

УДК 504.45/556.5:004.942

Е. А. Дунаева, В. Ф. Попович, В. И. Ляшевский

Институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ И КАЧЕСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТКРЫТЫХ ГИС И АГРОГИДРОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Моделирование притока в водохранилища и оценка качества местных водоисточников – актуальные и приоритетные задачи, решение которых способствует повышению эффективности использования ограниченных местных водных ресурсов Крыма. Целью работы является продолжение методологических исследований, направленных на апробацию и внедрение программного инструментария моделирования водного баланса территорий формирования водных ресурсов предгорных водосборов, включая мониторинг их экологического состояния, выявление и анализ динамики основных факторов, влияющих на качественные характеристики водных ресурсов. Для моделирования качественных и количественных показателей стока и состояния водоисточников использованы открытые программные продукты ГИС и методология агрогидрологического моделирования. В статье представлены результаты апробации открытой модели MWSWAT для получения параметров притока в водохранилища, а также оценки качественных показателей стока р. Салгир в зоне формирования водных ресурсов г. Симферополя и в зоне влияния его городского водного цикла. На примере Симферопольского водохранилища, имеющего комплексное назначение и используемого не только для целей орошения, но также и для питьевого водоснабжения и энергетики, приводится сопоставление результатов компьютерного моделирования стока с материалами натурных наблюдений, а также оценка качества водных ресурсов с использованием индекса загрязненности воды. В заключении статьи отмечены особенности использования новой версии модели MWSWAT 2012, а также приводятся рекомендации по ее применению в качестве одного из инструментов системы интегрального управления водными ресурсами городского водного цикла, в т. ч. для анализа водообеспеченности территории и оценки сценарных вариантов ее развития, включая оценку влияния на качество и доступность водных ресурсов.

Ключевые слова: ГИС, агрогидрологическое моделирование, водосборный бассейн, доступность, MWSWAT, водохранилище, городской водный цикл, Крым, водные ресурсы.

Ie. A. Dunaieva, V. F. Popovych, V. I. Lyashevskiy

Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

DYNAMICS ANALYSIS OF QUANTITATIVE AND QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF WATER RESOURCES USING OPEN GIS AND AGRO-HYDROLOGICAL MODELS

Reservoir inflow simulation and estimation of the local water sources quality are actual and priority problems. Solution of these problems facilitates to increase the efficiency of local water resources use in Crimea. The aim of this study is to continue methodological research focused on appraisal and implementation of software tools for simulating water balance at the territories where water resources of piedmont watersheds are forming including the monitoring of their ecological state, revelation and analysis of the dynamics of the main

factors impacting on the quality characteristics of water resources. To simulate quality and quantity indices of runoff and the state of water sources, open software products GIS and methodology for agro-hydrology simulation were used. The article presents the results of appraisal of the open model MWSWAT for parameters of reservoir inflow, as well as the estimation of quality indices for runoff of the Salgir River in the zone where water resources of the city Simferopol forming and in the influence zone of city water cycle. The comparison of the computer simulation results and field observations, as well as the estimation of the quality of water resources using water pollution index, was done on the example of the Simferopol reservoir, which is multi-purpose and used besides irrigation, for drinking water supply and energy. The article concludes by the use specifics of the new version of the model MWSWAT 2012, as well as recommendations for its use as one of the tools for integral management system of the city water cycle including the analysis of sufficiency of territory water supply and the estimation of scenario variants of its development including the estimation of the impact on quality and water resources availability.

Keywords: GIS, agro-hydrology simulation, watershed, availability, MWSWAT, reservoir, city water cycle, Crimea, water resources.

Введение. Моделирование и анализ работы водохозяйственных систем с использованием геоинформационных систем (ГИС) позволяют объединить в себе возможности картографического масштабирования и распределенной базы данных (БД) линейных, точечных и пространственных объектов, что является актуальным как для задач пространственного планирования, так и для оценки водообеспеченности и условий формирования водных ресурсов территорий. При этом наиболее эффективным является объединение ГИС с возможностями использования средств дистанционного зондирования земли, глобальных и региональных БД, а также аналитических моделей. Применение открытых программных продуктов ГИС и созданных на их базе открытых агрогидрологических моделей создает дополнительную основу для ускорения совместного внедрения этих инструментов.

Актуальность. Водные ресурсы Крыма очень ограничены. В расчете на одного человека в год они почти в 6 раз меньше, чем в среднем по Украине, и почти в 60 раз меньше, чем в России (0,45; 3,0 и 30,8 тыс. м³ соответственно). По данным Европейской комиссии ООН, страна или регион, в которых водные ресурсы из расчета на одного человека в год составляют менее 1,5 тыс. м³, считаются не обеспеченными в достаточной мере водными ресурсами (для примера: во Франции этот показатель составляет 3,3, а в Польше – 1,6) [1].

