

УДК 626/627:628.011.56

**Т. Т. Ибраев, М. А. Ли, Н. Н. Бакбергенов**

Казахский научно-исследовательский институт водного хозяйства, Тараз,  
Республика Казахстан

### **ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ ТЕХНОЛОГИЙ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*Целью исследований являлась разработка метода оценки и диагностирования технического состояния ГТС на основе технологий дистанционного зондирования Земли для обеспечения устойчивого и рационального использования водных ресурсов Казахстана. Был проведен комплекс наземно-космических исследований на двух пилотных участках по мониторингу технического состояния ГТС, а также исследование методом георадиолокации, методами дистанционного зондирования Земли и радарной интерферометрии. Научная значимость результатов работы заключается в использовании современных методов и средств наземных и космических наблюдений для оценки технического состояния ГТС юга Казахстана, а также в разработке метода оценки и диагностирования их параметров на основе технологий дистанционного зондирования Земли. Практическая ценность результатов состоит в возможности оценки технического состояния ГТС с применением технологий дистанционного зондирования Земли посредством разработанного метода оценки и диагностирования их параметров. При этом нет настоящей необходимости в проведении трудоемких и дорогостоящих наземных исследований. Предлагаемые разработки могут быть использованы водохозяйственными организациями для оперативной и достоверной оценки технического состояния ГТС при принятии важных управленческих решений и разработке инженерно-технических мероприятий по их ремонту и реконструкции.*

*Ключевые слова: гидротехническое сооружение, ирригационная система, дистанционное зондирование Земли, техническое состояние.*

Орошаемые земли Казахстана в 7–8 раз продуктивнее, чем неполивные. В настоящее время из 2075 тыс. га орошаемых земель (с потенциальной продуктивностью до 600 млрд тенге в год), имеющих в наличии, используются 1420 тыс. га, или 68 % (62 % от ранее освоенных земель), на которых ирригационные системы (ИС) и гидротехнические сооружения (ГТС) изношены более чем на 70 % [1]. Мировая практика показывает, что регулярная оценка технического состояния ГТС и проведение по ее результатам ремонтных и восстановительных работ позволяют в несколько раз сократить ущерб от вредного воздействия вод или возможных аварий.

Совокупность применяемых методов исследований отличается системным подходом, т. е. оценка и диагностирование технического состояния ИС и ГТС рассматриваются как целостный комплекс взаимосвязанных элементов. Методическое обеспечение исследований основывается на фундаментальных подходах к изучению технического состояния водохозяйственных объектов с использованием наземно-космических методов оценки и диагностирования технического состояния ИС и ГТС на 2 пилотных участках.

Жанакорганский массив орошения имеет межхозяйственные каналы протяженностью 86,4 км и внутрихозяйственные каналы протяженностью 948 км (97 % в земляном русле), а также 19 ГТС. Георгиевский массив орошения имеет магистральный канал протяженностью 4,2 км, межхозяйственные каналы протяженностью 111,5 км и 23 ГТС. Так как срок эксплуатации каналов и сооружений на Жанакорганской (1966–1976 гг.) и Георгиевской (1931–1936 гг.) ИС составляет свыше 50–80 лет, многие из них характеризуются ухудшенным техническим состоянием и, следовательно, сниженной гидрав-

лической эффективностью и эксплуатационной надежностью. Фактический износ каналов и ГТС составляет более 60–70 %.

Измерения перемещений точек, расположенных на поверхности ГТС, производят геодезическими методами [2] с использованием тахеометра Leica. Обработка и анализ полученных данных геодезических съемок показали, что ГТС имеют просадки и горизонтальные смещения отдельных конструкций на десятки миллиметров, смещения оси оросительных каналов иногда превышают один метр, дно каналов имеет значительные отклонения от проектных отметок (на величину свыше полуметра), т. е. эти показатели значительно превышают нормативные параметры. Необходимы значительные объемы бетонных и земляных ремонтно-восстановительных работ.

Оценка технического состояния ИС и ГТС осуществлялась на основе наблюдений с использованием геофизического метода – непрерывного георадиолокационного профилирования георадаром «ОКО-2» [3, 4]. Проведены тестовые испытания методом георадарного зондирования состояния бетонных и земляных конструкций Жанакорганской и Георгиевской ИС (рисунок 1).

