко увеличился расход воды населением на бытовые нужды, особенно в развитых странах, в частности в США. При ежегодной потребности на выращивание продуктов питания на каждого человека в 400 000 л в США используется 1 700 000 л. При минимальной потребности в воде для бытовых нужд (в том числе в питьевой воде) 50 л в день в США потребляется воды в семь раз больше, т. е. 400 л в день. В США скорость отбора подземных вод в среднем на 25% выше, чем скорость их восстановления. В некоторых районах превышение расхода над восстановлением достигает 160%. Как и почва, грунтовые воды восстанавливаются очень медленно – примерно 1% в год. Штат Калифорния является в США одним из наиболее малообеспеченных пресной водой при высоком водопотреблении – засуха в этом штате достигла катастрофических масштабов. Январь 2015 г. стал самым засушливым месяцем в Калифорнии за все время наблюдений с 1895 г. От централизованного снабжения водой зависят две трети населения штата – это около 25 млн чел. и более 400 тыс. га сельскохозяйственных земель.

Уровень воды в водохранилищах Калифорнии приблизился к критически низкой отметке. Рекордно низким стал уровень грунтовых вод снежного покрова из-за выкачивания подземных вод для ирригации сельскохозяйственных угодий. Власти штата вынуждены ужесточать меры по экономии воды, которой не хватает порой на первоочередные нужды граждан. Решение проблемы рационального использования и охраны водных ресурсов возможно только на основе комплексного системного подхода к изучению пространственно-временных закономерностей влияния природных и антропогенных факторов на качество и объем поверхностных вод с использованием спутниковых и наземных данных.

При изучении водного режима суши одним из важных входных параметров гидрологических моделей является площадь поверхности водоемов. Регулярное получение информации об этом параметре по наземным данным является сложной задачей и требует большого объема работ. Использование спутниковых данных позволяет существенно упростить эту задачу и выполнять ее с большей оперативностью и периодичностью при меньших затратах [1-3]. Был выполнен анализ спутниковых снимков среднего и высокого разрешения с целью оценки влияния засухи 2011–2015 гг. на крупные пресноводные водоемы штата Калифорния (рис. 1).

