

Лобода Н.С., проф., Довженко Н.Д., магистр.  
Одесский государственный университет

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РЯДОВ БЫТОВОГО СТОКА ПРИ НАЛИЧИИ ВОДОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗА СЧЕТ МЕСТНЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ

*Приводятся результаты стохастического моделирования бытового стока в виде функций отклика в условиях забора воды из местных водных ресурсов на снабжение населения водой.*

**Ключевые слова:** водные ресурсы, водохозяйственные преобразования, функции отклика

**Вступление.** Территория Крымского полуострова характеризуется неоднородностью распределения речной сети и водных ресурсов в пространстве. В горной части с целью перераспределения водных ресурсов созданы водохранилища, которые используются для сезонного и многолетнего регулирования стока. Пространственное перераспределение водных ресурсов достигается за счет концентрации воды в водохранилищах и дальнейшим их перебросом по каналам к месту интенсивного водопотребления. Большинство водотоков Равнинного или Степного Крыма входят в состав мелиоративных систем, образованных на базе Северо-Крымского канала. Они исполняют роль дренажных коллекторов [6]. Кроме того, сток рек этого региона значительно трансформирован водохозяйственными мероприятиями. Разнообразие факторов формирования стока как природного, так и антропогенного происхождения, усложняет анализ исходной информации. Количественные характеристики водных ресурсов территории, оцененные по имеющимся наблюдаемым данным, включают в себя результаты преобразований, вызванных водохозяйственными мероприятиями, в связи с чем получили название характеристик «бытового стока». Исходя из сказанного, можно сделать вывод о необходимости создания новых методов оценки степени влияния водохозяйственных преобразований на сток рек.

**Анализ современных исследований.** Теоретической основой исследования является детерминировано-стохастическая модель, разработанная в Одесском государственном экологическом университете [1, 3]. В её основе лежит уравнение водохозяйственного баланса водосбора:

$$W_B = W_E - \Delta W_{II} + \Delta W_{CB} \quad (1)$$

где  $W_B, W_E$  - объемы бытового и естественного стока;

$\Delta W_{II}$  - безвозвратные изъятия стока из поверхностных водотоков (потери);

$\Delta W_{CB}$  - сброс воды в поверхностные водотоки.

Для большинства водосборов зоны недостаточного увлажнения предложенное выражение можно более подробно представить следующим образом:

$$W_B = W_E - \Delta W_{OP} - \Delta W_{ИСП} + \Delta W_{CB} - \Delta W_{ВДПР} \quad (2)$$

где  $\Delta W_{OP}$  - объем безвозвратных потерь стока на орошение;

$\Delta W_{исп}$  - объем потерь стока на дополнительное испарение с водной поверхности прудов и водохранилищ при НПУ (нормальный подпертый уровень);

$\Delta W_{вдпп}$  - объем заборов воды на водоснабжение населения.

На первом этапе создания моделей рассматривался вопрос об оценке отдельных составляющих ( $\Delta W_{оп}$ ,  $\Delta W_{исп}$ ,  $\Delta W_{сб}$ ,  $\Delta W_{вдпп}$ ) водохозяйственных балансов, которые содержат в себе информацию о характере хозяйственной деятельности в пределах водосборов. В дальнейшем осуществлялся переход к вероятностной форме записи уравнения (2), на основе которого выполнялось наложение антропогенных факторов на колебания естественного стока с учетом обеспеченности случайных величин.

В рассматриваемой детерминировано-стохастической модели выделяют в каждой антропогенной составляющей ( $\Delta W_{оп}$ ,  $\Delta W_{исп}$ ,  $\Delta W_{сб}$ ,  $\Delta W_{вдпп}$ ) как случайные величины, обусловленные влиянием колебаний климата, так и неслучайные. Последние зависят от управленческих решений. К ним относятся: площади орошаемых земель и водной поверхности искусственных водоемов, характеристики оросительных систем и т.п.

