
СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БАССЕЙНА ОЗЕРА ХАНКА С ПОМОЩЬЮ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В нынешних условиях информационное обеспечение поддержки принятия решений по управлению риском наводнений осуществляется с использованием современных математических моделей формирования речного стока на водосборе и распространения паводковых волн в речных системах, моделей гидрологических процессов и русловых деформаций, моделей функционирования водохозяйственных систем и экологического риска и мезомасштабных метеорологических моделей. Развитие перечисленных, неструктурных, мер защиты от наводнений создает основу для поддержки решений о выборе, повышении надежности и экономической эффективности структурных мероприятий – строительства защитных гидротехнических сооружений, изменения (морфометрии) русел и т.п., которые направлены на обеспечение необходимого уровня безопасности населения, социальных и производственных объектов.

Целью предлагаемого проекта является интеграция сведений о гидрологии водосбора, данных наблюдений и математических моделей в единую систему

знаний и технологий мониторинга и прогнозирования гидрологического цикла для создания научной основы разработки схем рационального использования, охраны и управления водными ресурсами в бассейне оз. Ханка.

Озеро Ханка – самое обширное озеро Дальневосточного региона РФ – является трансграничным, располагается в средней части Западно-Приморской равнины на границе с КНР. Северная часть озера, оз. Малая Ханка и соответствующая часть водосбора принадлежат КНР. Водный баланс определяется соотношением притока и расходования влаги. Приток воды в оз. Ханка в среднемноголетнем разрезе на 54% (567 мм, или 2,3 км³) формируется за счет выпадения осадков на его поверхность и на 46% (476 мм, или 1,93 км³) – за счет впадающих в озеро рек. Главными расходными статьями являются: 56% – испарение с поверхности (584 мм, или 2,37 км³), 44% – сток р. Сунгача (453 мм, или 1,84 км³) [3].

Предположительно приведенные в работе 1978 г. [3] данные стали неактуальными уже в начале 80-х годов прошлого столетия. На топографических картах этого периода показана уже существующая межбассейновая переброска стока на территории КНР – в бассейне оз. Малая Ханка существуют развитые рисовые системы, на которые вода подаётся из р. Мулинхэ и далее сбрасывается в оз. Малая Ханка и оз. Ханка. Предварительная оценка с привлечением современных данных дистанционного зондирования Земли показала практически двукратное (с 18 тыс. до 32 тыс. км², без учета площади зеркала) увеличение площади водосбора озера. Данные инструментальных измерений, позволяющие оценить воздействие этой переброски на гидрологический режим озера, российским специалистам в настоящее время недоступны.

Кроме того, хозяйственное воздействие на объем воды в озере и, соответственно, уровенный режим водоёма должно учитывать нелинейный характер связи стока из озера с уровнем воды в нём, что ранее выражалось в относительно слабой реакции уровня на рост и снижение приточности в водоём [1, 7]. Учитывая уже установленный факт глобального потепления климата и выявленные признаки климатических изменений и гидрологических последствий этого в Приморском крае, следует ожидать, что экстремально высокое стояние уровня озера последних лет может являться отражением определенной тенденции изменения его режима. С учетом этого необходимо иметь оценку таких изменений и их последствий для жизнедеятельности в бассейне оз. Ханка и выработка рекомендаций по адаптации системы природопользования к подобным процессам в настоящее время и в обозримом будущем.

Основной задачей проекта является создание интегрированной системы прогнозирования декадного и месячного притока воды, а также долгосрочных, на два–три месяца вперед, сценарных расчетов притока воды к озеру, которая будет включать автоматизированную систему гидрометеорологического мониторинга, физико-математическую гидрологическую модель, численную модель атмосферы, геобазу данных дистанционного зондирования Земли и гидрофизических характеристик подстилающей поверхности, управляющие блоки, обеспечивающие их взаимодействие [3] (рис. 2.10). В качестве методической основы для решения поставленных задач предлагается использовать имеющиеся в этой области разработки