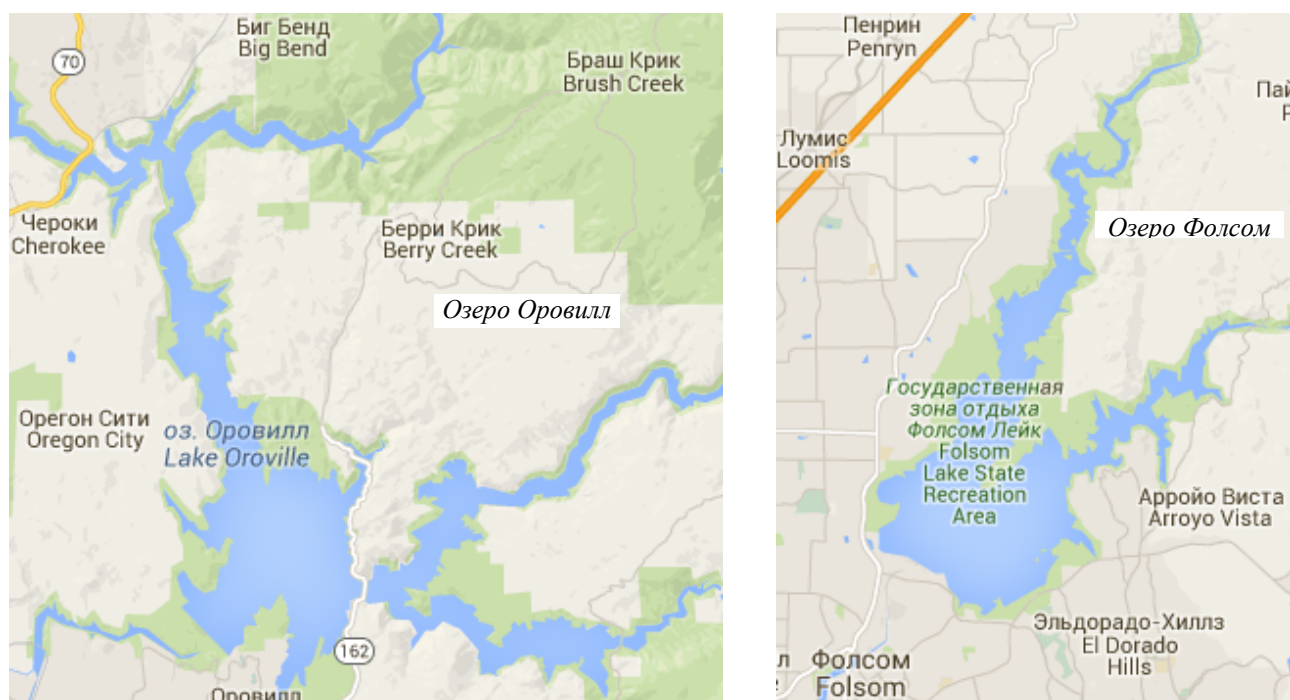


Рис. 1. Территории спутникового мониторинга последствий засухи

Для количественной оценки влияния засухи 2011 – 2015 гг. на выбранные крупные пресноводные водоемы (озера Оровилл и Фолсом) была выполнена обработка снимков спутника Landsat-8, которая включала следующие этапы [4-6]:

- предварительные операции (выбор области интереса, поиск снимка по дате и контроль качества снимка);
- спектральный синтез в натуральных и искусственных цветах с использованием тепловых каналов;
- создание индексных изображений NDWI и MNDWI;
- пороговую бинаризацию индексного изображения;
- морфологическую фильтрацию бинарного изображения;
- вычисление разностного изображения для двух разновременных снимков;
- векторизацию бинарного изображения и расчет характеристик (площадь водной поверхности и протяженность береговой линии).

Индексные изображения NDWI (Normalized Difference Water Index) и MNDWI (Modified NDWI) позволяют выделить на спутниковом снимке водные объекты по спектральным каналам ближнего ИК(NIR), коротковолнового ИК(SWIR) и видимого (Green) диапазонов [7].

Они рассчитываются по формулам

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR); \quad (1)$$

$$MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR). \quad (2)$$

Данные формулы используют существенное различие коэффициентов отражения (альбедо) в спектральных каналах ближнего ИК-, коротковолнового ИК- и видимого диапазонов, соответствующих водной поверхности и суше [8].

На рис. 2 показаны результаты основных этапов обработки снимка озера Оровилл от 12 августа 2015 г. со спутника Landsat-8 (съёмочный прибор OLI).

На рис. 3 показаны изменения озера Оровилл между 3 июня 2013 г. и 12 августа 2015 г. по данным спутника Landsat-8. Уменьшение площади водной поверхности составило 2112 га.

На рис. 4 показаны изменения озера Оровилл в районе Форман-Крик за 2011 – 2015 гг. по спутниковым данным высокого разрешения. Смещение береговой линии составило 2,5 км.

Приведенные выше катастрофические последствия многолетней засухи наблюдались практически на всем участке береговой линии озера Оровилл.

Благодаря широкой полосе захвата съёмочного прибора OLI спутника Landsat-8 был проведен аналогичный мониторинг изменений для озера Фолсом по тем же снимкам.

На рис. 5 показаны результаты основных этапов обработки снимков озера Фолсом со спутника Landsat-8 12 августа 2015 г. (съемочный прибор OLI).

На рис. 6 показаны изменения озера Фолсом в районе полуострова Кэмпграунд за 2011 – 2015 гг. по спутниковым данным высокого разрешения. Смещение береговой линии составило более 3,4 км.