Стохастическое моделирование рядов бытового стока выполнялось отдельно для каждого из исследуемых факторов антропогенного влияния на основе уравнений водохозяйственных балансов, учитывающих реальную физическую картину взаимодействия того или иного фактора хозяйственной деятельности с годовым стоком:

а) при изъятии воды для целей орошения [1]

$$Y_{Б,Р} = Y_{Е,Р} - \frac{M_{0,100-P}}{\eta} f_{оп}; \quad (3)$$

б) при наличии на водосборе искусственных водоемов с сезонным регулированием стока, когда потери обусловлены затратами на дополнительное испарение с водной поверхности [2,3],

$$Y_{Б,Р} = Y_{Е,Р}(1 - f_B) - (E_B - X)f_B \quad (4)$$

или

$$Y_{Б,Р} = Y_{Е,Р}(1 - \alpha_P f_B), \quad (5)$$

где  $\alpha_P = \varphi(Y_P)$ ;

в) при наличии возвратных (сбросных) вод с орошаемых массивов

$$Y_{Б,Р} = Y_{Е,Р} + \xi \frac{M_{0,100-P}}{\eta} (1 - \eta) f_{оп}, \quad (6)$$

где  $Y_{Б,Р}$ ,  $Y_{Е,Р}$  - естественный и бытовой сток с заданной обеспеченностью  $P\%$ , выраженной в мм;

$f_{оп}$ ,  $f_B$  - суммарная площадь орошаемых массивов и водной поверхности искусственных водоемов, выраженных в долях от общей площади водосбора  $F$ ;

$\eta$  - коэффициент полезного действия оросительной системы;

$\xi$  - коэффициент возвратных вод, образовавшихся за счет потерь стока при его переброске по каналам оросительной сети;

$X$  - осадки, выпадающие на суммарную водную поверхность прудов и водохранилищ;

$E_B$  - суммарное испарение с водной поверхности прудов и водохранилищ;

$M_{0,100-P}$  - оросительная норма-нетто с вероятностью превышения 100- $P$ ;

$\alpha_P$  - безразмерный коэффициент, который позволяет учесть изменение  $(E_B - X)$  в зависимости от величины годового стока обеспеченностью  $P\%$ .

Моделирование рядов естественного годового стока выполнялось в виде последовательностей случайных величин, связанных корреляцией марковского нелинейного типа с маргинальным трехпараметрическим гамма – распределением С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля [5]. Определялось оно поэтапно, в ходе каждого статистического испытания значения антропогенных факторов ( $\eta$ ,  $f$  и т.д.) задавались постоянными.

В результате моделирования были получены значения норм бытового стока  $q_B$ , коэффициентов вариации  $Cv_B$  и асимметрии  $Cs_B$  и построены зависимости изменения этих параметров от показателей антропогенных факторов [1,3].

Зависимости статистических параметров бытового стока ( $\bar{Y}_B$ ,  $Cv_B$ ,  $Cs_B$ ) от неслучайных показателей уровня водохозяйственного преобразования водосбора (относительной площади мелиорируемых земель  $f_{OP}$ , относительной площади водной поверхности искусственных водоемов  $f_B$  и т.д) получили название функций антропогенного влияния. Для совместного учета разнообразных факторов антропогенных преобразований используются так называемые коэффициенты антропогенного влияния, которые представляют собой количественные показатели изменения статистических параметров при наличии того или иного фактора водохозяйственных преобразований на водосборе и климатических условий [2].

Одним из факторов водохозяйственных преобразований в Крыму является забор воды из местных водных ресурсов на водообеспечение населения. Например, централизованное водоснабжение г. Севастополь осуществляется из семи источников: Чернореченского водохранилища; Инкерманского, Бельбекского, Орловского, Вилинского, Родниковского подземных водозаборов; городского каптажа. В маловодные периоды и при недостаточном наполнении Чернореченского водохранилища резервным источником водоснабжения является Межгорное водохранилище. Источниками водоснабжения г. Симферополь являются: Аянское, Симферопольское, Партизанское, Межгорное (днепровская вода Северо-Крымского канала) водохранилища, городские скважины, Ивановский водовод, работающий на подземной воде [6].

**Целью данной работы** является расчет ординат функций антропогенного влияния или так называемых функций отклика в условиях забора воды из местных водных ресурсов на снабжение населения водой.

**Материалы и методы исследований.** В работе предложено уравнение водохозяйственного баланса при наличии на водосборе изъятий воды за счет местных водных ресурсов для целей водообеспечения населения, которое имеет следующий вид

$$q_{B,P} = q_{E,P} - \frac{d_{P,100-P} \times N_{нас} \times A}{F}, \quad (7)$$

где  $q_{Б,P}$ ,  $q_{Е,P}$  - бытовой и естественный модули стока с заданной обеспеченностью  $P\%$  ( $л/с \times км^2$ );

$d_{P,100-P}$  - норма водопотребления, л/чел/сутки;

$N$  - количество населения, чел.;

$F$  - площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$A$  - размерный коэффициент.