Приходная часть водного баланса городского водного цикла г. Симферополя большей частью формируется за счет водозабора из местных поверхностных водных источников. Симферопольское водохранилище наполняется стоком р. Салгир, Партизанское – стоком р. Альмы. Для Аянского водохранилища водоисточником является каптаж Аянского источника – зона разгрузки одного из пещерных комплексов на склоне горы Чатырдаг. Однако, учитывая, что водохранилище находится внутри водосборного бассейна р. Салгир выше Симферопольского водохранилища, его можно рассматривать совместно с работой Симферопольского водохранилища (рисунок 1).

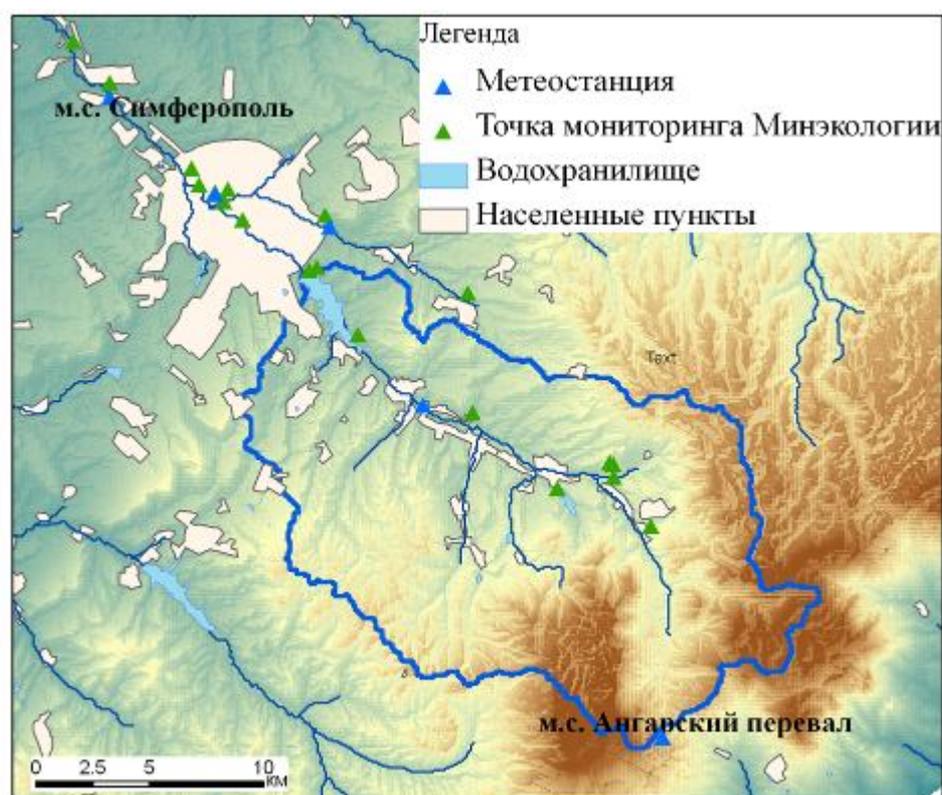


Рисунок 1 – Река Салгир с выделенным водосбором Симферопольского водохранилища и точками измерения метеорологической, гидрологической, гидрохимической информации

Суммарно объем водохранилищ местного стока, задействованных в водоснабжении г. Симферополя, составляет 74,3 млн м³ (Симферопольского – 36,0 млн м³, Партизанского – 34,4 млн м³, Аянского – 3,9 млн м³). Для покрытия дефицита водных ресурсов г. Симферополя и г. Севастополя

(в период 1981–1989 гг.) было построено наливное Межгорное водохранилище объемом 50,0 млн м³.

При этом необходимо отметить, что построенное в 1954–1956 гг. Симферопольское водохранилище изначально не рассматривалось как объект системы питьевого водоснабжения. Только начиная с 1961 г. оно постепенно становится одним из основных поставщиков питьевой воды для города, хотя и остается водохранилищем комплексного назначения, вода из которого подается также на нужды орошения (система трубопроводов Салгирского межрайонного управления водного хозяйства) и энергетики (ГРЭС).

Методология. В публикациях, посвященных планам обеспечения качества воды, понятие городского водного цикла включает в себя зону формирования питьевых водных ресурсов (бассейн) и инфраструктуру, обеспечивающую подачу воды потребителю [2–4]. В данной работе понятие городского водного цикла расширено и используется в более широком понимании: в водный цикл включены также система канализования, очистки сточных вод и их сброс в водоприемники (рисунок 2). Кроме того, несмотря на использование в первую очередь бассейнового подхода к моделированию формирования водных ресурсов и притока в Симферопольское и Партизанское водохранилища, в рамках городского водного цикла г. Симферополя необходимо дополнительно рассматривать существующую технологическую возможность получения дополнительных водных ресурсов из Межгорного водохранилища (водоисточником которого является р. Днепр с подачей воды в водохранилище по системе Северо-Крымского канала).

