

темах с разными параметрами / Ю. И. Васильев, С. Ю. Турко, А. Н. Сарычев // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Вып. 56. – Ч. 2. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2014. – С. 5–14.

3 Павловский, Е. С. Агроресомелиорация и плодородие почв / Е. С. Павловский, Ю. И. Васильев, К. И. Зайченко. – М.: Агропромиздат, 1991. – 287 с.

4 Васильев, Ю. И. Общие положения планирования фермерского хозяйства / Ю. И. Васильев, С. Ю. Турко // Вестник РАСХН. – 2015. – № 3. – С. 12–13.

5 Власенко, М. В. Продуктивность и флористическое разнообразие пастбищ Сарпинской низменности под влиянием фитомелиорации: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Власенко Марина Владимировна. – Волгоград, 2014. – 22 с.

6 Ракутин, М. Н. Земельный кадастр Волгоградской области / М. Н. Ракутин. – Волгоград: Нижне-Волжское книж. изд-во, 1977. – 160 с.

УДК 556.18.08

**Н. Н. Бакбергенов**

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

### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК НА ВОДОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

*Обоснована необходимость мониторинга состояния ирригационных систем и гидротехнических сооружений на них. Оценены преимущества и недостатки методов космических исследований различных объектов. Описан опыт применения спутниковых технологий для мониторинга за рубежом. В качестве меры предупреждения аварийных ситуаций на гидротехнических сооружениях Казахстана предложен комплексный анализ их состояния с использованием данных космического и наземного мониторинга.*

*Ключевые слова: космическая съемка, мониторинг водохозяйственных объектов, спутниковые измерения, техническое состояние водохозяйственных объектов.*

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 и дренажные системы изношены более чем на 70 %. Сооружения на них из-за изношенности и выхода из строя не обеспечивают нормированную водоподачу. В результате снижается уровень полезного использования сельскохозяйственных земель и наносится экологический ущерб окружающей среде [1].

По данным Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан, в настоящее время из имеющихся 643 гидротехнических сооружений (ГТС) 268 гидросооружений, в том числе 28 крупных, нуждаются в срочном ремонте. В республиканской собственности находится 24 % крупных ГТС (61 водохранилище, 91 гидроузел и магистральный канал), остальные находятся на балансе коммунальных, промышленных и сельскохозяйственных предприятий. Серьезной проблемой являются малые ГТС, часть которых заброшена, не имеет владельцев или эксплуатационной службы. Их техническое состояние крайне неудовлетворительно. Ежегодный ущерб от неудовлетворительного состояния регулирующих и защитных сооружений в результате воздействия паводков, наводнений, подтоплений оценивается в целом по стране в десятки миллионов долларов США. Кроме того, примерно во столько же оценивается ущерб самим водным ресурсам.

В этих условиях оценка технического состояния ирригационных систем с использованием технологий дистанционного зондирования представляет первостепенный инте-

рес и является основополагающей в решении задач продовольственной безопасности страны. Использование средств дистанционного зондирования позволяет получать полную и достоверную информацию о состоянии ирригационных систем и о хозяйственной деятельности на них. Современные средства космической съемки дают однородную и сравнимую по качеству информацию одновременно для обширных территорий, что практически недостижимо при любых наземных обследованиях. Важным свойством сведений, получаемых с космических снимков, являются их независимость от попыток сокрытия информации или ограничения доступа к ней, поэтому при решении поставленной задачи использование данных космической съемки наиболее эффективно и актуально.

Спутниковые технологии, основанные на применении радионавигационных систем GPS и ГЛОНАСС, прочно вошли в геодезическое производство [2, 3]. По сравнению с классическими геодезическими технологиями они обладают рядом преимуществ [4]:

- широкий диапазон точностей практически в глобальном масштабе от десятков метров до единиц миллиметров;
- высокая производительность труда (в 5–10 раз выше, чем в классических технологиях);
- экономическая эффективность вследствие отсутствия необходимости обеспечивать прямую видимость между наблюдаемыми пунктами и строительства геодезических знаков;
- независимость от погодных условий;
- высокая степень автоматизации;
- возможность выполнения наблюдений в движении и др.