Представленное в вероятностной форме выражение (7) записывается следующим образом

$$q_{Б,P} = q_{Е,P} - \frac{0,0116 \times d_{P,100-P} \times N_{нас}}{F} \quad (8)$$

Особое внимание уделяется норме водопотребления  $d$ , значения которой были взяты из работы [7]. Необходимо отметить, что в многоводные годы норма водопотребления минимальная, а в маловодные годы – максимальная. Исходя из этого, были построены кривые обеспеченностей и выделены 3 группы водности: маловодная ( $P > 75\%$ ), средняя по водности ( $25\% \leq P \leq 75\%$ ) и многоводная ( $P < 25\%$ ). Для дальнейшего использования значения норм водопотребления  $d$  в каждой группе были осреднены и составили:

- для г.Симферополь (г.Севастополь соответственно)

маловодные годы – 528 (497) л/ чел/ сутки

средние по водности годы – 462 (401) л/ чел/ сутки

многоводные годы – 343 (272) л/ чел/ сутки

**Результаты исследований и их анализ.** В данной работе было произведено стохастическое моделирование рядов бытового стока при наличии водопотребления за счет местных водных ресурсов для рек Салгир и Малый Салгир (г. Симферополь) и р. Кача (г. Севастополь) и оценены статистические параметры бытового стока при разных значениях количества населения  $N_{нас}$ .

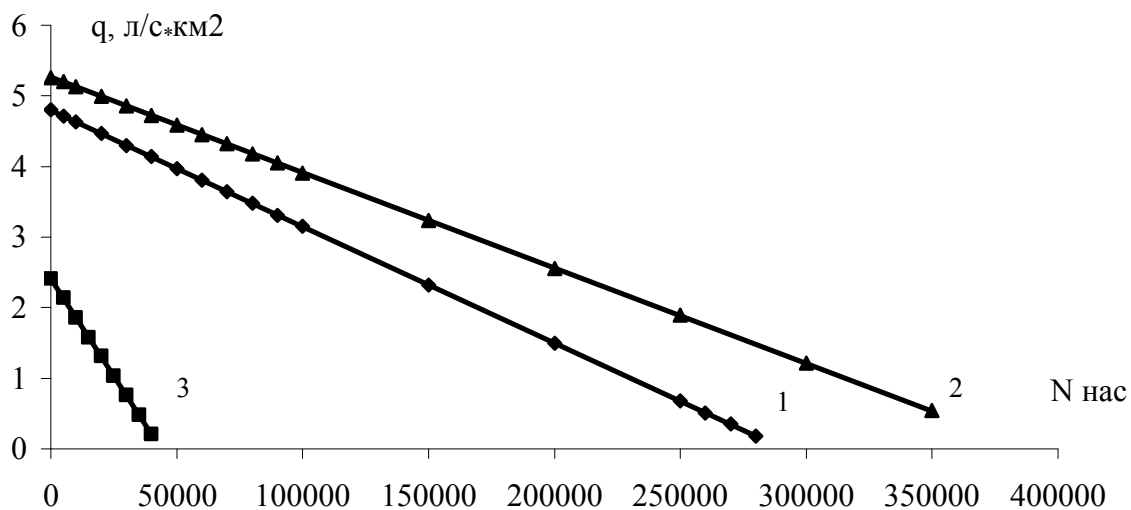


Рисунок 1 – Изменение бытового модуля стока  $q$  с ростом населения  $N$  ( 1 - р. Салгир; 2 - р. Черная; 3 – р. Малый Салгир).

