

УДК 556.155:556.161:556.166.2:627.81

*Алиева А.А.*

Институт Информационных Технологий НАНА, Баку, Азербайджан  
[almaz40@gmail.com](mailto:almaz40@gmail.com)

## ПРИМЕНЕНИЕ GIS-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОТОКА В РЕКЕ ПРИ ВНЕЗАПНОМ СБРОСЕ ВОДЫ ИЗ ВОДОХРАНИЛИЩА

*Проведен анализ наблюдений за повышением уровня потока воды в речном бассейне. Применены ГИС-технологии для исследования потока воды в реке при внезапном сбросе воды из водохранилища. Проведен численный эксперимент по определению скорости воды в реке Кура при сбросе воды из Мингячевирского водохранилища.*

**Ключевые слова:** ГИС-технологии, наводнения, ArcGIS, HEC-RAS.

### Введение

Сели и паводки причиняют катастрофический вред населенным пунктам, строениям и дорогам. Многие пастбища и пахотные земли становятся совершенно не пригодными для сельскохозяйственных нужд.

Со времени строительства Мингячевирского водохранилища на Кура и Аразского водохранилища на реке Араз (1970 г.) масштабы наводнений значительно сократились. Однако интенсивное регулирование течения не спасает население от опасности наводнения. В 1967, 1969, 1976, 1979, 1982, 1997, 2003 и 2011 годах были затоплены большие площади в Сальяне, Нефтчале, Сабирабаде, Саатлы, Имишли и других районах Азербайджана в бассейне Кура–Араз. Наводнения нанесли ущерб 50% населения. Кроме того, повышение уровня грунтовых вод вызвало засоление почв, нанося еще больший ущерб экономике страны [1, 2].

При обильных осадках или сбросе значительных объемов воды из водохранилищ в реках и каналах возникают нестационарные течения воды. Как следует из данных наблюдений, резкое увеличение стока нередко сопровождается резким увеличением уровня реки на большом расстоянии от водохранилищ и зон осадков. Это явление особенно заметно на равнинной части реки, где, казалось бы, следовало ожидать спокойного, медленного повышения уровня.

Рассмотрим в связи с этим процесс увеличения уровня реки при внезапном сбросе воды из водохранилища. Определим интенсивность распространения излишка воды вниз по течению реки.

### Постановка задачи

Пусть нижний (первый слой) реки представляет собой установившееся течение жидкости (постоянный сток реки) высотой  $z_0$ . Увеличение стока представляем в виде второго слоя высотой  $z_1$  над нулевой поверхностью. Рассмотрим область течения  $z_0 < z < z_1$ . Поскольку высота слоя не меняется, течение здесь стационарно. В работе [3] рассмотрена похожая задача.

На рис. 1 приведен участок реки Кура между Еникендским и Мингячевирским водохранилищами. Часто при проведении расчетов для рек, протекающих в холмистых и горных местностях, приходится учитывать реальную структуру дна реки.

Данные ArcGIS – анализа [3–5] показывают, что дно и русло реки Кура сильно искривлены. Поэтому, в отличие от [6], для достоверности результатов и привязки задачи к реальному рельефу местности и реки воспользуемся ГИС-технологиями.

## Решение задачи

Ввиду сильной мутности воды в реке из-за наличия ила и различных включений будем считать воду вязкой несжимаемой жидкостью.

Форма или геометрические размеры поперечного профиля реки меняются по длине, поэтому площадь живого сечения потока будет функцией как длины (вследствие изменения формы или размеров сечения), так и функцией глубины потока вдоль русла. Характер потока изменяется также в зависимости от угла наклона дна русла реки к горизонту. Поэтому в постановке задачи необходимо принять это во внимание.

Приведенный на рис. 1 участок реки Кура с помощью программы HEC-RAS [7–9] и карты Куры разделяется продольными линиями CS (Cross Section) на отдельные секции. CS проводятся на карте перпендикулярно срединной линии реки на таких расстояниях  $l_p$  друг от друга, чтобы в пределах каждой секции ширина реки  $b_p$ , границы второго слоя  $z_{0p}$ ,  $z_{1p}$  оставались примерно неизменными.

Необходимо также иметь в виду, что когда течение воды внезапно ускоряется, образуется структура неоднородного потока. Это обычно происходит при прохождении воды в узких сечениях между крупными камнями.

В результате оказывается, что скорость потока  $v_{0p}$  неодинакова в разных сечениях реки. Мы будем считать, что паводков и наводнений, т.е. потерь воды по всей длине реки, нет. Это позволяет использовать условие сохранения объема и массы во время течения воды на рассматриваемом участке реки.