В качестве инструмента агрогидрологического моделирования в работе использована открытая версия модели SWAT [5–7] – MWSWAT 2012 [8]. В данной версии базовое уравнение водного баланса на наименьшем неделимом (в рамках расчетного цикла) участке рассматриваемой террито-

рии в общем виде в зависимости от изменения влагозапасов представляется следующим образом:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (P - Q_{\text{пов}} - E - W_{\text{прос}} + Q_{\text{гв}}),$$

где SW_t – текущее содержание влаги в почвенном слое, мм;

SW_0 – содержание влаги в почвенном слое на начало расчетного периода, мм;

P – количество осадков за сутки, мм;

$Q_{\text{пов}}$ – поверхностный сток, мм;

E – суммарное испарение, мм;

$W_{\text{прос}}$ – количество воды, просочившейся в нижележащие горизонты, мм;

$Q_{\text{гв}}$ – подпитывание расчетного слоя грунтовыми водами, мм.

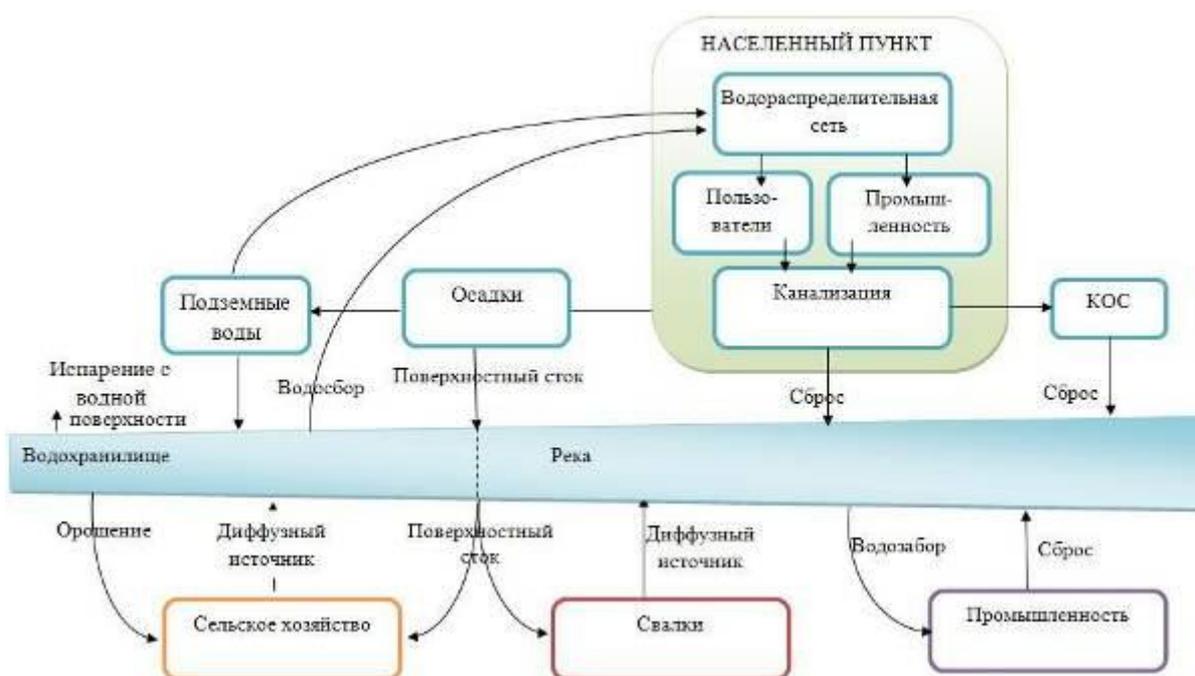


Рисунок 2 – Структура факторов влияния на водный баланс (адаптировано) [9]

Для оценки качественных показателей состояния водотоков в данной работе используется индекс загрязненности воды (ИЗВ).

Анализ проб воды по множеству показателей дает возможность оп-

ределить классы ее качества в виде интегральной характеристики загрязненности поверхностных вод. Классы качества определяются в зависимости от значения ИЗВ, который рассчитывается как средневзвешенная сумма приведенных к предельно допустимой концентрации (ПДК) фактических значений основных показателей качества воды [10] по следующей зависимости:

$$\text{ИЗВ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}, \quad (1)$$

где n – количество используемых основных показателей (рекомендуемое значение – $n = 6$);

C_i – среднее значение определяемого показателя за период наблюдений;

ПДК_i – предельно допустимая концентрация для данного загрязняющего вещества.