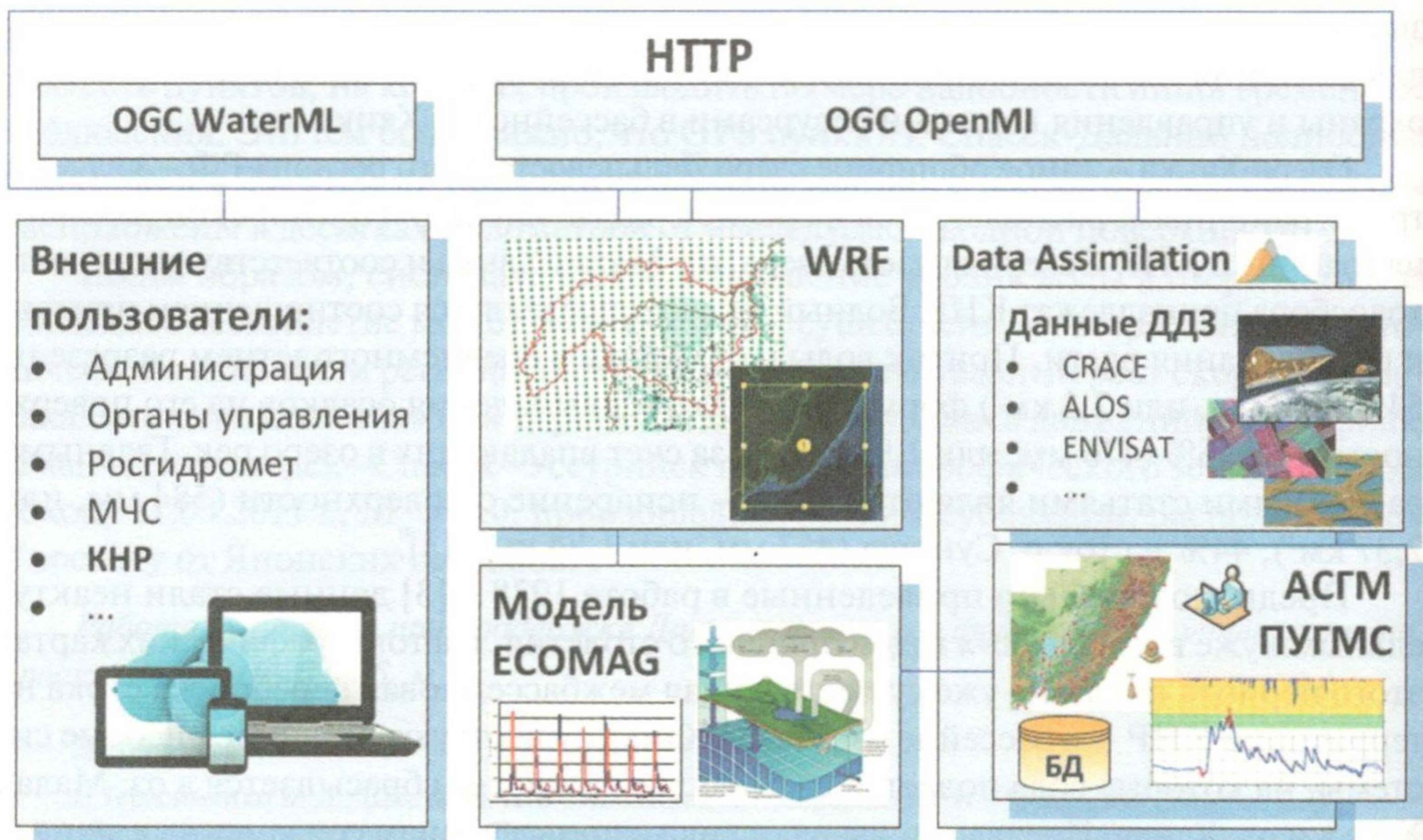


Рис. 2.10. Схема интегрированной системы прогнозирования гидрологического режима бассейна оз. Ханка

ИВП РАН, ТИГ ДВО РАН, ДВНИГМИ, ПУГМС и МГУ, доказавшие высокую эффективность при практическом и оперативном использовании на территории РФ.