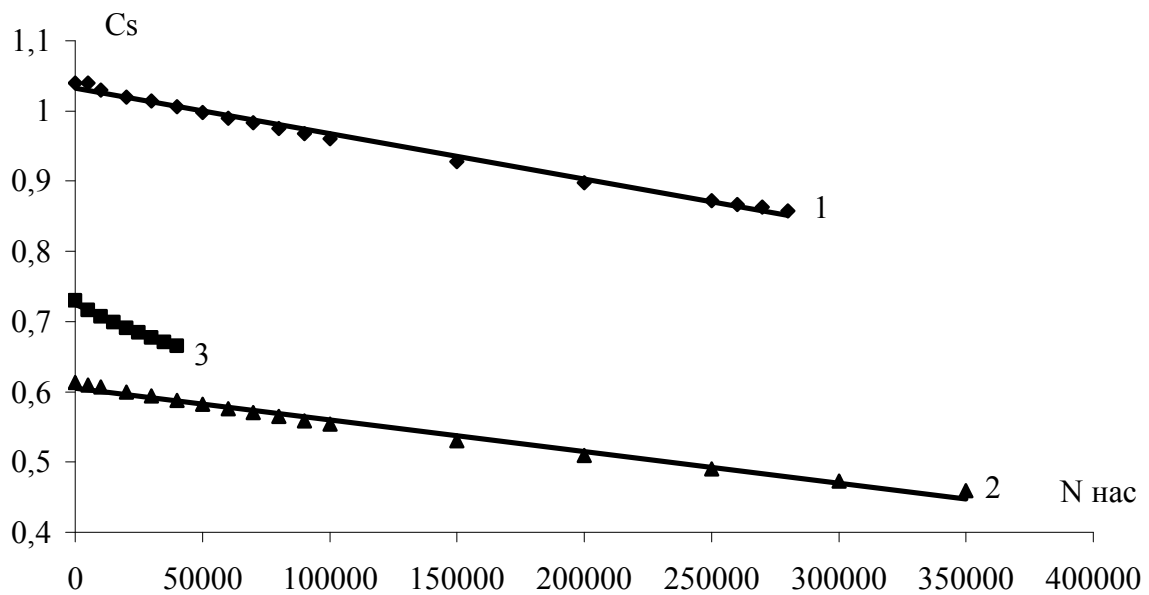
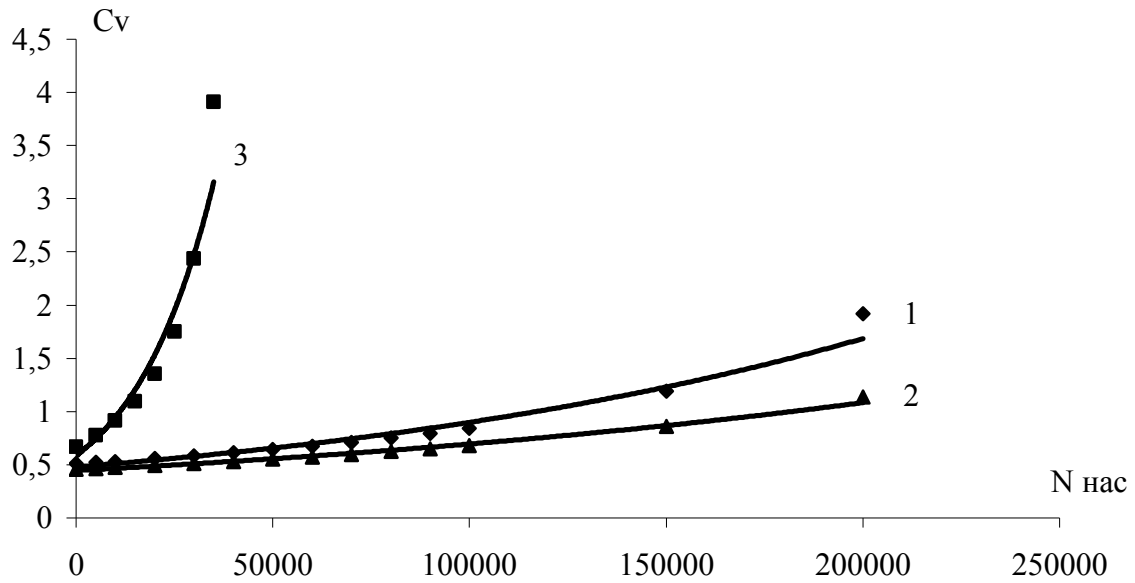


Рисунок 2 – Изменение коэффициента вариации  $C_v$  и асимметрии  $C_s$  с ростом населения  $N$

( 1 - р. Салгир; 2 – р. Черная; 3 – р. Малый Салгир).