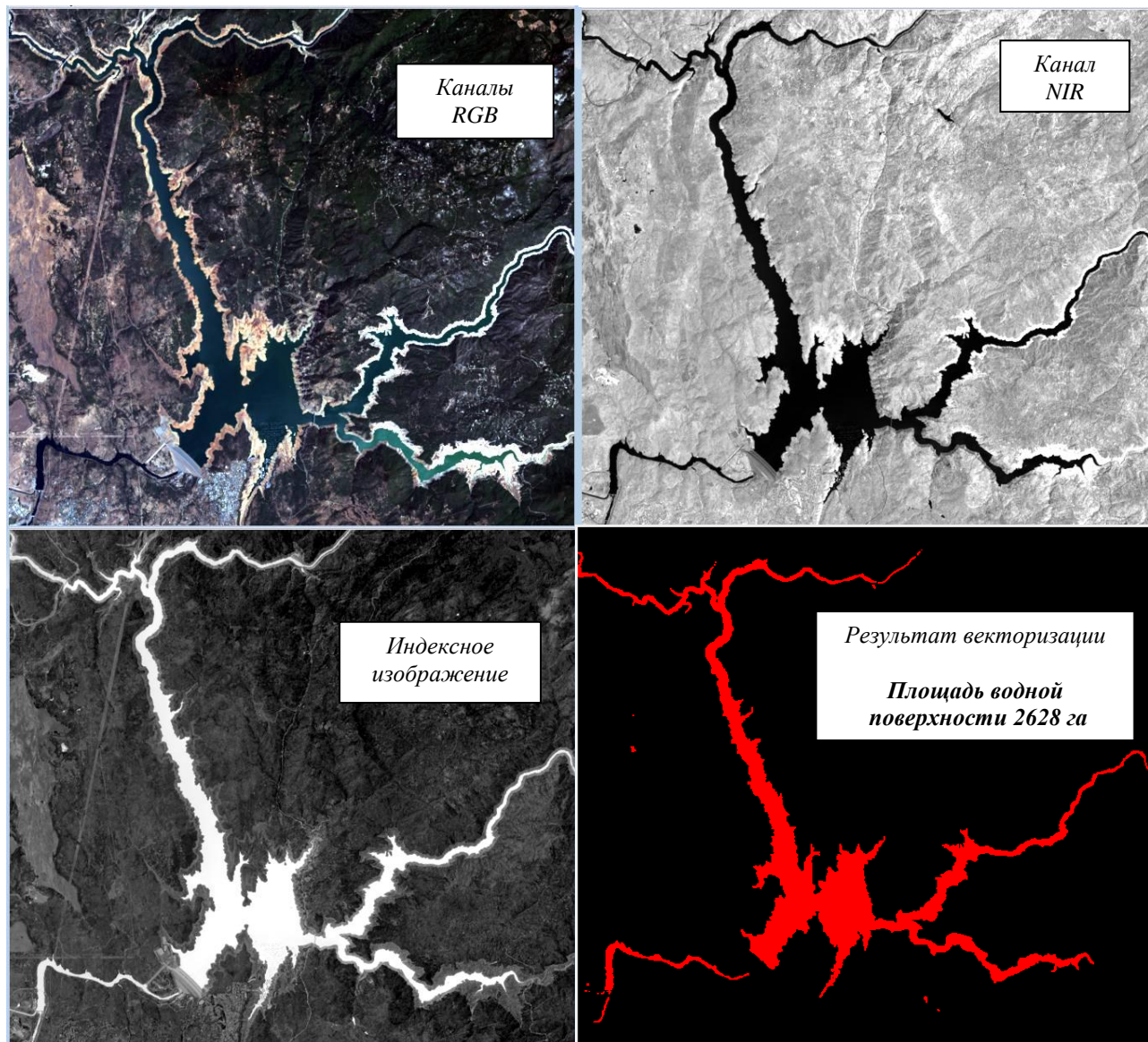


Рис. 2. Результаты обработки снимка озера Оровилл от 12 августа 2015 г.