С помощью георадарного зондирования конструкций гидроузлов обнаружено наличие значительных объемов разуплотнений земляных конструкций, а также трещин и раковин в бетонных конструкциях. Повторное георадарное обследование с профилированием по тем же точкам, по которым проводилось ранее (привязка GPS-координатами), показало дифференциацию зон разуплотнений по некоторым георадарограммам, что свидетельствует об увеличенной фильтрации воды через тело земляных сооружений, и особенно о контактной фильтрации в местах сопряжения бетонных и земляных конструкций.

Вычисленные с помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) значения вегетационного индекса NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), который является основным индикатором, позволяющим определить состояние растительности, использовались нами в качестве индикационных признаков технического состояния ИС. Для распознавания рисовых чеков с удовлетворительной и низкой продуктивностью в настоящей работе используется технология комплексной обработки результатов классификации RGB-композиата и вычисления индекса NDVI. На рисунке 2 приведены синтезированные по трем спектральным диапазонам (RGB) космические снимки Landsat Жанакорганской и Георгиевской ИС. На рисунке 3 приведены результаты автоматизированного дешифрирования разновременных космических снимков Жанакорганской и Георгиевской ИС.

На рисунке 4 приведены результаты автоматизированного дешифрирования состояния Жанакорганской и Георгиевской ИС на основании расчета индекса NDVI по данным космического аппарата Landsat.

Сравнительный анализ результатов расчетов индекса NDVI по данным дистанционного зондирования космическим аппаратом Landsat показывает значительную деградацию земель Жанакорганской ИС в 2014 г., которая обусловлена сокращением площадей, занятых растительным покровом, преимущественно в южной части массива. С помощью вычисленных суммарной площади рисовых чеков с низкой продуктивностью ( $S_p$ , км<sup>2</sup>) и общей посевной площади исследуемого участка Жанакорганской ИС ( $S_f$ , км<sup>2</sup>) можно определить коэффициент  $P$  эффективности функционирования ИС:

$$P = S_f / S_p = 260 \text{ км}^2 : 25 \text{ км}^2 = 10,4.$$

Чем больше чеков с низкой продуктивностью, тем меньше значение коэффициента  $P$ . Суммарная площадь рисовых чеков с удовлетворительной продуктивностью составляет 24,07 км<sup>2</sup>. Эта же методика применена для мониторинга технического состояния Георгиевской ИС.

Дешифрирование данных ДЗЗ применительно к территории ИС и ГТС с использованием материалов наземных наблюдений было выполнено построением RGB-композиатов

IRS Р6 сенсоров LISS-4 PAN и MSS за 2012 и 2014 гг. с пространственным разрешением 6 м на головных сооружениях Жанакорганской и Георгиевской ИС. При сравнительном визуальном анализе по данным оптической космической съемки IRS за 2012 и 2014 гг. отмечаются в основном изменения в виде незначительных смещений земляных конструкций ГТС (рисунок 5).