Установлено, что средняя многолетняя величина стока при увеличении количества населения интенсивно уменьшается (рис. 1), коэффициент многолетней изменчивости возрастает, а асимметричность ряда снижается незначительно (рис. 2)

Сток реки Малый Салгир ( $F=96\text{км}^2$ ) уменьшается до нулевого значения при количестве населения больше 50000 чел (рис. 1). Более замедленно снижение стока на реках Салгир и Черная. Но их водности хватает для обеспечения населения количеством 300000-350000, в то время как фактическое количество населения в г. Симферополь и Севастополь составляет около 500000.

При практическом применении удобнее пользоваться коэффициентами антропогенного влияния, которые представляют собой отношения статистических параметров в бытовых и естественных условиях, т.е.

$$k_{B,\bar{q}} = \frac{\bar{q}_B}{\bar{q}_E}, \quad (9)$$

$$k_{B,Cv} = \frac{Cv_B}{Cv_E}, \quad (10)$$

$$k_{B,Cs} = \frac{Cs_B}{Cs_E}, \quad (11)$$

где  $\bar{q}_B, \bar{q}_E$  - средние величины годового модуля стока в нарушенных хозяйственной деятельностью и в естественных условиях;

$Cv_B, Cv_E$  - коэффициенты вариации годового стока в нарушенных хозяйственной деятельностью и в естественных условиях;

$Cs_B, Cs_E$  - коэффициенты асимметрии годового стока в нарушенных хозяйственной деятельностью и в естественных условиях.

В качестве  $\bar{Y}_E$  (норм естественного годового стока) нами использовались результаты расчета норм стока с высотой на основе метеорологических данных [4].

Величины  $k_{B,\bar{q}}, k_{B,Cv}, k_{B,Cs}$  носят название коэффициентов антропогенного влияния, а их зависимости от неслучайных показателей водохозяйственных преобразований (количества населения  $N_{\text{нас}}$ ) называются функциями отклика водных ресурсов на антропогенное воздействие.

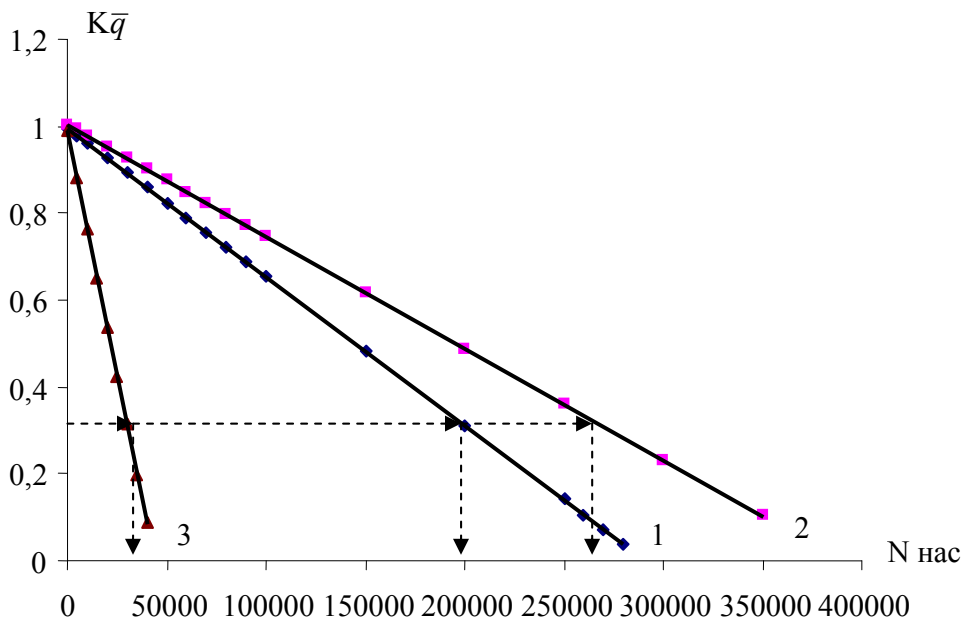


Рисунок 3 – Функция антропогенного влияния на норму стока, полученную в результате моделирования бытового стока в условиях забора воды из местных водных ресурсов на снабжение населения водой (1 – р. Салгир, 2 – р. Черная, 3 – р. Малый Салгир).