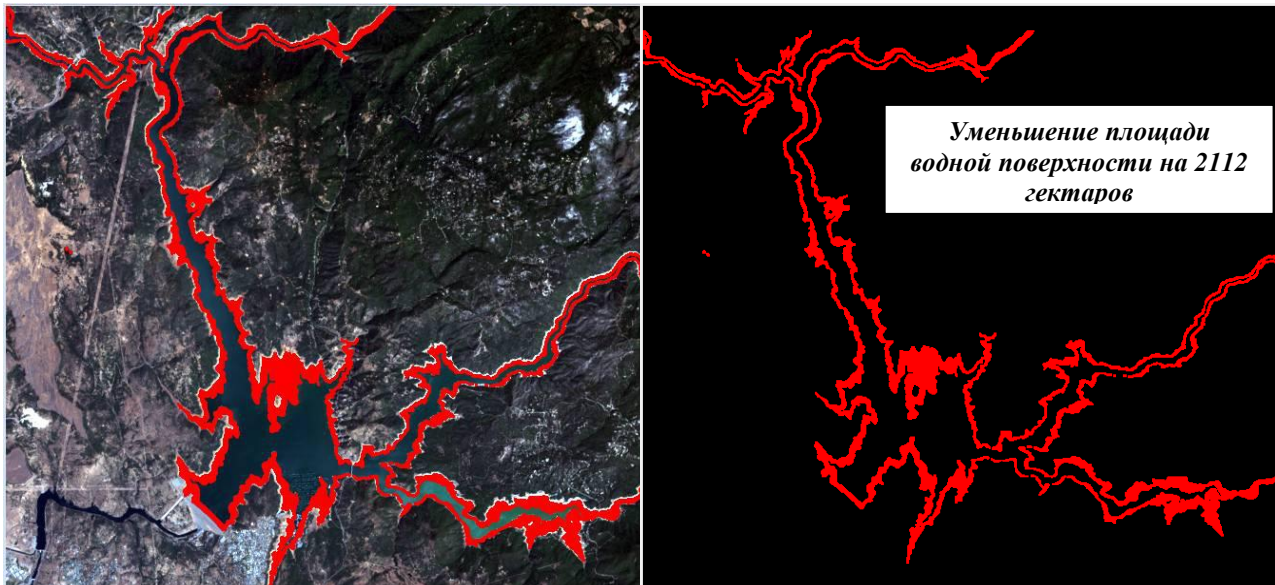


Рис. 3. Изменения озера Оровилл между 3 июня 2013 г. и 12 августа 2015 г.

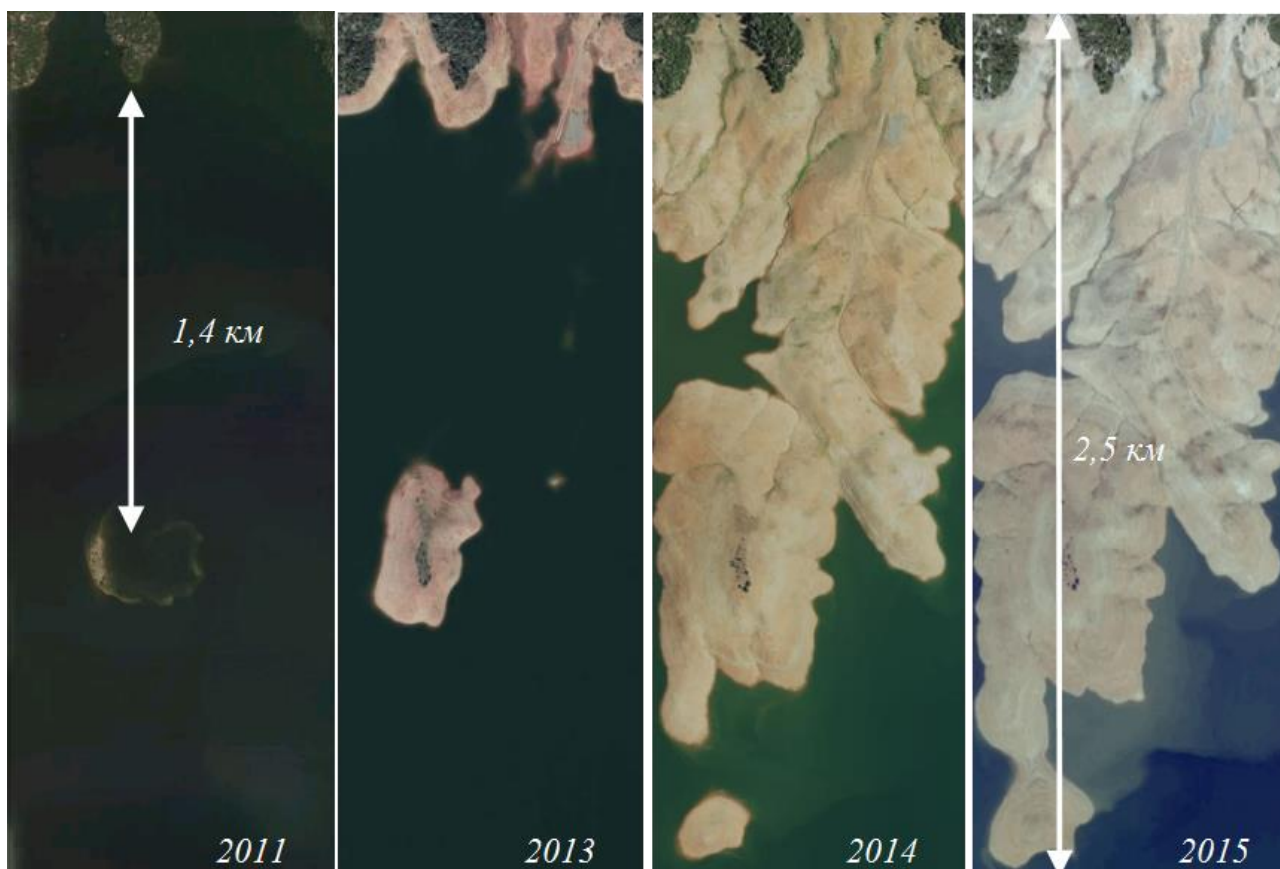


Рис. 4. Изменения озера Оровилл в районе Форман-Крик за 2011 – 2015 гг.

