

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ ВОДОЕМОВ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ РЕК МОЛДОВЫ

Мельничук О., Бобок Н., Кастровец Т.

Институт экологии и географии Академии Наук Молдовы

Введение

Существующие масштабы хозяйственной деятельности и возможные перспективы их роста вызывают необходимость в разработке систем оптимального управления водными ресурсами с целью комплексного их использования и охраны от истощения и загрязнения.

Классический подход к решению проблемы оценки характеристик стока в нарушенных водохозяйственными преобразованиями условиях формирования стока, состоит в анализе и расчетах стока в естественных условиях и оценка влияния отдельных видов хозяйственной деятельности [1, 3, 8, 13].

Факторы хозяйственной деятельности делятся на две группы [3, 8]:

1) факторы, изменяющие только условия формирования стока в речном бассейне (агротехника, урбанизация, вырубка лесов и их восстановление);

2) факторы, изменяющие не только условия образования стока, но и непосредственно воздействующие на его величину и временную динамику (искусственные водоемы и другие гидротехнические сооружения, аккумулирующие талые и дождевые воды). Их влияние проявляется через потери водных ресурсов на дополнительное испарение с водной поверхности и изъятие вод на различные хозяйственные нужды (орошение земель, промышленно-коммунальное водоснабжение, переброска стока и др.).

Целью настоящей работы является анализ и оценка ресурсов поверхностных вод в условиях влияния строительства прудов и водохранилищ.

Методы и материалы

Среди методов оценки воздействия хозяйственной деятельности на водные ресурсы рек можно выделить следующие:

1. Метод сравнения характеристик стока при естественном и нарушенном хозяйственной деятельностью состояниях. Особенность этого метода состоит в том, что его применение возможно при наличии данных по стоку рек с ненарушенным естественным режимом. Однако таких материалов недостаточно, так как большинство рек Республики Молдова несут значительную антропогенную нагрузку [6, 8, 14].

2. Метод математического моделирования, основанный на детерминистическом и стохастическом моделировании эволюции гидрологической системы под воздействием комплекса антропогенных факторов. В настоящее время он считается наиболее перспективным при оценке влияния водохозяйственных преобразований на водные ресурсы рек. [8, 9]

Оценка влияния искусственных водоемов на статистические параметры ресурсов поверхностных вод (средние многолетние значения, показатели временной изменчивости и асимметрии речного стока) требуют всестороннего

анализа как данного фактора хозяйственной деятельности, так и процессов формирования водного и теплового балансов водоемов и речных водосборов.

3. Метод водохозяйственного баланса основан на учете непосредственных значений водопотребления и водоотведения на водосборах:

$$W_{ob} = W_{nat} - \Delta W_{ut} + \Delta W_{ev}, \quad (1)$$

где W_{ob} , W_{nat} - объемы бытового и естественного стока; ΔW_{ut} , ΔW_{ev} - приращения объемов соответственно безвозвратного водопотребления и сброса вод в поверхностные водотоки.

Метод водохозяйственного баланса наиболее полно применим при оценке влияния на естественный сток орошения, промышленно-коммунального водоснабжения, строительства прудов и водохранилищ. Довольно строгая балансовая основа данного метода требует надежных сведений по фактическим компонентам водопотребления и водоотведения.

4. Метод физического моделирования, основанный на моделировании процессов, охватывающих площади речных или склоновых водосборов. Применение этого метода сопряжено с необходимостью учета значительного количества факторов и параметров и, как отмечается в работе [2], используется очень редко.

Результаты и обсуждение

При создании водоемов некоторая часть суши речного водосбора затопляется водным зеркалом. Если до возникновения водоема испарение происходило с поверхности суши (E_{us}), то после – с поверхности воды (E_a). Разница между ними представляет собой дополнительное испарение или потери воды, на которые сокращается естественный годовой сток.

$$E_{ES} = \bar{E}_a - \bar{E}_{us}, \quad (2)$$

Практическая реализация балансовых уравнений (2,3) сводится к оценке их расходных компонентов - суммарного испарения с поверхности суши (E_{us}) и с водной поверхности (E_a).

Наблюдения за испарением в Республике Молдова производятся на 7 станциях с помощью испарометра ГГИ-3000, а в одном пункте - на стоковой станции ручья Бэлцата измерения проводятся на испарительном бассейне площадью 20 м². Испарометр и испарительный бассейн имеются также вблизи южной границы Республики Молдовы (г. Болград, Украина).