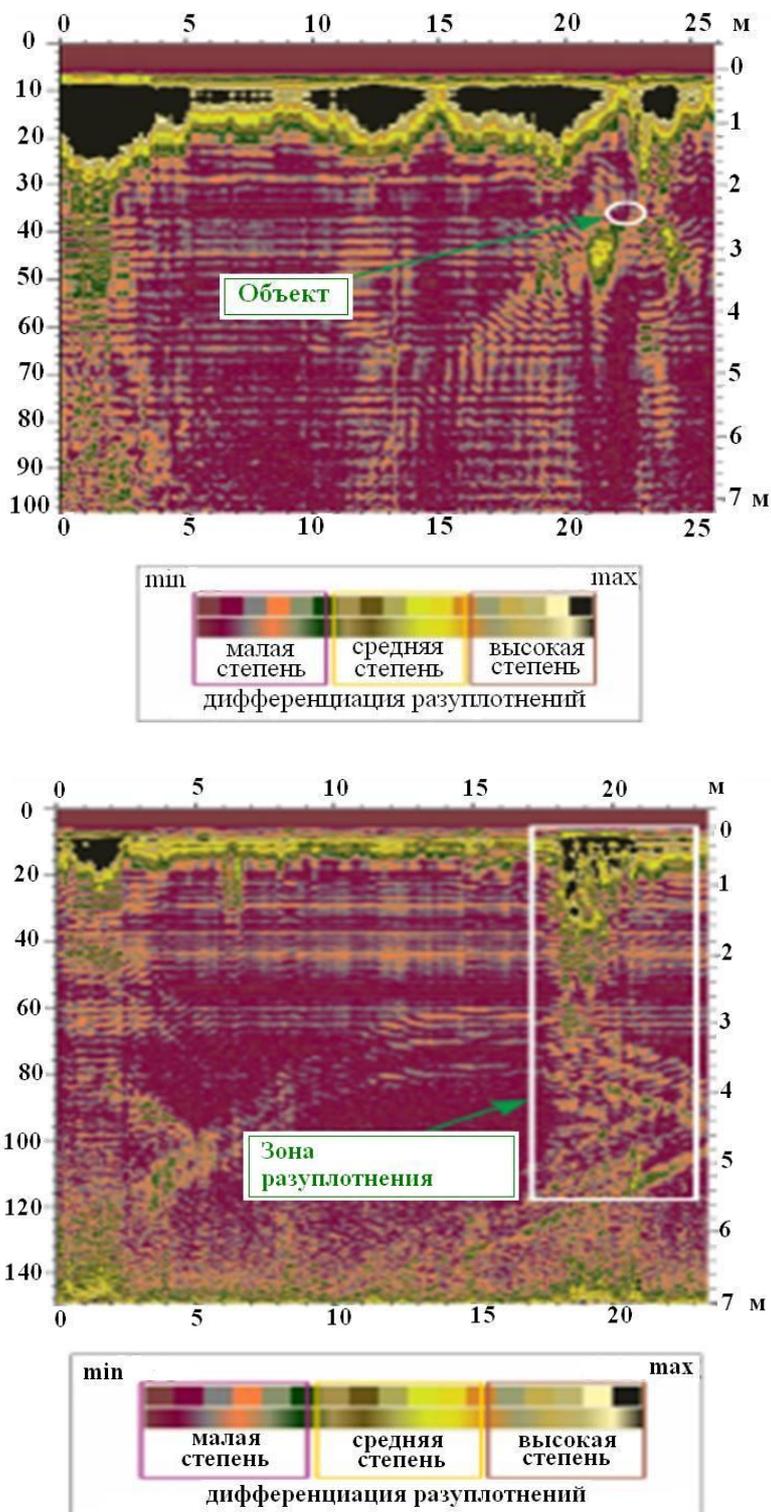


Рисунок 1 – Продольные профили № 006 пикета 309 Жанакорганской ИС и пикета № 002 головного тройника Георгиевской ИС