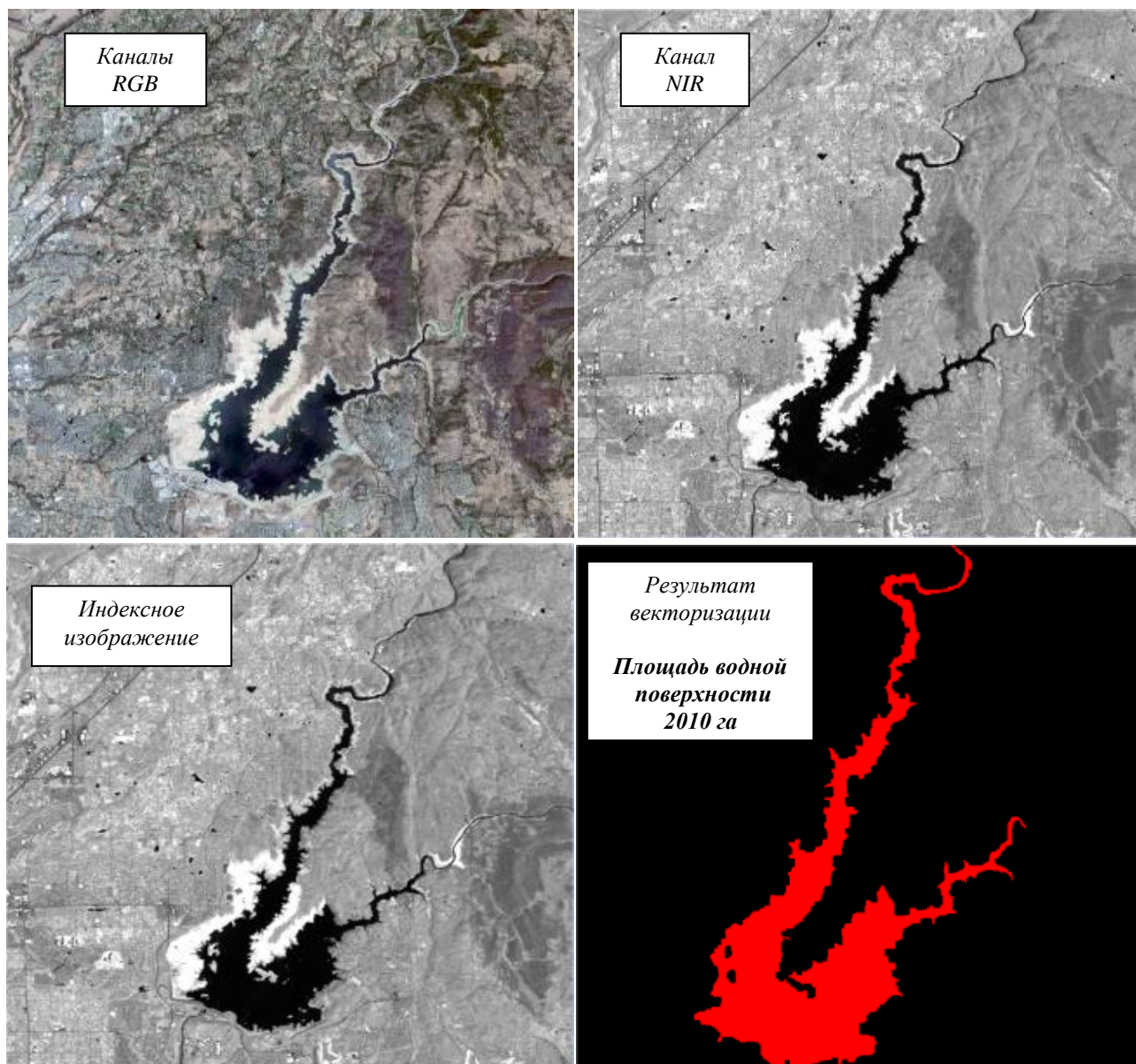


Рис. 5. Результаты обработки снимка озера Фолсом от 12 августа 2015 г.