Информационная основа проекта может быть в полной мере реализована на основе автоматизированной системы гидрологического мониторинга (АСГМ) Приморского УГМС, разработанной в рамках проекта восстановления, модернизации и развития гидрометеорологической сети и системы гидрологического прогнозирования в бассейне р. Амур [2]. АСГМ является результатом обобщения международного опыта и стандартов создания программного обеспечения управления оперативными и режимными гидрометеорологическими данными разного типа и степени обобщения. Научно-техническая концепция АСГМ обеспечивает практически неограниченную расширяемость и масштабируемость, совместимость с основными функционально-связанными разработками ведущих мировых институтов и коммерческих компаний в области мониторинга, моделирования и управления водными ресурсами, основана на использовании открытых международных стандартов, что особенно актуально для организации обмена данными наблюдений и прогностической информацией в трансграничном бассейне оз. Ханка.

Для реализации прогнозно-оценочных гидрологических расчетов предлагается использовать информационно-моделирующий комплекс ECOMAG (ECOlogical Model for Applied Geophysics) ИВП РАН. Комплекс предназначен для широкого круга гидрологических и природоохраных научных и прикладных задач диагностики и прогнозирования. Он включает в себя: пространственно-распределенную математическую модель гидрологического цикла, формирования стока, переноса и трансформации загрязняющих веществ в речных бассейнах, специализированную

географическую информационную систему (ГИС), базы архивных и оперативных гидрометеорологических данных и информации о характеристиках территории, а также управляющую оболочку [8].

Модель прошла испытания на многих речных бассейнах и доказала свою эффективность для практического управления водными ресурсами крупнейшими водохозяйственными системами Российской Федерации, включая Волжско-Камский и Ангаро-Енисейский каскады водохранилищ, использовалась в рамках ряда международных проектов для научно-прикладных задач геофизической и экологической направленности на реках Швеции, Норвегии и Франции. Начиная с середины 2000-х годов модель стала одной из ключевых компонентов методики гидролого-информационной поддержки принятия решений, используемой Федеральным агентством водных ресурсов – головным ведомством, отвечающим за управление крупнейшими каскадами водохранилищ РФ.

На основе модели ECOMAG проводились численные эксперименты для оценки изменений водных ресурсов при возможных климатических изменениях для различных регионов в различных физико-географических условиях, в том числе в бассейне Амура [6, 8]. Результаты этого исследования (рис. 2.11) предполагается использовать в качестве основы для создания прогностической модели водосбора оз. Ханка. Для этого требуется более высокое пространственное разрешение и актуализация данных землепользования (растительности, сельхозугодий, мелиоративных систем и т.п.), основных гидрофизических характеристик почвенного покрова, цифровая модель рельефа высокого разрешения и т.д.

Одной из важнейших проблем является задача обеспечения модели формирования стока достоверной пространственно-распределенной метеорологической информацией при отсутствии данных по территории КНР. Перспективным представляется использование расчетных и прогностических данных, полученных на основе выходной продукции оперативной региональной гидродинамической модели Weather Research and Forecasting – WRF Приморского УГМС [5]. Расчетная сетка оперативной модели WRF ПУГМС разрешением 5x5 км полностью покрывает водосбор оз. Ханка, включая водосбор р. Мулинхэ (рис. 2.12). В составе интегрированной системы прогнозирования WRF позволит учитывать пространственно-временное распределение метеорологических характеристик над водосбором и зеркалом озера, прогнозировать гидрологическую ситуацию на части водосбора оз. Ханка, расположенной на территории КНР. Такие технологии успешно применялись для расчетов паводков, вызванных тайфунами, в районе г. Уссурийска [3].

Проблема отсутствия механизма обмена с КНР данными гидрологических наблюдений, которые необходимы для калибровки и корректировки параметров моделирования, может быть решена на основе комплексного анализа данных ДДЗ и наземных измерений. С этой целью предлагается разработка алгоритмов усвоения прогностической системой данных спутникового мониторинга различных агротехнических и метеопараметров (ALOS, ENVISAT и др.).