Согласно уравнению баланса массы воды

$$Q_0 = S_{p-1}v_{0p-1} = S_p v_{0p}, \quad (1)$$

где  $Q_0$  – объем сброшенной из водохранилища воды,  $S_p$  – площадь «живого» поперечного сечения реки на  $p$ -м CS, вычисляемом программой HEC-RAS. Из уравнения (1) определяются значения скоростей  $v_{0p}$ .

Для определения скорости второго слоя воды, движущейся по наклонному каналу, при ее сбросе из водохранилища примем следующую схему. Пусть второй слой толщиной  $\Delta z_p = z_{1p} - z_{0p}$  протекает над первым слоем в прямоугольном поперечном сечении реки.

Считаем заданным перепад давления  $\partial p / \partial z = -\Delta p / l$ . Падение давления  $\Delta p = p_1 - p_2$  выразим через перепад высоты  $\Delta H$  вдоль длины реки  $l$

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \rho g (H_2 - H_1) = \rho g \Delta H.$$

Здесь  $H_2$  и  $H_1$  – высоты на выходе из водохранилища и в устье реки.

Программа HEC-RAS вычисляет синус угла наклона реки к нулевому уровню  $\sin \alpha_p = \Delta z_p / l_p$  в каждом  $p$ -м CS.

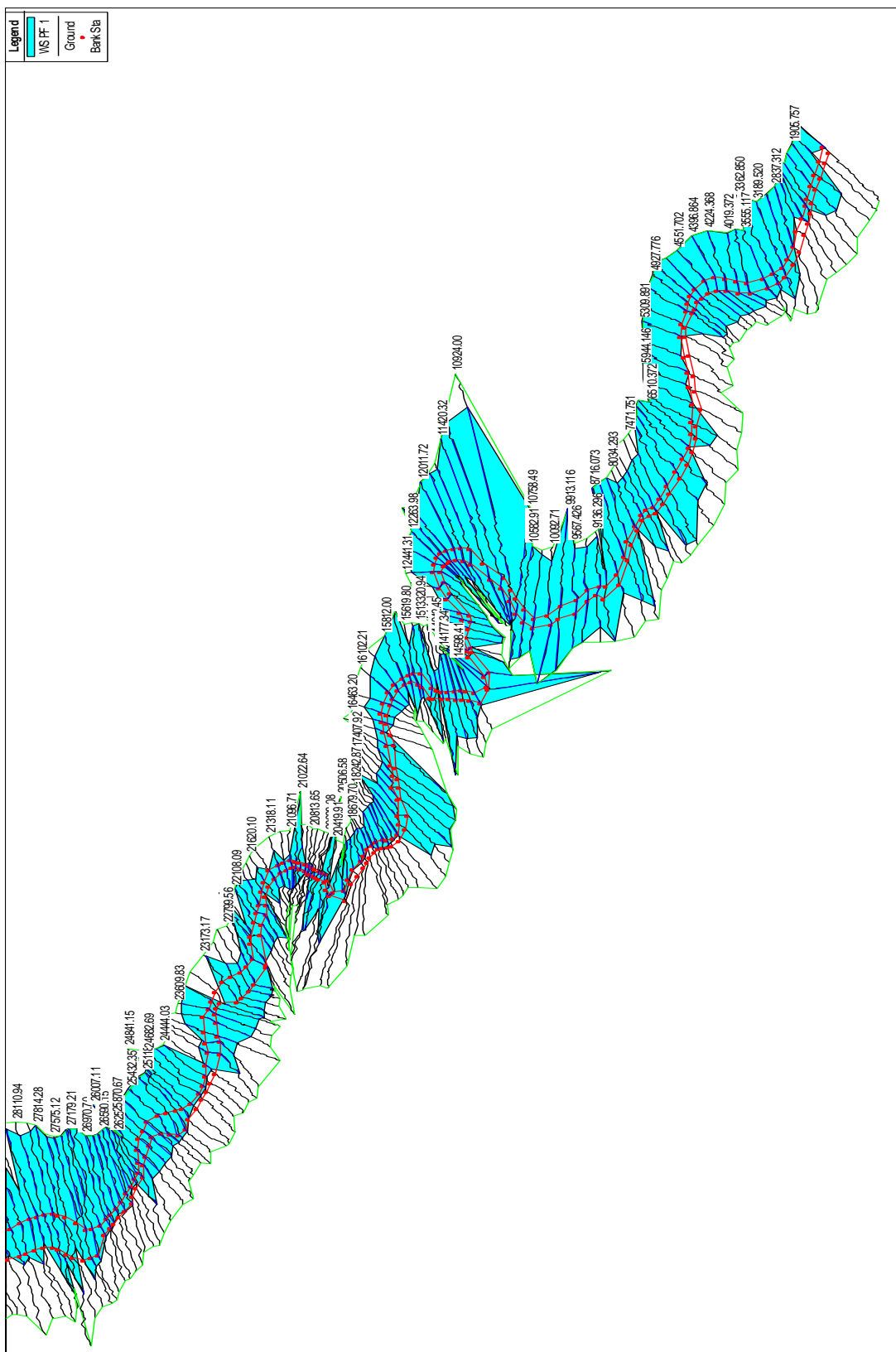


Рис. 1. Участок реки Кура между Еникендским и Мингчевирским водохранилищами

Из системы дифференциальных уравнений Навье-Стокса и уравнения неразрывности [10] имеем:

$$\frac{\partial^2 v_{xp}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v_{xp}}{\partial z^2} = -D_p, \quad D_p = \frac{g}{\nu} \cdot \left( \frac{\Delta h_p}{l_p} + \frac{\Delta H}{l} \right). \quad (2)$$

Здесь  $\nu$  – кинематическая вязкость воды.

Граничные условия записываются в виде:

$$v_{xp}(0, z) = v_{xp}(b_p, z) = 0, \quad v_{xp}(y, z_{0p}) = v_{0p}, \quad \left. \frac{\partial v_{xp}(y, z)}{\partial y} \right|_{z=z_{1p}} = 0. \quad (3)$$

Решив уравнение (2) методом разделения переменных с учетом (3), получим выражение для максимального значения скорости жидкости, которое достигается на свободной поверхности в середине реки.

Осреднив значение скорости второго слоя по сечению второго слоя  $\Delta z_p = z_{1p} - z_{0p}$  и ширине реки  $b_p$ , получаем:

$$\langle v_{xp}(z, y) \rangle = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{k_{3p} [1 - (-1)^n]^2 \left( v_{0p} - \frac{k_{1p}}{n^2} \right)}{n^3} \cdot th(k_{2p} n) + \frac{2}{3} k_{4p}, \quad (4)$$

где

$$k_{1p} = \frac{b_p^2 D_p}{\pi^2}, \quad k_{2p} = \frac{\pi \Delta z_p}{b_p}, \quad k_{3p} = \frac{2b_p}{\pi^3 \Delta z_p}, \quad k_{4p} = \frac{b_p^2 D_p}{8}.$$

С помощью выражения (4) можно определить время прохождения частиц жидкости через каждый  $p$ -й CS

$$t_p = l_p / \langle v_{xp}(z, y) \rangle.$$

На рис. 2 приведена зависимость накопленного значения времени  $t_p = l_p / \langle v_x(z, y) \rangle$  от номера поперечной линии CS, когда объем сброшенной воды из водохранилища составлял  $V = 100 \text{ м}^3$  и  $Q_0 = 600 \text{ м}^3 / \text{сек}$ ,  $\Delta H = 93 - 68 = 25 \text{ м}$ ,  $l = 28270,377 \text{ м}$ ,  $\nu = 10^{-6} \text{ м}^2 / \text{сек}$ .

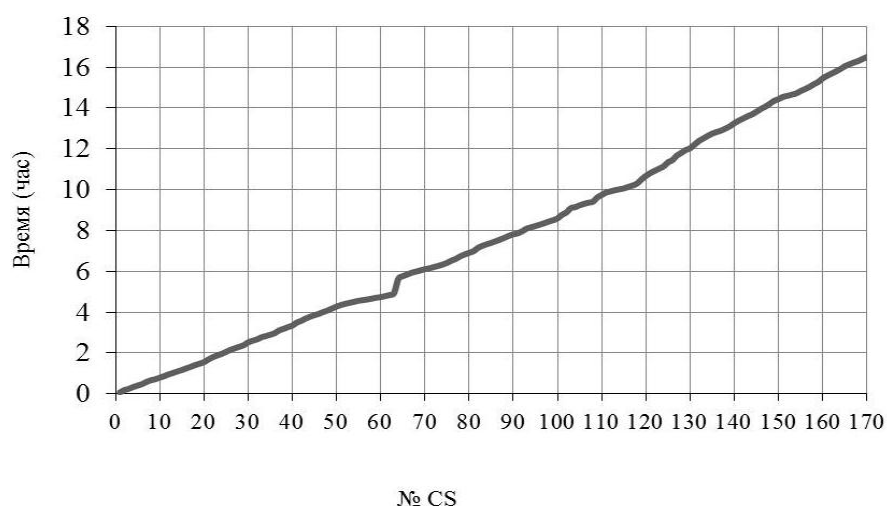


Рис. 2. Зависимость накопленного значения времени от номера поперечной линии

Как видно из рисунка, суммарное время оказалось равным примерно 17 часам.