Корреляционная зависимость между значениями испарения с испарительных бассейнов и средней многолетней годовой температурой воздуха позволяет через выражение $E_{20} = 135\bar{t} - 629$ картографировать данные наблюдений по температуре воздуха [3].

Следует подчеркнуть, что наблюдаемые данные по испарительным бассейнам площадью 20 м² не вполне репрезентируют испарение с больших водных поверхностей. Это требует введения соответствующих поправок на глубину, размер площади водного зеркала и на защищенность водоема от ветра. При невысокой точности определения этих дополнительных характеристик надежность оценок дополнительного испарения остается низкой [10].

В настоящее время существует несколько подходов к определению среднего многолетнего значения годового испарения с водной поверхности, эквивалентного максимально возможному слою испарения.

Широкое распространение, особенно за рубежом, получила формула Л. Тюрка [12], в которой максимально возможное испарение представлено в зависимости от средней годовой температуры воздуха t :

$$\bar{E}_m = 300 + 25 \bar{t} + 0.05 \bar{t}^3 \quad (3)$$

Однако следует отметить, что при выводе формулы для \bar{E}_m Л. Тюрк не использовал данных по водному балансу речных бассейнов, расположенных в континентальных условиях. Применение \bar{E}_m показало, что данная формула непригодна для условий континентального климата Молдовы [8]. Значения \bar{E}_m получаются сильно заниженными, поскольку средняя годовая температура воздуха в условиях нашего климата не характеризует температурный режим теплого периода, когда в основном и происходит испарение.

В. Мезенцев [9] выразил величину суммарного испарения через так называемые теплоэнергетические ресурсы климата LE_{max} , вводя понятие об **влагоэнергетическом потенциале климата** (E_m), значение которого получено путем преобразования уравнения теплового баланса

$$E_m = \frac{(R_0^+ + P_0^+)}{L} = \frac{(LE_0 + P^- + I_H + LC)}{L} = E_0 + \frac{T}{L}, \quad (4)$$

Здесь R^+ - приходная часть радиационного баланса; P^+ , P^- - соответственно, направленная к земной поверхности составляющая турбулентного обмена и расход тепла на нагревание воздуха; LE_0 - затраты тепла на суммарное испарение с земной поверхности; I_H - длинноволновое излучение земной поверхности в ночные часы суток; LC - тепло конденсации водяных паров воздуха на элементах земной поверхности (обычно не учитывается в силу незначительности); T - суммарный теплообмен - расходная часть уравнения (4). Теоретическими пределами изменения составляющих уравнения (4) являются

$$E_{max} > E_0 > 0 \text{ и } E_{max} > T > 0.$$

Это означает, что затраты тепла на фактическое испарение и суммарный теплообмен всегда меньше E_{max} . Поэтому сумма составляющих радиационного

баланса R^+ с адвентивным теплом составляют **энергетические ресурсы процесса суммарного испарения** [12].

Величина E_m , по своей смысловой нагрузке, близка к E_0 . В то же время, E_m имеет и принципиальное отличие, так как к ее оценке привлечены все положительные составляющие теплового баланса. В связи с этим, величину E_m можно называть **эквивалентом гидроэнергетического потенциала ландшафта**. Выраженная в единицах слоя воды, величина E_m четко конкретизирует и понятие «максимально возможного испарения», не прибегая к введению в него вида и уровня увлажнения подстилающей поверхности и другие дополнительные компоненты.

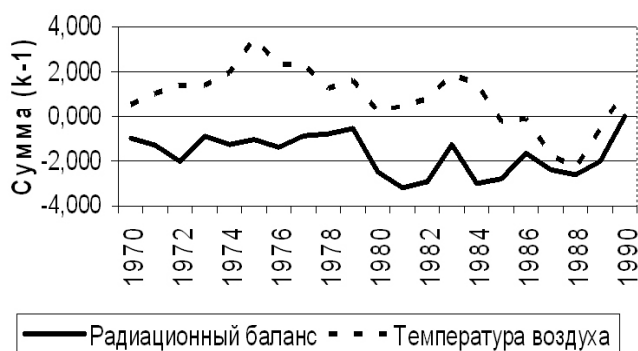


Рис. 1. Интегральные кривые среднегодовых величин радиационного баланса и температуры воздуха по станции г. Кишинэу

Надо иметь в виду, что пространственное обобщение компонентов теплового баланса, как и эквивалента E_m по формуле (4), сопряжено с определенными трудностями, вызванными скудностью фактических актинометрических наблюдений на территории Республики Молдова. Надежные многолетние сведения по элементам теплового баланса имеются только на одной метеорологической станции в г. Кишинэу. Положительный результат обобщения данных по тепловому балансу можно получить при составлении корреляционной зависимости между тепловым балансом и температурой воздуха.