Общее изменение запасов воды с месячным интервалом в масштабе водосбора может быть оценено по данным дистанционного определения гравитационного поля Земли GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment) [9]. Исследования

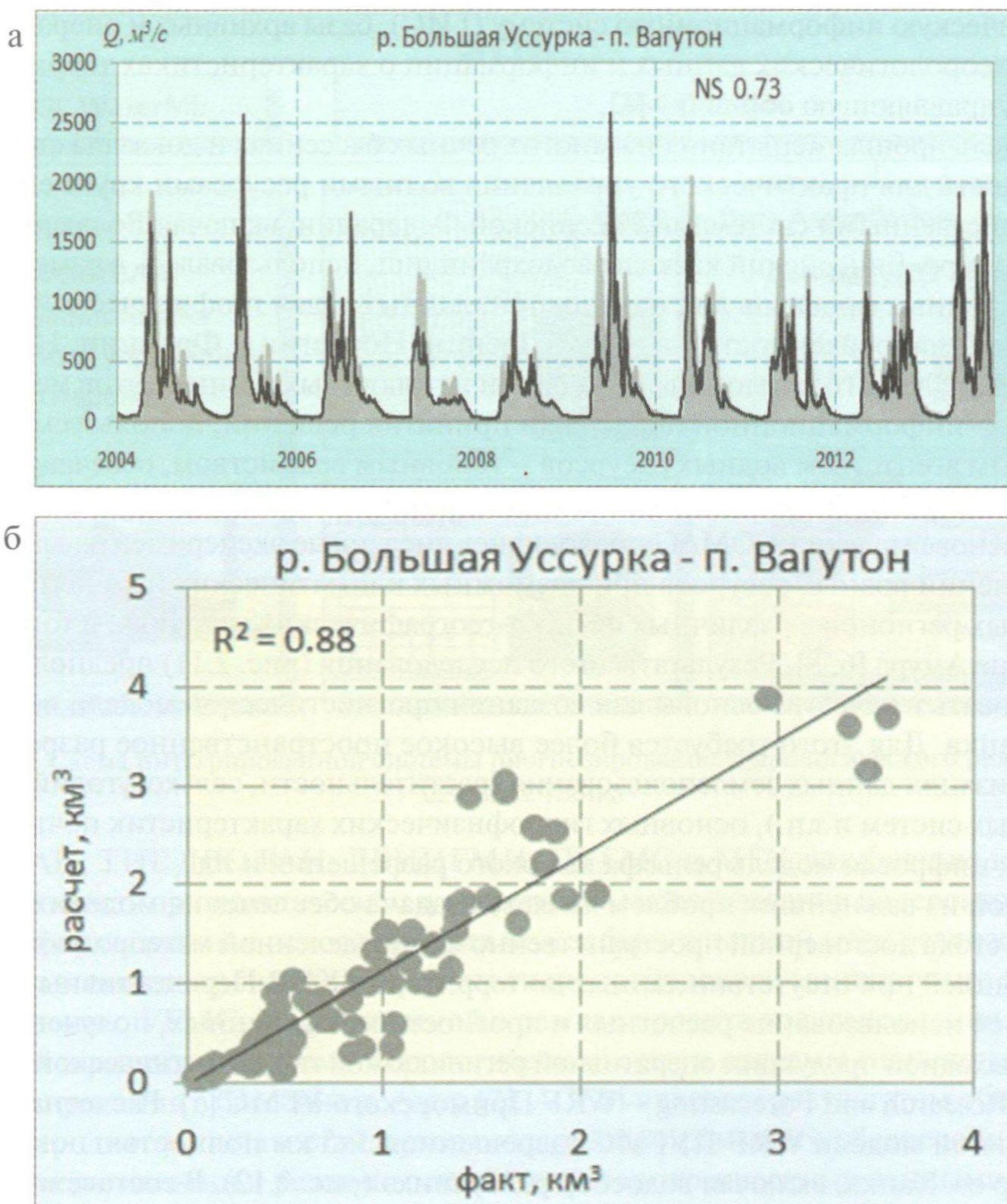


Рис. 2.11. Река Большая Уссурка—пос. Вагутон: а – расчетный и фактический суточный гидро-граф; б – связь фактических и рассчитанных объемов стока по месяцам