Эти преимущества существенно перекрывают недостатки спутниковых технологий, из которых главными являются сравнительно высокая стоимость оборудования, зависимость от препятствий вблизи антенны, необходимость достаточно сложных преобразований координат (среди них на особом месте находится проблема получения нормальных высот) и другие.

Первоначальное назначение спутниковых радионавигационных систем (СРНС) – координатно-временное обеспечение. Наличие общедоступного сигнала стандартного дальномерного кода дало мощный толчок для разработки применения СРНС в различных сферах деятельности. Область применения существенно расширилась после того, как были разработаны теория и аппаратура для измерений фазы несущей волны. При этом была достигнута точность миллиметрового уровня на расстояниях до нескольких километров.

С развитием спутниковых технологий стала неуклонно расширяться область их применения. Если первые наблюдения выполнялись исключительно для построения небольших опорных геодезических сетей (сетей сгущения и инженерных сетей в середине 80-х гг. прошлого столетия), то, постепенно доказывая превосходство новых технологий в точности, геодезисты перешли к построению государственных сетей (типа известной высокоточной сети NARN в США) и сверхточных геодинимических сетей. Из последних наиболее известна глобальная сеть Международной геодинимической службы, начавшая функционировать в 1994 г. [5]. Эта служба не только отслеживает динамику тектонических плит и совместно с Международной службой вращения Земли (МСВЗ) поддерживает общеземные системы ITRF, но и обеспечивает геодезистов данными измерений, полученными на станциях мировой сети, точными эфемеридами и другой информацией, крайне необходимой при выполнении работ самой высокой точности.

Одной из особенностей спутникового метода наблюдений является его способность определять местоположения как мгновенно, так и в течение очень длительного периода времени. Этот фактор делает спутниковый метод незаменимым в задачах мониторинга объектов с самой разнообразной динамикой. Метод пригоден как для мони-

торинга движений тектонических плит, имеющих скорости несколько сантиметров в год, так и для мониторинга космических объектов, имеющих скорости десятки километров в секунду.

Мониторинг среды (атмосферы) с применением GPS может выполняться в двух вариантах:

- спутниковый метод выступает только как средство геодезической привязки измерений параметров среды;

- сигналы от спутников GPS используются как носители информации о среде, через которую они прошли, то есть как средство дистанционного зондирования.

Как средство зондирования GPS успешно применяется для мониторинга состояния ионосферы и для определения осаждаемого количества паров воды. Последний вид мониторинга предопределил появление GPS-метеорологии.

Навигационные системы GPS и ГЛОНАСС создавались для целей навигации, то есть мониторинга передвижения мобильных объектов, поэтому они быстро нашли применение и во многих других областях. Мониторинг объектов можно разделить на две категории: мониторинг состояний (например, деформаций) и мониторинг положений. Мониторинг можно характеризовать по оперативности получения результата: от долей секунды до нескольких часов, суток и более. В первом случае подходит только кинематика реального времени, во втором случае возможны как статические, так и кинематические наблюдения.

Одна из первых работ по мониторингу деформаций проводилась в 1986–1987 гг. в провинции Альберта (Канада). Здесь были проведены работы по мониторингу деформаций газопровода. Для наблюдений использовался одночастотный пятиканальный фазовый GPS-приемник 4000SX (фирмы Trimble Navigation, США). Следует отметить трудности первых наблюдений: навигационная система еще полностью не развернута, недостаток спутников позволял делать лишь короткие сеансы (в пределах одного часа). Из-за неуверенности в объективности данных GPS-наблюдений работы были дополнены измерениями направлений, расстояний и превышений классическими методами геодезии с использованием теодолитов, электронных дальномеров и нивелиров. Уравнивание спутниковой сети продемонстрировало точность в базовых линиях  $(5 \pm 15) \cdot 10^{-6}$  мм. Точность обычных наблюдений составляет от 3 до 6 мм, а на тех же линиях для GPS – от 5 до 20 мм. Авторы сделали вывод о том, что с использованием GPS достижимая точность составила 1–2 см и этого вполне достаточно для мониторинга газопровода [6].