Поскольку мониторинг наблюдений за температурой воздуха охватывает всю территорию Молдовы, данное обстоятельство, позволяет использовать сведения о температуре воздуха в качестве аргумента искомой величины эквивалента влагеэнергетического потенциала ландшафта E_m , оцениваемого по формуле [8]

$$\bar{E}_m = 13,3 \sum_V^{IX} \bar{t}_L - 307 \quad (5)$$

где $\sum_V^K \bar{t}_L$ - суммы средней температуры воздуха за теплый период года (май - сентябрь). Правомерным аргументом наличия такого рода зависимости является высокая синхронность в многолетнем колебании годовых значений радиационного баланса и температур воздуха, выраженных через суммарные интегральные кривые (Рис. 1)

По данным вычисленного эквивалента E_m , опираясь на выводы, содержащиеся в [9], можно получить общие балансовые уравнения для оценки суммарного испарения с поверхности водосбора E_{us} и значения климатического стока Y_{cl} :

$$\bar{E}_{us} = \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{E}_m}{X_0} \right)^{-3} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

$$\bar{Y}_{CL} = X_0 - \bar{E}_m \left[1 + \left(\frac{\bar{E}_m}{X_0} \right)^{-3} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (7)$$

Здесь X_0 - средний многолетний слой годовых осадков в мм, оцениваемый по материалам стационарных метеорологических наблюдений.

Принимая во внимание, что значения компонентов водного и теплового балансов представляют собой зонально-климатические характеристики, то это позволяет осуществить их пространственное обобщение путем составления корреляционных связей между высотным положением (H_s) пунктов наблюдений и их географическими координатами (X, Y). В итоге, на основании применения компьютерной программы STATGRAPHICS Centurion XVI получены уравнения множественной линейной корреляции для трех компонентов водного и теплового балансов.

Уравнение для оценки теплоэнергетического эквивалента имеет вид:

$$E_{\max} = 2853 - 0,027H + 0,249X - 0,396Y, \quad R^2 = 0,73 \quad (8)$$

$$E_0 = 0,015H - 0,032X + 0,285Y - 969, \quad R^2 = 0,55 \quad (9)$$

для климатического стока:

$$Y_{cl} = 0,28X_{an} + 0,0018Y - 0,001H - 0,054X_0 - 96. \quad R^2 = 0,95 \quad (10)$$

Где: H – высота метеорологического пункта (в метрах), X, Y – географические координаты метеорологического пункта (в километрах), X_0 – среднегодовое количество осадков (в мм).

На основании приведенных выше уравнений путем использования цифровой модели рельефа и компьютерной программы ГРАСС ГИС 6.4 [14] выполнено картографическое моделирование исследуемых компонентов водного и теплового балансов и, в том числе, климатического стока (рис. 2).

Приведенные выше результаты оценок компонентов водного и теплового балансов дают возможность установить необходимые аргументы, определяющие влияние искусственных водоемов на водные ресурсы речных бассейнов или на антропогенное изменение структуры географических ландшафтов.