показали, что месячные изменения гравитационного поля Земли на суше в значительной степени могут быть отнесены к движению водных масс внутри континентальной части гидрологического цикла. Измерения гравитационного поля со спутника раскладываются по сферическим и естественным ортогональным функциям, производится фильтрация данных для того, чтобы выделить сигнал, связанный с перераспределением вод суши и изменением водных масс океана. Величины аномалий гравитационного поля в узлах регулярной сетки переводятся в эквивалентный уровень воды (ЭУВ), выраженный в миллиметрах. Точность расчетов изменения запасов воды находится в пределах 15 мм и менее, в зависимости от географической области. С помощью многоканального сингулярного спектрального анализа (МССА) были обработаны гравиметрические данные GRACE (Level 2

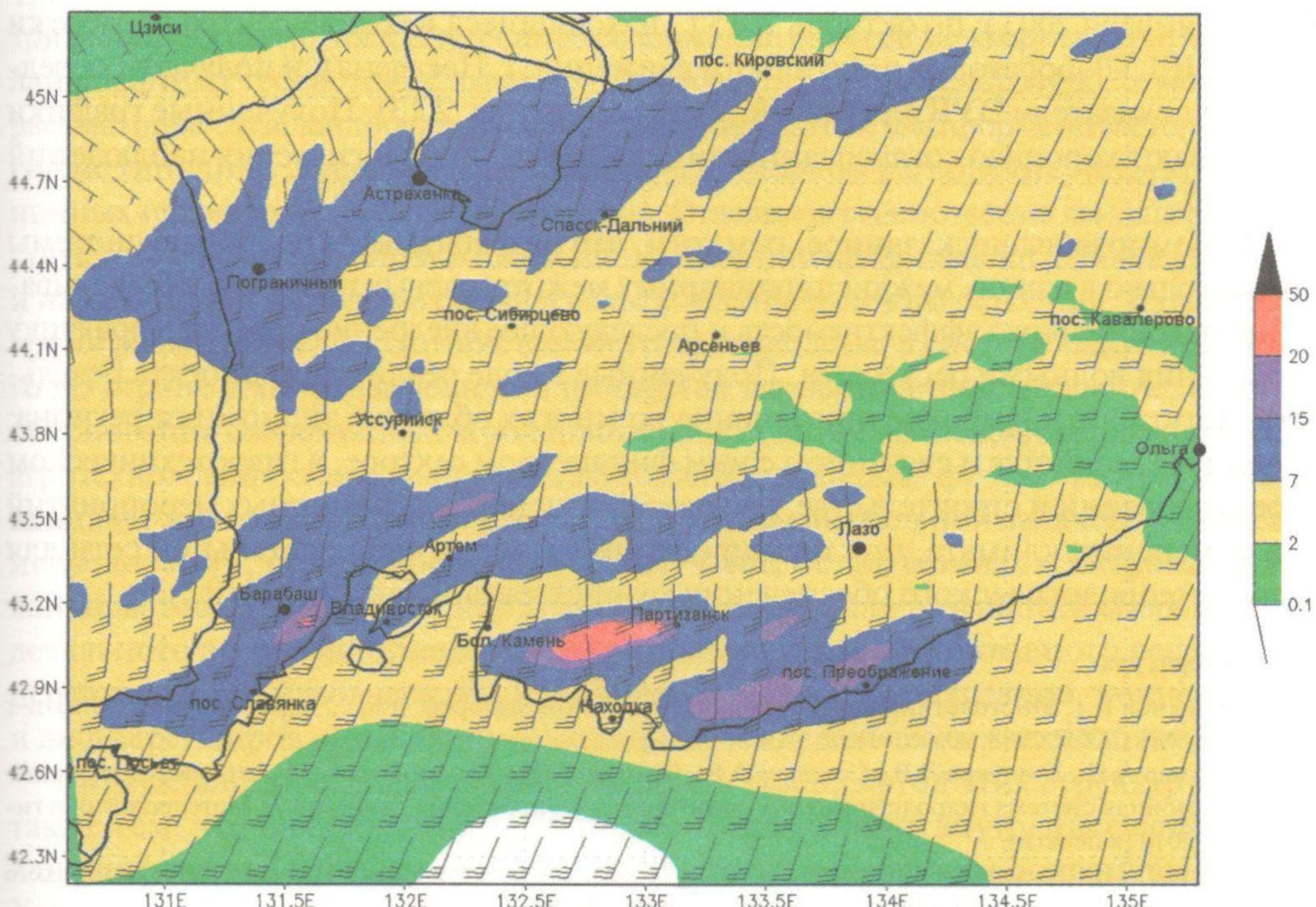


Рис. 2.12. Прогноз осадков и скорости ветра модели WRF над водосбором оз. Ханка

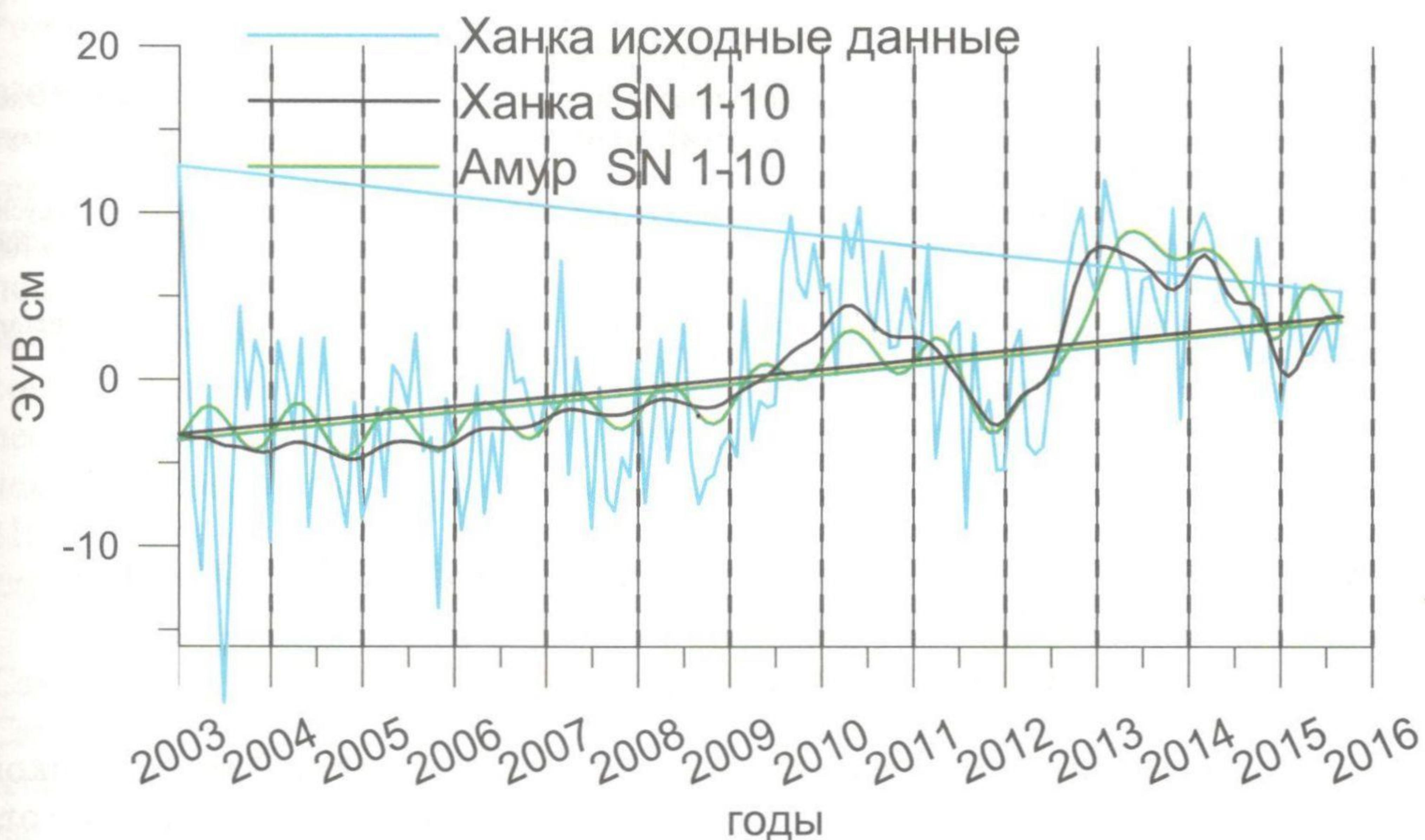


Рис. 2.13. Усредненные показатели эквивалентного уровня воды, обработанные с помощью МССА, для бассейна оз. Ханка (черный) и р. Амур (зеленый). Голубая кривая отражает исходные данные GRACE до применения метода МССА