В зависимости от полученного значения ИЗВ водные объекты классифицируются с использованием шкалы, приведенной в таблице 1 [10].

Таблица 1 – Характеристики интегральной оценки качества воды

ИЗВ	Класс качества	Оценка качества воды
Менее или равен 0,2	I	Очень чистые
0,2–1,0	II	Чистые
1–2	III	Умеренно загрязненные
2–4	IV	Загрязненные
4–6	V	Грязные
6–10	VI	Очень грязные
Свыше 10	VII	Чрезвычайно грязные

В число шести основных так называемых обязательных показателей при расчете ИЗВ входят концентрация растворенного кислорода и значение БПК₅, а также значения еще четырех показателей, которые для данного водного объекта являются наиболее неблагоприятными или имеют наибольшие приведенные концентрации (отношение $C_i/\text{ПДК}_i$). В данной работе это БПК₅, ХПК, нитраты, сульфаты, хлориды и сухой остаток.

Моделирование гидрологических процессов с использованием тех-

нологий ГИС, благодаря возможностям геопространственного анализа, картирования прогнозных или сценарных ситуаций с пространственной привязкой к реальной территории, открыло новые перспективы для оценки и картирования качественного состояния водных ресурсов. При этом аналитическое моделирование с помощью открытой агрогидрологической модели MWSWAT позволяет прогнозировать влияние техногенной нагрузки, технологий управления орошением на качество водных ресурсов водосборных бассейнов, обосновывать и при необходимости оценивать влияние разрабатываемых мероприятий по улучшению экологической ситуации и качества поверхностных водных ресурсов.

В основу данной работы положена следующая гипотеза: на современном этапе развития систем территориального планирования и управления водоресурсным потенциалом территорий с использованием технологий ГИС все более существенную роль начинают играть открытые программные продукты, что создает инструментарий и почву для более эффективного внедрения новейших способов и методов управления водными ресурсами.

Результаты. В связи с ростом цен на энергоносители, для нужд питьевого водоснабжения города Симферополя в последние годы максимально использовались местные водные ресурсы (высота подъема воды от очистных сооружений Межгорного водохранилища до города составляет почти 280 м). Несмотря на это, возможное снижение доступности ресурсов из системы Северо-Крымского канала для заполнения этого водохранилища усиливает потребность в более эффективном их использовании, включая совершенствование системы моделирования притока в водохранилища местного стока, в т. ч. с целью определения периодов возможной нехватки (дефицита) водных ресурсов и разработки стратегии их более экономного использования.

Формирование водных ресурсов в бассейнах рек Салгир (Симферо-

польского водохранилища) и Альмы (Партизанского) происходит в схожих природно-климатических условиях горной и предгорной частей северного склона Крымских гор. Коэффициент корреляции годового стока этих рек в створах водохранилищ превышает 0,9, что позволяет проецировать результаты моделирования и основные методологические подходы, разработанные для одного из бассейнов, на оба водосбора (это касается только моделирования количественных показателей притока, так как структура формирования качества водных ресурсов в этих бассейнах принципиально различается [11] и является проблемной, в первую очередь для бассейна р. Салгир).

Для выполнения процедур моделирования качественных и количественных характеристик водных ресурсов р. Салгир и притока в Симферопольское водохранилище созданы с использованием данных Салгирского межрайонного управления водного хозяйства необходимые БД суточной динамики стока. Данные фактических измеренных показателей качества воды приняты по материалам Министерства экологии и природных ресурсов Республики Крым и организации питьевого водоснабжения г. Симферополя (Симферопольского филиала ГУП РК «Крымводоканал»). Метеорологические параметры для моделирования сформированы с использованием удаленных БД метеорологической информации [12], а также данных Регионального центра по гидрометеорологии в РК.

На рисунке 3 представлено сравнение фактического притока в Симферопольское водохранилище и результатов моделирования месячных сумм притока с использованием открытой модели MWSWAT 2012 (функционирующей на базе MapWindow ГИС версии 4.8.8, релиз 2013 г.).

Коэффициент корреляции между фактическими и моделируемыми показателями стока (полученными с использованием данных только метеостанции Симферополь) равен 0,77. Такое значение коэффициента свидетельствует о потенциале использования данной модели для проведения

оценки и прогноза состояния водных ресурсов (с учетом возможного повышения достоверности результатов моделирования за счет улучшения репрезентативности исходных данных, в первую очередь данных об осадках, благодаря использованию дополнительных данных метеостанции Ангарский Перевал, расположенной в верхней части водосбора рядом с границей бассейна, а также метеопостов, находящихся на его территории).