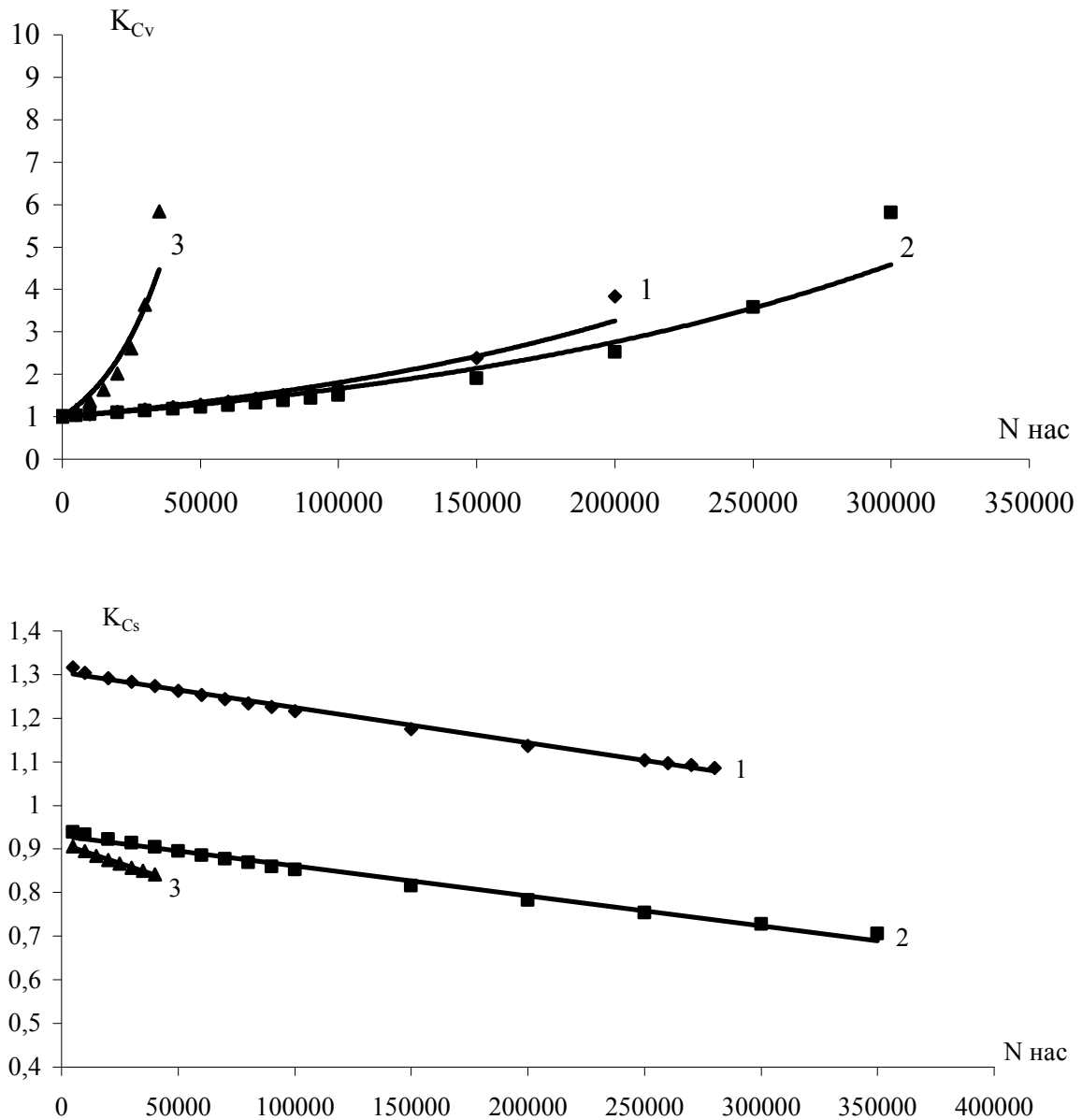


Рисунок 4 – Функции антропогенного влияния на коэффициент вариации и асимметрии, полученные в результате моделирования бытового стока в условиях забора воды из местных водных ресурсов на снабжение населения водой (1 – р. Салгир, 2 – р. Черная, 3– р. Малый Салгир).