Мониторинг деформаций инженерных сооружений (мостов, башен, труб и т. д.) с применением спутниковых технологий становится обычным явлением. В США появились компании, специализирующиеся на работах по мониторингу сооружений (например, Orion Monitoring Systems в г. Солт-Лейк-Сити, штат Юта, Condor Earth Technologies в г. Сонора, штат Калифорния), которые применяют те или иные технологии в зависимости от выбора заказчика. При этом точность спутникового метода (единицы миллиметров) на небольших расстояниях (до 1–2 км) часто уступает классическим методам. Главное преимущество GPS-мониторинга состоит в его непрерывном характере, что возможно и в реальном масштабе времени, и с последующей обработкой. Это особенно важно, когда альтернативой является ручная съемка, выполняемая с интервалом в год, полгода или ежемесячно. Тот факт, что GPS является очень точным средством, дает непрерывные измерения и не требует частой калибровки, обеспечивает большую степень доверия к фактически полученным деформациям.

В зависимости от типа сооружения и требований его владельцев используются множество приемников на исследуемом сооружении, а также множество базовых станций. Множество приемников на намеченном сооружении дают большую уверенность в том, что они точно контролируют его движение. Установка двух или более базовых станций вне сооружения, а затем наблюдение множества базовых линий до намеченно-

го сооружения, как и между базовыми станциями, гарантирует, что движение намеченного сооружения будет выявлено.

Весьма важным считается темп записи данных. Для зданий темп наблюдений должен быть очень высоким (до 20 Гц), но для плотин он может быть намного ниже (5 мин). Высокие частоты лучше подходят для захвата начала динамических деформаций у сооружений типа высоких зданий и мостов с длинным пролетами при их длительном мониторинге, в то время как низкие частоты больше подходят для медленно или импульсивно деформирующихся сооружений типа дамб с земляным заполнением и оползневых явлений [7].

GPS-измерения позволяют осуществлять контроль положения точек на теле плотины (на открытых участках) в режиме постоянного слежения с максимально доступной скоростью измерения положения до 20 раз в секунду [8]. Такие стационарно установленные в ответственных местах плотин GPS-приемники без дополнительных затрат трудовых ресурсов могут сократить объем обязательных геодезических наблюдений в разы и при этом осуществлять контроль положения контрольных точек практически в непрерывном режиме (рисунок 1). Возможности такой геодезической системы настолько широки, что позволяют регистрировать динамические нагрузки высокой частоты.



**Рисунок 1 – Структурная схема наземной спутниковой системы GPS-мониторинга объекта**

Организация и аппаратное оснащение гидротехнических объектов геодинамического мониторинга:

- глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS);
- наземные или локальные системы позиционирования (LPS: роботизированные тахеометры, нивелиры, гидроуровни);
- датчики или сенсоры (LS: инклинометры, тензометры);
- сейсмометрические станции;
- программное обеспечение для анализа деформаций и управления аппаратными средствами.

Особенности спутниковой системы:

- возможность эксплуатации в режиме онлайн и офлайн;
- модульность исполнения, открытый интерфейс (к системе могут быть подключены практически любые аппаратные средства и измерительные комплексы, в т. ч. GeoMoS);
- коммуникация с помощью радиомодемов, GSM или соединительных кабелей;
- возможность удаленного технического обслуживания;
- возможность использования в любых климатических и топографических условиях.

Для комплексного автоматизированного мониторинга ГТС в режиме реального времени с успехом используются системы производства фирмы TOPCON (Япония), которые включают как GPS-системы, так и набор разнообразных датчиков, измеряющих вибрации, наклоны и другие виды деформаций [9].

Измеренные параметры передаются по системе сбора и передачи информации в центр автоматизированной обработки, где накапливаются и обрабатываются в режиме реального времени. В случае опасного развития деформационных процессов система дает предупреждение. Такими системами оснащаются наиболее ответственные ГТС, аварии на которых могут повлечь большие человеческие жертвы и материальные убытки [8].