RL05) с января 2003 г. по октябрь 2015 г., находящиеся в архиве центра обработки данных JPL (Лаборатория реактивного движения, г. Пасадена), и получены осредненные показатели ЭУВ для бассейна оз. Ханка (рис. 2.13). Полученные графики показывают хорошую согласованность с данными гидрологических наблюдений ПУГМС.

Резюмируя вышесказанное, отметим, что разрабатывать подобные системы можно только в рамках междисциплинарных межотраслевых проектов, обеспечивающих максимальную эффективность и последующее внедрение проекта в практику управления водными ресурсами. Полученные в ходе реализации проекта результаты могут найти широкое применение во многих областях экономики региона: в сельском хозяйстве и связанном с ним финансовом секторе, в гидротехническом проектировании и строительстве, для разработки компенсационных мероприятий при изменении климата, при планировании развития наблюдательной сети для гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности.

Литература

1. Баканов К.Г. Многолетний режим уровня озера Ханка: автореф. дис. ... канд. тех. наук. М.: Ин-т вод. пробл. АН СССР, 1988. 20 с.
2. Бугаец А.Н., Гончуков Л.В., Соколов О.В., Гарцман Б.И., Краснопеев С.М. Автоматизированная информационная система гидрологического мониторинга и управления данными // Метеорология и гидрология, 2016 (в печати).