Полученные в результате статистических испытаний функции отклика (рис. 3,4), могут быть представлены в аналитическом виде:

а) для среднемноголетних величин годового стока:

- р.Салгир

$$K_{\bar{q}} = 1 - 0.33 \times 10^{-6} \times N_{нас}; \quad (12)$$

- р. Черная

$$K_{\bar{q}} = 1 - 0.38 \times 10^{-6} \times N_{нас}; \quad (13)$$

- р. Малый Салгир

$$K_{\bar{q}} = 1 - 0.2 \times 10^{-5} \times N_{нас}; \quad (14)$$

б) для коэффициентов многолетней изменчивости:

- р. Салгир

$$K_{Cv} = e^{0,000006 \times N_{нас}}; \quad (15)$$

- р. Черная

$$K_{Cv} = e^{0,000005 \times N_{нас}} \quad (16)$$

- р. Малый Салгир

$$K_{Cv} = e^{0,00004 \times N_{нас}}; \quad (17)$$

- для коэффициентов асимметричности:

- р. Салгир

$$K_{Cs} = 1.3 - 0.8 \times 10^{-7} \times N_{нас}; \quad (18)$$

- р. Черная

$$K_{Cs} = 0.93 - 0.7 \times 10^{-7} \times N_{нас}; \quad (19)$$

- р. Малый Салгир

$$K_{Cs} = 0.91 - 0.2 \times 10^{-6} \times N_{нас}. \quad (20)$$

На основе функций отклика могут быть получены «критические» или «предельные» масштабы водохозяйственного освоения водосборов. Так, например,  $K_{\bar{q}}=0,90$  соответствует началу значимых, т.е. превышающих 10% изменений водных ресурсов;  $K_{\bar{q}}=0,50$  – является показателем разрушения водных ресурсов;  $K_{\bar{q}}=0,30$  соответствует невозстановимому изменению водных ресурсов, при котором уменьшение средней многолетней величины стока достигает 70%.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что для заданных норм водопотребления невозстановимое разрушение стока р. Салгир произойдет при обеспечении водой жителей города в 200 тыс. чел, р. Черная – свыше 250 тыс. чел.

**Выводы.** Таким образом, водоснабжение городов Симферополь и Севастополь не может производиться только забором воды из местных ресурсов. Именно поэтому для увеличения забора воды на нужды населения на реках Черная и Салгир были созданы регулирующие водохранилища. В последние десятилетия в предгорьях Горного Крыма созданы водохранилища, наполняемые водами р. Днепр, которые перебрасываются по Северо-Крымскому каналу [6].



### Список литературы

1. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Применение методов статистического моделирования при оценке изменений годового стока рек под влиянием орошения // Метеорология и гидрология.-1986.-С. 118-119.
2. Гопченко Е.Д., Лобода Н.С. Оцінювання природних водних ресурсів України за методом водно-теплового балансу // Наук. Праці УкрНДГМІ. -2001. – Вип.249. – С.106-120.
3. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек Украины в условиях антропогенного влияния. – Одесса. – 2005. - 208с.
4. Лобода Н.С., Нгуен Ле Минь. Оценка норм годового стока на основе уравнения водно-теплового баланса для территории Крымского полуострова // Міжвід. наук. зб. України. – Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса. – 2003. – Вип.47. – С. 202-208.
5. Раткович Д.Я., Болгов М.В. Стохастические модели колебаний составляющих водного баланса речного бассейна. – М.: РАН ИВП, 1997. – 262с.
6. Тимченко З.В. Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. – Симферополь. – «Доля». – 2002. – 151с.
7. Яцик А.В. Водогосподарська екологія. – К.: «Генеза», 2004. – 524с.

#### **Моделювання рядів побутового стоку при наявності водоспоживання за рахунок місцевих водних ресурсів. Лобода Н.С., Довженко Н.Д.**

*Наводяться результати стохастичного моделювання побутового стоку в вигляді функцій відгуку в умовах забору води з місцевих водних ресурсів на постачання населення водою.*

**Ключові слова:** водні ресурси, водогосподарські перетворення, функції відгуку.

#### **The modeling row of lifeconditioned runoff in the presence of waterusing owing to local water resources. Loboda N.S., Dovzhenko N.D.**

*Results of stochastic modeling of lifeconditioned runoff are presented as response functions for the fence conditions from local water resources for supply the populations of water.*

**Key words:** water resources, watermanagement transformation, response functions.