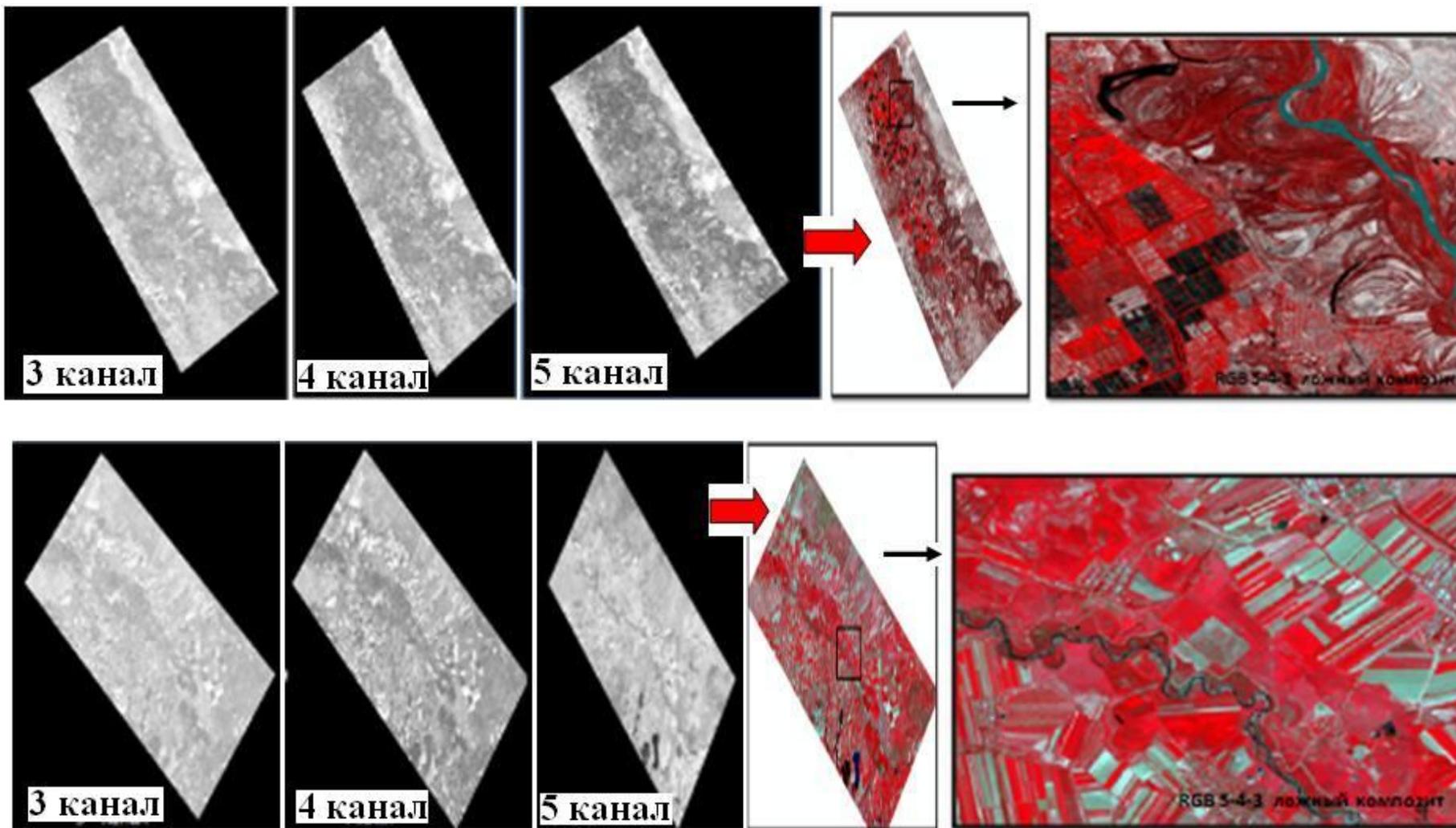


Рисунок 2 – Синтезированный по трем спектральным диапазонам (RGB) космический снимок Landsat Жанакорганской и Георгиевской ИС