3. Бугаец А.Н. Применение стандарта OpenMI для создания интегрированных систем гидрологического моделирования // Метеорология и гидрология. 2014. № 7. С. 93–105.
4. Васьковский М.Г. Гидрологический режим оз. Ханка. Л.: Гидрометеоиздат, 1978. 175 с.
5. Гончуков Л.В., Ламаш Б.Е. Численный прогноз опасных явлений погоды по северу Приморского края // Вестник ДВО РАН. 2010. № 6. С. 17–23.
6. Калугин А.С. Оценка влияния возможных изменений климата на сток р. Амур на основе ретроспективных данных // Водные ресурсы, экология и гидрологическая безопасность: сб. тр. IX междунар. науч.-конф. молодых ученых и талантливых студентов. М.: МГУ, 2015. С. 46–49.
7. Соколов А.А. О возможности долгосрочного прогноза среднегодового уровня озера Ханка // Экстремальные гидрологические события: теория, моделирование и прогнозирование: тр. междунар. науч.-конф. М.: ИВП РАН. 2003. С. 176–178.
8. Motovilov Yu., Gottschalk L., Engeland K., Belokurov A. ECOMAG – regional model of hydrological cycle. Application to the NOPEX region. Department of Geophysics, University of Oslo, Institute Report Series No.105. May 1999. 88 p.
9. Zotov L., Shum C., Frolova N. Gravity changes over Russian rivers basins from GRACE // Planetary Exploration and Science: Recent Results and Advances. Springer Geophysics. 2015. P. 45–59.