В процессе мониторинга деформаций система обеспечивает [8]:

- моделирование классической геодезической сети и преобразование координат в систему пользователя;
- проверку стабильности опорных пунктов;
- фильтрацию и анализ данных (в т. ч. фильтрацию Кальмана, FEM);
- запись и графическое отображение информации (координат подвижных точек, результатов фильтрации, оценки дальнейшего поведения точек);
- обработку сейсмических материалов;
- подготовку прогноза развития деформаций;
- оповещение пользователей о достижении критических величин деформаций.

Обеспечение безопасности ирригационных систем и ГТС с учетом международного опыта представляется как системный процесс, который включает ряд взаимосвязанных процедур, ориентированных на предотвращение аварийных ситуаций, локализацию аварий при их возникновении, а также устранение их последствий. Меры предупреждения аварийных ситуаций на ГТС должны рассматриваться как непрерывная совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых этапов от проектирования, строительства и эксплуатации до эффективного управления этими объектами. Основой этому могут служить комплексные методы анализа состояния ГТС с использованием данных космического и наземного мониторинга.

Наземный мониторинг ГТС несколько шире, чем космический, и он наряду с результатами, получение которых возможно дистанционными методами, позволяет осуществлять более широкий спектр наблюдений, который касается в значительной степени непосредственно плотин (рисунок 2) [9]. Однако методы наземного мониторинга и состав инструментов контроля состояния ГТС, используемые в Казахстане, не учитывают сегодняшнее состояние и развитие систем измерения.



**Рисунок 2 – Элементы системы DC3 (Deformation Control) наземно-космического мониторинга ГТС**

В заключение следует отметить, что мониторинг технического состояния водохозяйственных объектов на основе спутниковых данных обладает рядом преимуществ: широким диапазоном точностей практически в глобальном масштабе от десятков метров до нескольких миллиметров; высокой производительностью труда (в 5–10 раз выше, чем в классических технологиях); экономической эффективностью вследствие отсутствия необходимости обеспечения прямой видимости между наблюдаемыми пунктами и строительства геодезических знаков; независимостью от погодных условий; высокой степенью автоматизации; возможностью выполнять наблюдения в движении и др. При внедрении подобных технологий для осуществления мониторинга ГТС в будущем необходимо будет учесть и недостатки: сравнительно высокую стоимость оборудования; более низкую точность при мониторинге сооружений в сравнении с наземной съемкой и др.

#### Список использованных источников

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

2 Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А. А. Генике, Г. Г. Побединский. – М.: Картоцентр; Геодезиздат, 1999. – 272 с.

3 Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС / под ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. – 2-е изд. – М.: ИПРЖР, 1999. – 560 с.

4 Антонович, К. М. Мониторинг объектов с применением GPS-технологий / К. М. Антонович, А. П. Карпик // Известия вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2004. – № 1. – С. 53–66.

5 GPS for geodesy / P. J. G. Teunissen, A. Kleusberg [eds.]. – Berlin: Springer, 1998. – 650 p.

6 Карпик, А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий: моногр. / А. П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 260 с.

7 Жуков, Б. Н. Геодезический контроль инженерных объектов промышленных предприятий и гражданских комплексов / Б. Н. Жуков, А. П. Карпик. – Новосибирск: СГГА, 2010. – 136 с.

8 Система мониторинга деформаций DC3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.cbgnnews.ru/.../sistema-monito...aczij-dc3.html](http://www.cbgnnews.ru/.../sistema-monito...aczij-dc3.html), 2014.

9 Антонович, К. М. Спутниковый мониторинг земной поверхности / К. М. Антонович, А. П. Карпик, А. Н. Клепиков // Геодезия и картография. – 2004. – № 1. – С. 4–11.

УДК 631.1:631.5:628.1

#### О. И. Дементьева

Институт агроэкологии и природопользования Национальной академии аграрных наук Украины, Киев, Украина

### ПРОДУКТИВНОСТЬ СОРТОВ РИСА ПРИ ПОЛИВАХ ВОДОЙ РАЗНОГО КАЧЕСТВА НА ЮГЕ УКРАИНЫ

*Цель исследований – изучение вопроса о возможности использования для полива риса дренажно-сбросных вод рисовой системы, минерализация которых выше минерализации днепровской воды. Разбавление поливной воды Краснознаменской ороситель-*