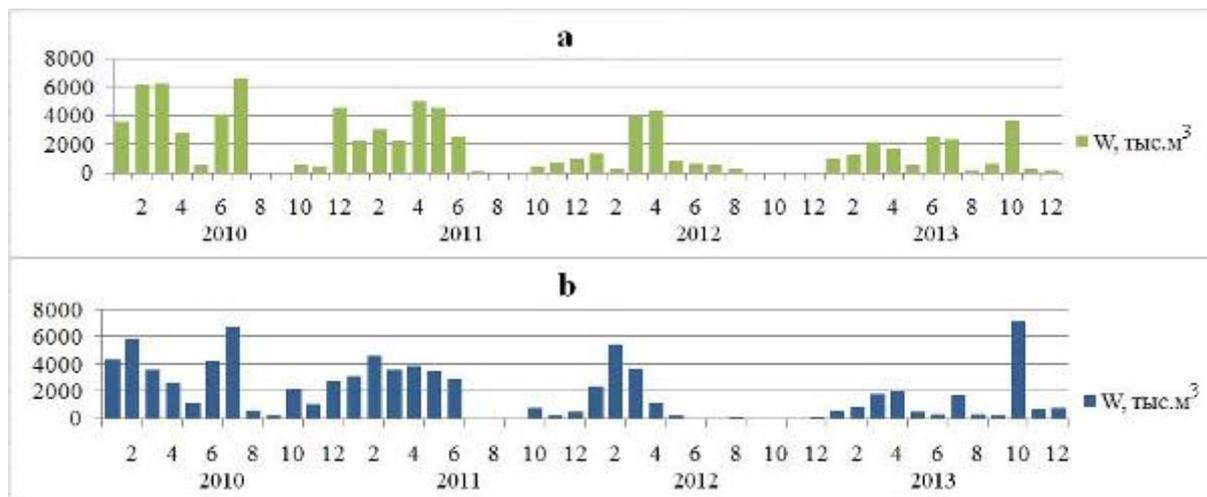


Рисунок 3 – Динамика фактического (а) и моделируемого с использованием модели MWSWAT (б) объема притока в Симферопольское водохранилище по месяцам за 2010–2013 гг.

Для моделирования водного баланса с использованием модели SWAT территория разбивается на суббассейны, в рамках которых для выделенных так называемых гидрологически характерных единиц и проводится каждый из циклов расчета с последующим формированием укрупненных данных по объектам более высокого уровня. Водный баланс и динамика перемещения воды в почве и поверхностных водотоках с учетом физико-химических характеристик почв и характеристик землепользования (типа растительности, интенсивности использования орошения, данных об урбанизированных территориях, наличии и расположении точечных и площадных источников загрязнения и др.) являются основой для моделирования качественных показателей воды в каждом из выделенных участков гидрологической сети, а также в естественных и искусственных водных объектах.

Проблема канализования, наличия и эффективной работы очистных сооружений является актуальной не только для городского водного цикла г. Симферополя (для бассейна р. Салгир это состояние очистных сооружений и проблема канализования территории Добровского сельского совета), но и для Крыма в целом. По данным Министерства экологии и природных ресурсов Республики Крым, из общего числа канализационных сооружений (КОС) (244) в Крыму работает только 65, в т. ч. эффективно – 2. Объем сброшенных в водные объекты вод в 2013 году составил 208,05 млн м³. Химический состав сбросных вод КОС на участке от истока р. Салгир до КОС г. Симферополя, которые расположены в с. Укромном, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Фактическая концентрация веществ в сбросных водах очистных сооружений р. Салгир от истока до КОС (осредненные показатели за 2013 г.)

Наименование вещества	КОС с. Перевального	КОС с. Пионерского	КОС с. Перово	КОС с. Укромного	ПДК
Взвешенные вещества, мг/дм ³	66,4	35,4	148,0	17,9	500
Сухой остаток, мг/дм ³	385,0	445,5	515,0	305,0	2000
Сульфаты, мг/дм ³	86,4	54,1	169,3	62,2	400
Хлориды, мг/дм ³	113,4	39,1	81,6	87,3	350
Нитраты, мг/дм ³	10,2	2,6	87,6	25,4	45
Нитриты, мг/дм ³	0,24	0,16	0,14	0,50	3,3
Фосфаты, мг/дм ³	8,50	2,04	0,02	3,40	40
БПК ₅ , мг О ₂ /дм ³	58,0	2,3	2,8	18,0	350
АПАВ	0,36	0,13	1,20	0,05	20

Согласно Правилам приема сточных вод [13], качество сбросных вод очистных сооружений соответствует нормам. Согласно данным таблицы 2, в 2013 г. ни по одному из показателей не была превышена ПДК. Существенной проблемой города является продолжающаяся деградация качества водных ресурсов, формирующихся на водосборных площадях Симферопольского и Аянского водохранилищ. Эта проблема вызвана в первую очередь возрастанием антропогенной нагрузки на водосборы, а именно проблемой отсутствия централизованной канализации в долине р. Салгир

в границах Добровского сельского совета, а также слабо контролируруемыми процессами стихийной застройки территорий и развития туристического бизнеса в зонах формирования водных ресурсов.