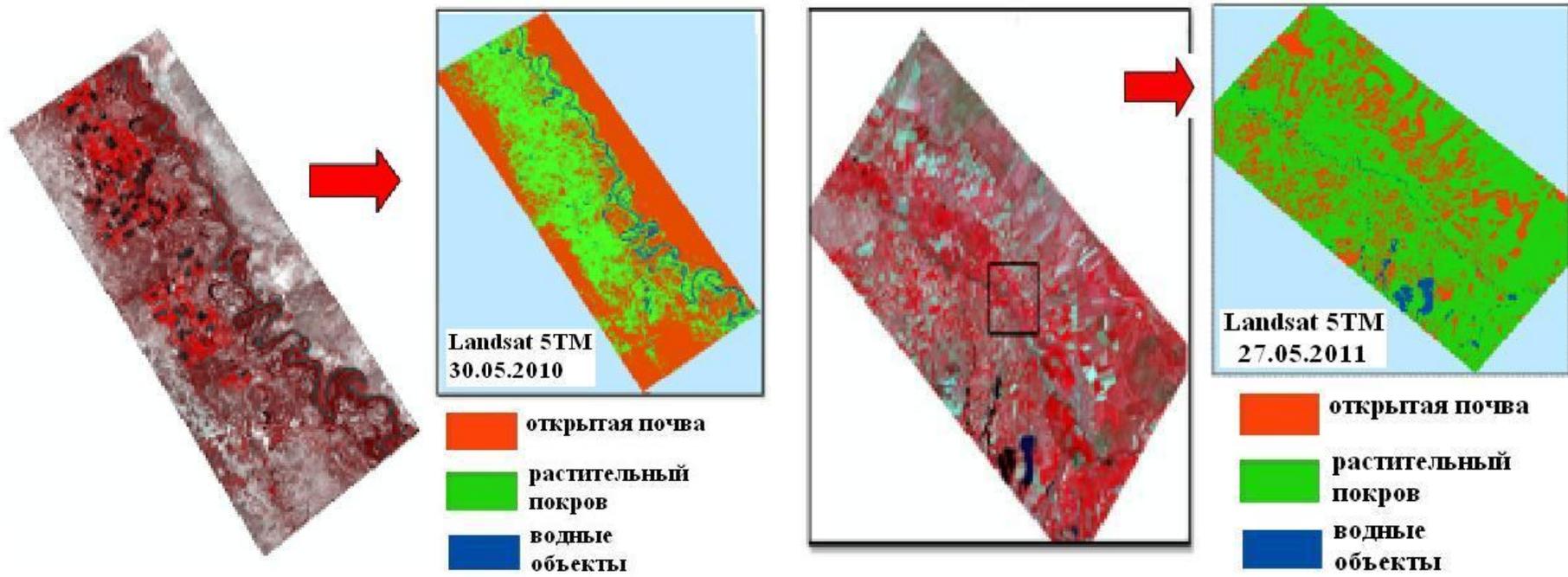


Рисунок 3 – Дешифрирование основных типов природных объектов Жанакорганской и Георгиевской ИС с использованием алгоритмов автоматической классификации