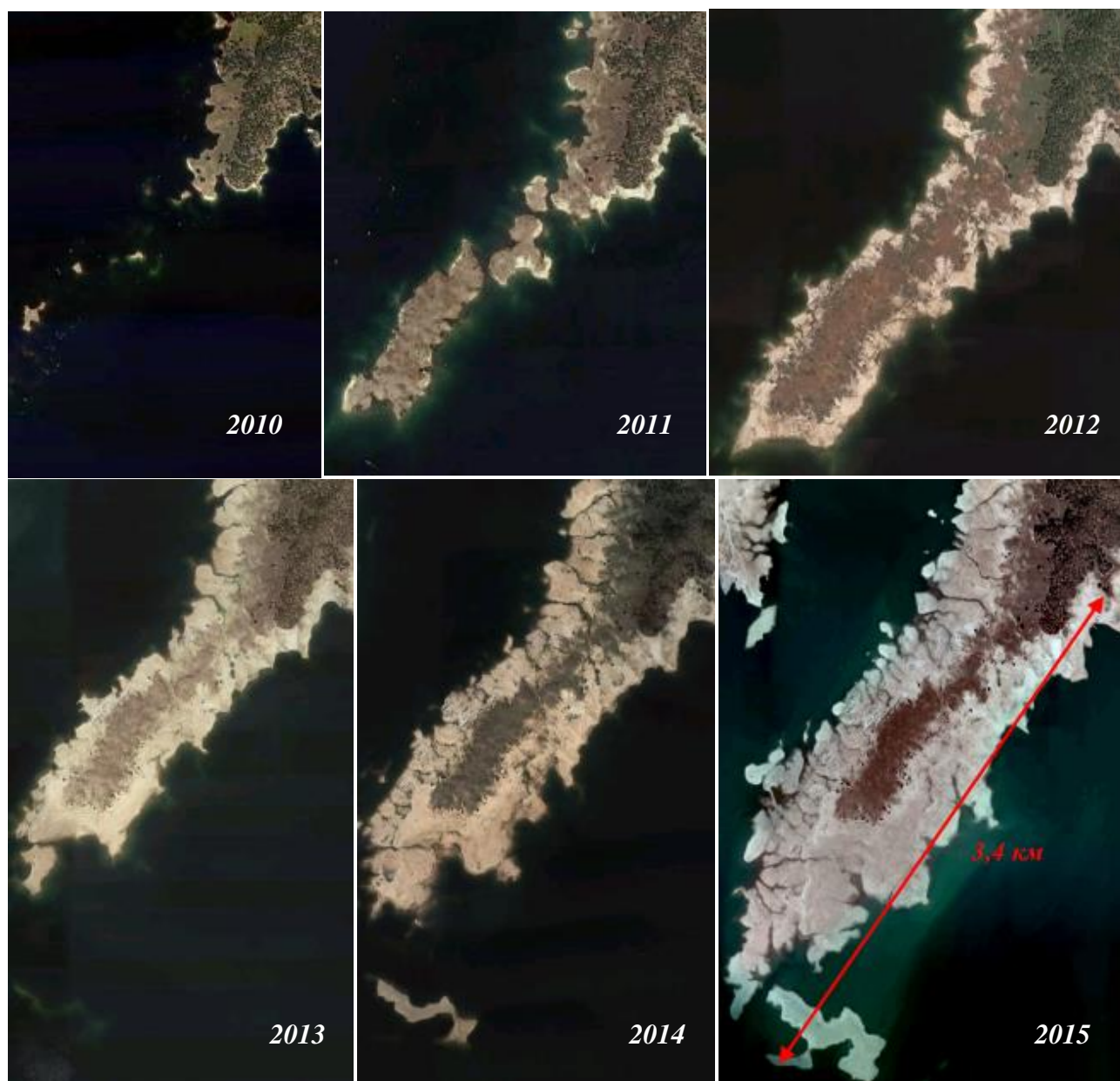


Рис. 6. Изменения озера Фолсом в районе полуострова Кэмпграунд за 2011 – 2015 гг.