Для моделирования качества водных ресурсов информация о наличии и местоположении КОС в верхней части бассейна р. Салгир (от истока до КОС г. Симферополя) добавлена в число слоев ГИС MapWindow, т. е. в рамках этапа оконтуривания территории водосборного бассейна выполнены картографирование и ранжирование точечных источников загрязнения с обозначением участков расположения водовыпусков сбросных вод в водоприемники (рисунок 4).

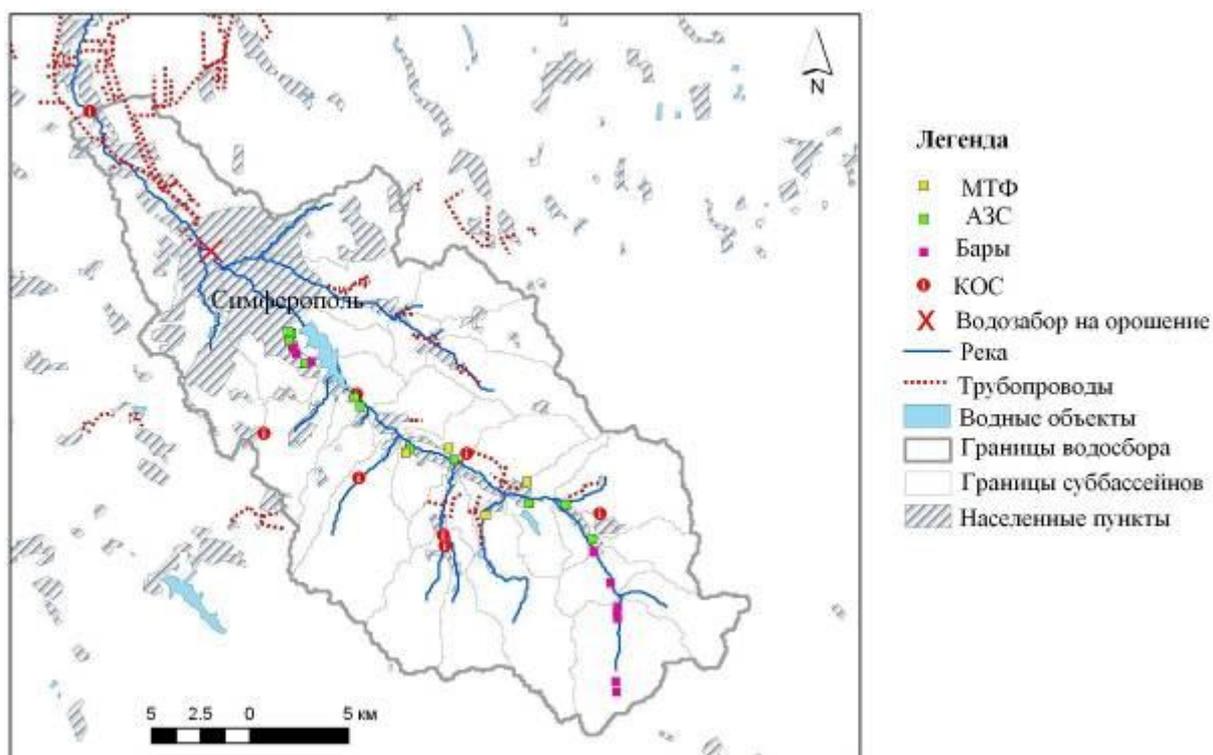


Рисунок 4 – Границы бассейна р. Салгир от истока до КОС г. Симферополя с выделением точечных источников загрязнения

Пример моделирования динамики качественных показателей водных ресурсов (содержания нитратов) приведен на рисунке 5 в сопоставлении с данными мониторинговых наблюдений за период 2005–2013 гг.

Анализ результатов моделирования с применением новой версии программного продукта MWSWAT 2012 и данных, полученных с исполь-

зованием ее предшественника (MWSWAT 2009), позволяет сделать вывод о необходимости повторной калибровки модели. Проведенная калибровка позволила увеличить коэффициент корреляции измеренного годового стока и данных моделирования с 0,75 до 0,93–0,95.