### Заклучение

Предложена модель, позволяющая с помощью ГИС-технологий определить скорость распространения в реке сброшенного из водохранилища дополнительного объема воды с учетом рельефа местности и геометрических характеристик русла реки.

### Литература

1. RER/03/G41/A/1G/31: Reducing Trans-boundary Degradation of the Kura-Aras River Basin. Трансграничный диагностический анализ бассейна рр. Кура-Аракс, [http://aarhus.ge/uploaded\\_files/fe1dc47817f6033012e1a900372364c368a342132b58a67ca71c5ed1bf283215.pdf](http://aarhus.ge/uploaded_files/fe1dc47817f6033012e1a900372364c368a342132b58a67ca71c5ed1bf283215.pdf).
2. Трансграничный диагностический анализ бассейна рр. Кура-Аракс, RER/03/G41/A/1G/31: Reducing Trans-boundary Degradation of the Kura-Aras River Basin, сентябрь 2006 г.
3. ArcGIS 9, ArcGIS Spatial Analyst. Учебное пособие, русский перевод DATA+, Нью-Йорк, 2006, 63 с.
4. ArcGIS 9, Редактирование баз геоданных, учебное пособие, русский перевод DATA+, Нью-Йорк, 2008, 39 с.
5. ArcGIS 9. Геообработка в ArcGIS. Учебное пособие, русский перевод DATA+, Нью-Йорк, 2008, 63 с.
6. Лапин В.Г. Математическое моделирование фронтальной части течения в каналах и реках при нестационарном стоке. Кандидатская диссертация, Ставрополь, 2005.
7. HEC-RAS River Analysis System. Applications Guide, version 4.1, US Army Corps of Engineering Center, USA, 2010, 351 s.   
[http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS\\_4.1\\_Applications\\_Guide.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_Applications_Guide.pdf)
8. HEC-RAS River Analysis System, Hydraulic Reference Manual, version 4.1, US Army Corps of Engineering Center, USA, 2010, 417 s.   
[http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS\\_4.1\\_Reference\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_Reference_Manual.pdf)

9. HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, version 4.1, US Army Corps of Engineering Center, USA, 2010, 790 s  
[http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS\\_4.1\\_Users\\_Manual.pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.1_Users_Manual.pdf)
10. Слезкин Н.А. Динамика вязкой несжимаемой жидкости. М.: Гос. изд. технико-теоретической литературы, 1955, 520 с.

**UOT 556.155:556.161:556.166.2:627.81**

**Əliyeva Almaz Ə.**

AMEA İnformasiya Texnologiyaları İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

[almaz40@gmail.com](mailto:almaz40@gmail.com)

**Su anbarından qəfildən su buraxıldıqda çayda axının hesablanması üçün CİS texnologiyalarının tətbiqi**

Çay hövzəsində su axınının kəskin artmasının müşahidə nəticələri tədqiq olunmuşdur. Su anbarlarından suyun qəfildən axılması nəticəsində çayda əmələ gələn axının tədqiqi üçün CİS texnologiyalardan istifadə edilmişdir. Mingəçevir su anbarından su axılması zamanı Kür çayında axının sürətinin təyin edilməsi üçün ədədi eksperiment yerinə yetirilmişdir.

*Açar sözlər:* CİS texnologiyalar, subasmaları, ArcGIS, HEC-RAS.

**Almaz A. Aliyeva**

Institute of Information Technology of ANAS, Baku, Azerbaijan

[almaz40@gmail.com](mailto:almaz40@gmail.com)

**The application of GIS technology to flow calculation in the river at a sudden release of water from reservoirs**

The analysis of the observations of water flow level increase in the river basin is carried out. GIS technology is used to research water flow in the river at a sudden release of water from the reservoir. The numerical experiment on the determining of the speed of the river Kura in discharge of water from Mingachevir reservoir is implemented.

*Key words:* GIS technology, flood, ArcGIS, HEC-RAS.