Масштабные последствия засухи, показанные на примере озер Оровилл и Фолсом, характерны и для других крупных пресноводных водоемов Калифорнии, большая часть из которых имеет статус водохранилищ, а также для водоемов в других штатах США. Например, озеро Мид, обеспечивающее водой Лас-Вегас на 90%, содержит на 145 футов воды меньше, чем обычно. Ожидается, что озеро обмелеет еще на 20 футов к июню 2016 года. Речь идет не только о воде, но и об обеспечении электричеством: плотины ГЭС почти пересохли.

По спутниковым данным 2011 – 2015 гг. выявлены существенные смещения береговой линии озер Оровилл и Фолсом:

- в районе Форман-Крик смещение около 2,5 км;
- в районе Лампкин-роуд смещение более чем на 1,2 км;
- в районе полуострова Кэмпграунд смещение более чем на 1,2 км.

Благодаря доступности спутниковых снимков и современным технологиям их обработки стало возможным создание веб-службы регулярного космического мониторинга пресноводных водоемов в районах засухи [9, 10].

Пользователями такой службы могут являться:

- государственные контролирующие структуры (водоснабжающие предприятия, лесная, экологическая, аграрная службы и т.п.);
- государственные и частные компании водного транспорта (объективная оценка влияния засухи на судоходство);
- туристические компании (мониторинг территорий массового отдыха);
- муниципальные службы, частные компании, фермеры (проведение мероприятий по минимизации водопотребления);
- телерадиокомпании и другие средства массовой информации (пропаганда рационального водопользования);
- население, проживающее вблизи территорий, пострадавших от засухи (получение объективной и достоверной инфор-

мации относительно масштабов и тяжести последствий засухи).

Список использованной литературы

1. Мозговой Д. К., Волошин В. И. Методика съемки береговых линий // Сб. тез. 6-й Укр. конф. по космическим исследованиям, Крым, Евпатория, НЦУИКС, 3-10 сент. 2006. – Институт космических исследований НАНУ-НКАУ, 2006. – С. 136.
2. Mozgoviy D. K., Parshina O. I., Voloshin V. I., Bushuev Y. I. Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine// Geographic Uncertainty in Environmental Security / Edited by A. Morris, S. Kokhan. – Dordrecht: Springer, NATO Public Diplomacy Division, 2007. – P. 259-270.
3. Мозговой Д. К., Волошин В. И. Технология съемки прибрежных зон // Современные проблемы рационального природопользования в прибрежных морских акваториях Украины: Тез. докл. Междунар. конф. молодых ученых, г. Севастополь – п. Качивели, 12-14 июня 2007 г. – Севастополь: НПЦ "ЭКОСИ-Гидрофизика", 2007. – С. 21-22.
4. Мозговой Д. К. Использование данных наблюдения Земли для мониторинга природных ресурсов // Наук. читання «Космічні технології на користь стійкого розвитку і безпеки суспільства», 18 трав. 2007 р. – Національний центр аерокосмічної освіти молоді України, Дніпропетровськ. – <http://www.festival.nas.gov.ua/2007/Measures/Pages/1062.aspx>.
5. Мозговий Д. К. Підвищення інформативності супутникової зйомки малорозмірних об'єктів земної поверхні // Програма наук. конф. за підсумками науково-дослідної роботи університету за 2012 рік. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2012. – С. 92.
6. Мозговой Д. К. Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач/ Тез. докл. Междунар. науч.-практич. форуму «Наука и бизнес», 29-30 июня 2015 г., Днепропетровск, Noosphere Ventures inc. – С. 191-194.

7. Мозговой Д. К. Спутниковый мониторинг лесных пожаров и засухи / Тез. докл. Междунар. науч.-практич. конф. «Передовые методы обработки и анализа космической информации», 3-4 дек. 2015 г., Днепропетровск, Noosphere Ventures inc. – С. 48-53.

8. Мозговой Д. К., Васильев В. В. Анализ многолетней засухи по данным Landsat-8// Вісн. ДНУ. Ракетно-космічна техніка. – 2016. – Вип. 13, т. 24. – № 4. – С. 79-89.

9. Mozgovoy D. K. Monitoring of the droughts consequence by high resolution satellite images // Ecology and noospherology. – 2016. – Vol. 27, № 1-2. – P. 89-90.

10. Мозговой Д. К. Мониторинг последствий засухи по спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения // Екологія та ноосферологія. – Т. 27, №1-2. – Київ – Дніпропетровськ, 2016. – С. 90-95.

Статья поступила 07.02.2016