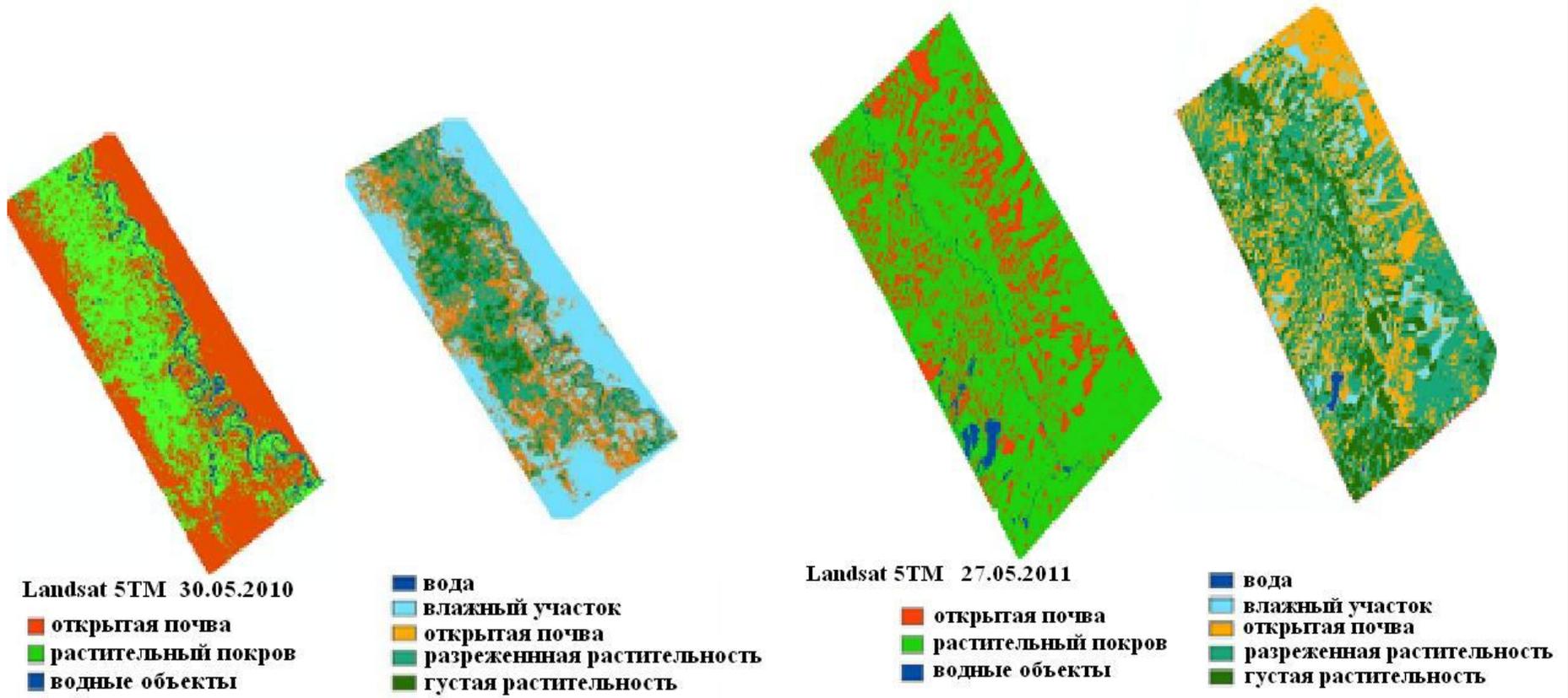


Рисунок 4 – Результаты автоматизированного дешифрирования состояния природных объектов Жанакорганской и Георгиевской ИС

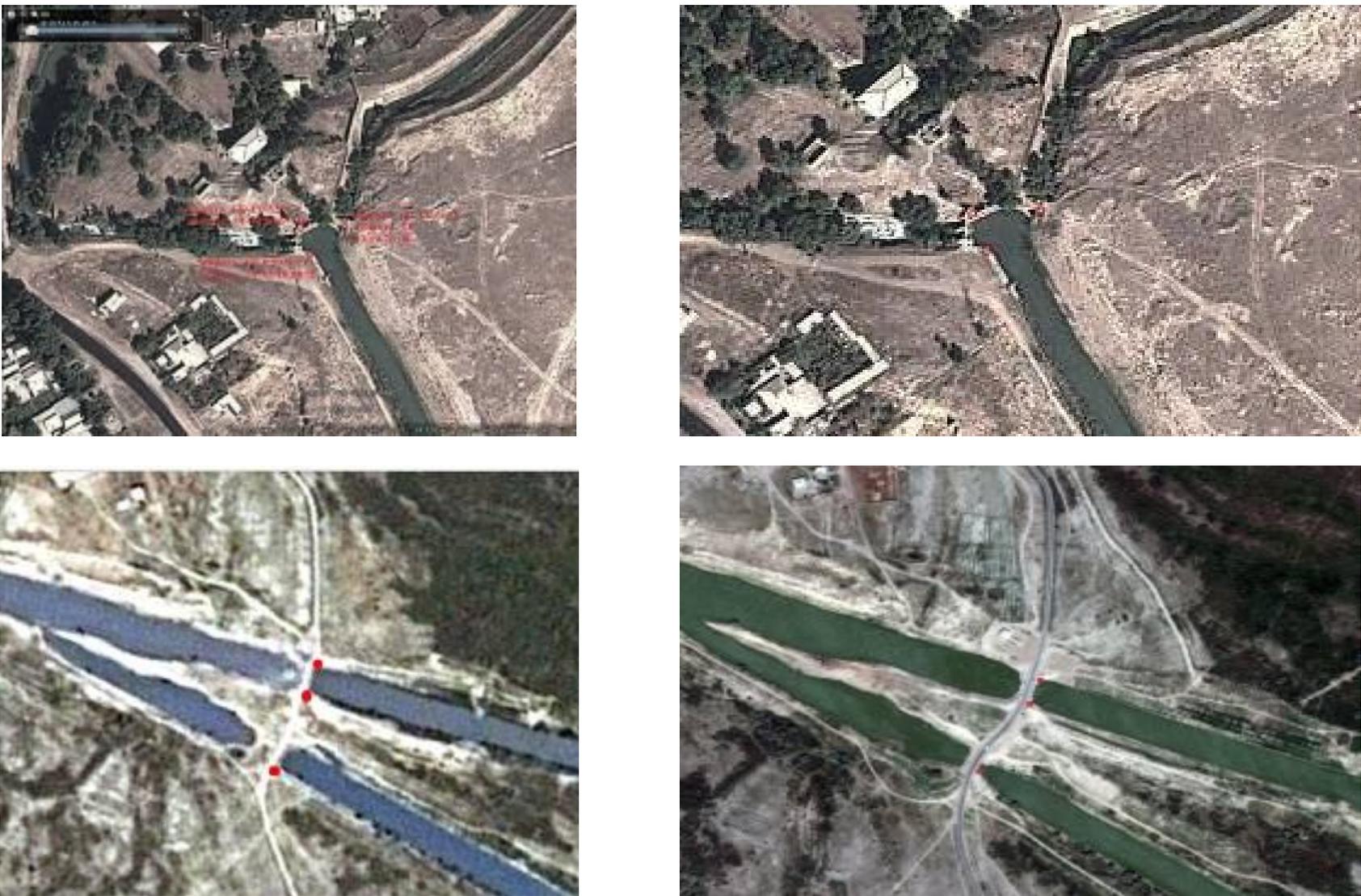
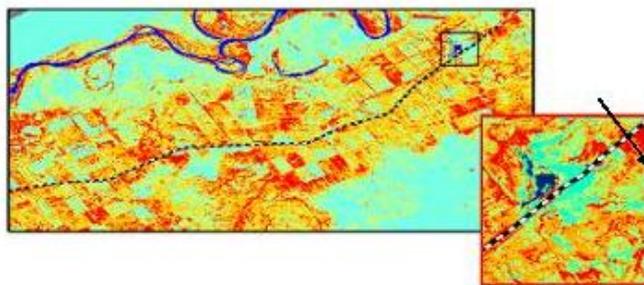