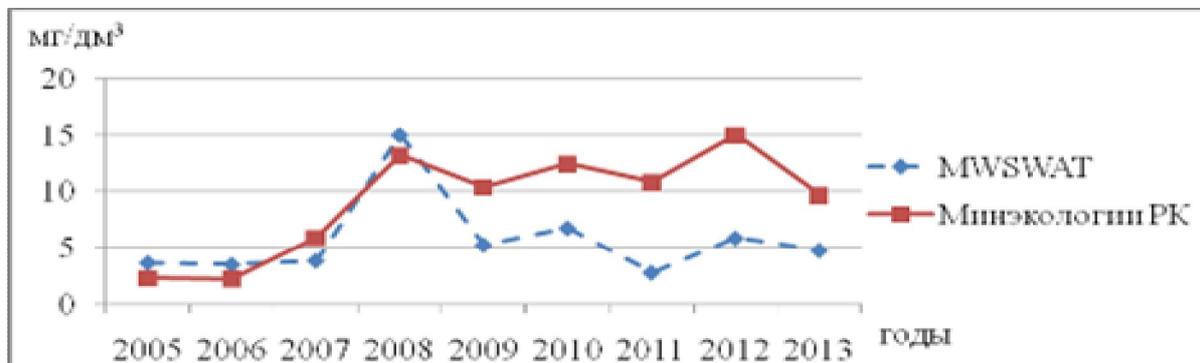


Рисунок 5 – Динамика содержания нитратов в воде р. Салгир по данным мониторинговых наблюдений и данным модели MWSWAT (створ – с. Лозовое)

На основе данных гидрохимического анализа (данных Минэкологии Крыма) и результатов моделирования проведен расчет ИЗВ по формуле (1) для р. Салгир по пунктам мониторинга (таблица 3). Для расчета использовались данные таблицы 2 и значения ПДК из СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод» [14].

Таблица 3 – Оценка качества воды р. Салгир по ИЗВ

Наименование точки мониторинга	Фактические данные		Результат моделирования	
	показатель качества	класс качества	показатель качества	класс качества
С. Перевальное	0,17	I	0,10	I
С. Лозовое	0,21	II	0,58	II
Плотина Симферополя	1,25	II	0,83	II
С. Строгановка (р. Малый Салгир)	1,50	III	2,00	III
Выше впадения р. Малый Салгир	2,04	IV	2,50	IV
Ул. Дыбенко (центр города)	1,55	III	1,12	III
Парк им. Ю. Гагарина	1,83	III	1,30	III
С. Укромное (100 м выше КОС)	2,19	IV	2,60	IV
С. Укромное (100 м ниже КОС)	2,83	IV	2,65	IV

Согласно результатам анализа класс качества воды р. Салгир изменяется от чистой у истока реки до загрязненной в районе с. Укромного

на выходе из КОС. Используя возможности ГИС и модели MWSWAT, провели моделирование и выполнили оценку состояния водотоков с учетом влияния сбросных вод КОС путем внесения в базу данных концентраций веществ, поступающих в водоприемник. Результаты моделирования позволяют определить состояние любого участка водотока. Проведенный анализ дает возможность установить ИЗВ и определить класс качества вод, их пригодность для питьевого водоснабжения и орошения, а также заполнить ряд мониторинговых данных, которые имеют кратность 12 раз в год, суточными данными количественных и качественных характеристик притока.

Выводы

Использование открытых программных продуктов ГИС и агрогидрологических моделей для моделирования гидрологического режима водосборных бассейнов и качественных показателей водных ресурсов открывает новые возможности для их применения в качестве инструментария подсистем интегрированного управления водными ресурсами.

Апробация открытой агрогидрологической модели MWSWAT, функционирующей на базе MapWindow ГИС, для моделирования динамики количественных показателей притока в Симферопольское водохранилище и качественных значений параметров стока р. Салгир подтвердила возможность ее использования в комплексе задач по анализу водообеспеченности территории и оценке вариантных решений развития территории и их влияния на качество и доступность водных ресурсов.

Новая версия программного продукта MWSWAT 2012 требует проведения повторной калибровки модели для ее привязки к региональным условиям, т. к. внесенные по сравнению с моделью MWSWAT 2009 изменения показывают существенную разницу в получаемых расчетных параметрах.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-45-01633 «р_юг_а».

Список использованных источников

1 Данилов-Данильян, В. И. Потребление воды: экологический, экономический, социальный и политический аспекты / В. И. Данилов-Данильян, К. С. Лосев. – М.: Наука, 2006. – 221 с.

2 Water safety plan manual: step-by-step risk management for drinking-water suppliers [Электронный ресурс] / J. Bartram, L. Corrales, A. Davison, D. Deere, D. Drury, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold, M. Stevens; World Health Organization (WHO), International Water Association (IWA). – Geneva – London, 2009. – 108 p. – ISBN 978-92-4-156263-8. – Режим доступа: http://who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/en/.

3 Руководство по разработке и реализации плана обеспечения безопасности воды. Пошаговое управление рисками для поставщиков питьевой воды [Электронный ресурс] / J. Bartram, L. Corrales, A. Davison, D. Deere, D. Drury, B. Gordon, G. Howard, A. Rinehold, M. Stevens; Всемирная организация здравоохранения, Международная водная ассоциация. – Копенгаген: Европейское региональное бюро ВОЗ, 2009 (русская версия – 2011). – 108 стр. – ISBN 978-92-4-456263-5. – (NLM classification: WA 675). – Режим доступа: http://who.int/water_sanitation_health/publication_9789241562638/ru/.

4 Vieira, J. M. P. Water safety plans: methodologies for risk assessment and risk management in drinking-water systems [Электронный ресурс] / J. M. P. Vieira // The Fourth Inter-Celtic Colloquium on Hydrology and Management of Water Resources, с. Guimaraes, Portugal, July 11–14, 2005. – 13 p. – Режим доступа: <http://aphr.pt/celtico/PAPERS/RT2P3.PDF>.

5 Soil and water assessment tool. Theoretical documentation. Version 2005 / S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams. – 2005. – 494 p.

6 Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation. Version 2009 [Электронный ресурс] / S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams; Texas Agricultural Experiment Station. – 2011. – 647 p. – Режим доступа: <http://swatmodel.tamu.edu/>.

7 Soil and Water Assessment Tool. Input/Output Documentation. Version 2012: Technical report: № 439 [Электронный ресурс] / Texas Water Resources Institute. – 2012. – 650 p. – S. L. Neitsch, J. G. Arnold, J. R. Kiniry [и др.]. – Режим доступа: <http://swatmodel.tamu.edu/>.

8 Leon, L. F. MapWindow Interface for SWAT (MWSWAT). PDF, v. 2.3 2014 [Электронный ресурс] / L. F. Leon. – 93 p. – Режим доступа: <http://waterbase.org/documents.html>.

9 Prepared enabling change project [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://prepared-fp7.eu>.

10 Сибагатуллина, А. М. Измерение загрязненности речной воды (на примере малой реки Малая Кокшага) [Электронный ресурс] / А. М. Сибагатуллина, П. М. Мазуркин. – Изд-во «Академия Естествознания», 2009. – ISBN 978-5-91327-062-7. – Режим доступа: <http://rae.ru/monographs/55>.

11 Дунаева, Є. А. Екологічне оцінювання впливу антропогенного навантаження на водні об'єкти / Є. А. Дунаєва // Меліорація і водне господарство: міжвідом. темат. наук. зб. – Київ: Аграрна наука, 2013. – Вип. 100. – С. 194–202.

12 Дунаева, Є. А. Використання зовнішніх інформаційних ресурсів (WEB) для моделювання річкового стоку / Є. А. Дунаєва, В. Ф. Попович, В. М. Панютін // Вісник НУВГП: збірник наук. праць / Серія «Технічні науки». – 2011. – Вип. 3(55). – С. 85–92.

13 Правила приема сточных вод [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://businesspravo.ru/Docum/DocumShow_DocumID_33985.html.

14 Гигиенические требования к охране поверхностных вод [Электронный ре-

курс]: СанПиН 2.1.5.980–00: утв. Главным гос. сан. врачом Рос. Федерации 22.06.00: введ. в действие с 01.01.01. – Режим доступа: http://ohranatruda.ru/ot_biblio/normativ/data_normativ/8/8514/.

Дунаева Елизавета Андреевна – кандидат технических наук, младший научный сотрудник, Институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация.
Контактный телефон: +7 978 781-39-81.
E-mail: water_crimea@hotmail.com

Dunaieva Ielizaveta Andreevna – Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher, Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation.
Contact telephone number: +7 978 781-39-81.
E-mail: water_crimea@hotmail.com

Попович Виктор Федорович – старший научный сотрудник, Институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация.
Контактный телефон: +7 978 016-20-83.
E-mail: water@crimea.com

Popovych Victor Fedorovich – Senior Researcher, Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation.
Contact telephone number: +7 978 016-20-83.
E-mail: water@crimea.com

Ляшевский Валерий Иванович – кандидат технических наук, начальник отдела, Институт сельского хозяйства Крыма, Симферополь, Российская Федерация.
Контактный телефон: +7 978 722-63-44.
E-mail: vlyashevskiy@mail.ru

Lyashevskiy Valeriy Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation.
Contact telephone number: +7 978 722-63-44.
E-mail: vlyashevskiy@mail.ru