Рисунок 5 – IRS P6 2012–2014 гг. RGB-композит

В результате применения разработанной методики автоматизированного дешифрирования (получения синтезированного изображения, использования алгоритмов автоматической классификации) получено обработанное синтезированное космическое изображение с выделенными природными объектами (рисунок 6). На данном изображении отчетливо видно аномальное водное образование, которое возникло в непосредственной близости от основного оросительного канала и, скорее всего, является следствием прорыва основного канала в результате возникшего заиливания коллекторов, обрушения откосов, наносов и др.



**Рисунок 6 – Результат обработки синтезированного космоснимка Landsat**

Мониторинг технического состояния ИС и ГТС на основе спутниковых данных обладает рядом преимуществ: широким диапазоном точности практически в глобальном масштабе от десятков метров до единиц миллиметров; высокой производительностью труда (в 5–10 раз выше, чем в классических технологиях); высокой экономической эффективностью, т. к. не нужно обеспечивать прямую видимость между наблюдаемыми пунктами и строить высокие знаки; независимостью от погодных условий; высокой степенью автоматизации; возможностью выполнять наблюдения в движении и др. Однако имеются следующие недостатки: сравнительно высокая стоимость оборудования; точность существенно ниже наземной съемки при мониторинге небольших сооружений.

Оценка технического состояния наблюдаемых объектов Жанакорганской и Георгиевской ИС в системе сбора, обработки спутниковых данных и при мониторинге динамических процессов каналов и сооружений оросительных систем показала, что износ отдельных конструкций водораспределительных ГТС достигает 60–70 %, отмечаются деформации и разрушения бетонных поверхностей. На участках, прилегающих к бетонным сооружениям, георадарным зондированием определены многочисленные разуплотнения земляных поверхностей с активными фильтрационными процессами.

Георадарное обследование ИС и ГТС с профилированием по ранее проведенным съемкам (привязка GPS-координатами) показало дифференциацию зон разуплотнений по некоторым георадарограммам, что свидетельствует об увеличенной фильтрации через тело земляных сооружений, и особенно о контактной фильтрации в местах сопряжения бетонных и земляных конструкций.

#### **Список использованных источников**

1 Кененбаев, Т. Требуется комплексная модернизация ирригации и дренажа в Казахстане. Орошение ждет кардинальных мер [Электронный ресурс] / Т. Кененбаев // АгроЖаршы. – 2012, 28 сентября. – № 38(216). – Режим доступа: [agrozhharshy.kz/index.php?option=com...view](http://agrozhharshy.kz/index.php?option=com...view).

2 Пособие по производству геодезических работ в строительстве / ЦНИИ ОМТП Госстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1985.

3 Изюмов, С. В. Теория и методы георадиолокации / С. В. Изюмов, С. В. Дручинин, А. С. Вознесенский. – М.: Изд-во «Горная книга», 2008. – 196 с.

4 Дудник, П. И. Многофункциональные радиолокационные системы: учеб. пособие для вузов / П. И. Дудник, А. Р. Ильчук, Б. Г. Татарский; под ред. Б. Г. Татарского. – М.: «Дрофа», 2007. – 283 с.