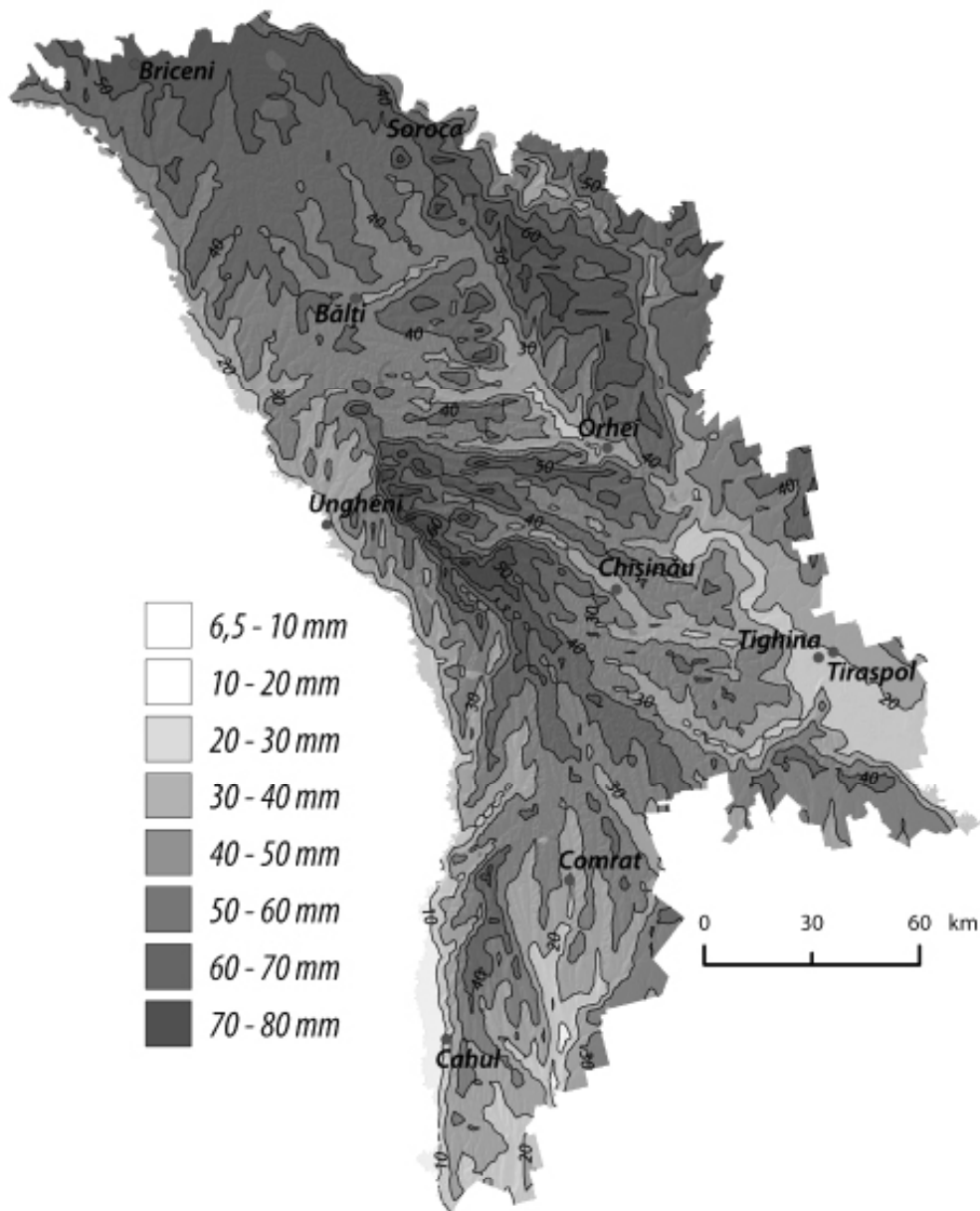


Рис. 2. Климатический сток (мм/год)

Особую значимость при изучении антропогенного влияния искусственных водоемов на статистические параметры годового стока получили детерминировано-стохастические модели, исходящие из уравнений эволюции гидрологической системы.

Естественная гидрологическая система может быть представлена в виде интегральной функции векторного уравнения [4, 7, 8].

$$Y(t) = Y(t_0) - \int L(\Lambda, Y) + \int \varepsilon \cdot dt \quad (11)$$

Где $Y(t_0)$ - составляющая, характеризующая начальное состояние гидрологической системы в ненарушенных хозяйственной деятельностью условиях; L – операторы моделей, учитывающие изменения параметров годового стока в результате антропогенных преобразований на водосборах; ε - вектор внешних воздействий, подразумевающих климатические стокообразующие факторы, которые на данном этапе исследований считаются неизменными. Изменение параметров подстилающей поверхности (например, площадей водной поверхности искусственных прудов и водохранилищ) характеризует вектор Λ .

По мнению [8] при наличии в водохозяйственном комплексе систем переброски стока из одного водосбора в другой необходимо ввести в (12) вектор управляющих воздействий U .

Следует подчеркнуть, что уравнение (12) включает в себя случайные компоненты, которые определяются вероятностными подходами. Даже антропогенные воздействия включают в себя случайную составляющую, так как влияние искусственных водоемов определяется не только суммарной площадью водной поверхности, но и дополнительным испарением с этой поверхности, зависящим от режима притока тепла и увлажнения.

Уравнение (12) можно рассматривать как функцию отклика естественной гидрологической системы на внешние антропогенные воздействия.

Применительно к оценке влияния искусственных водоемов на годовой сток функция отклика может быть представлена следующим балансовым уравнением [8]:

$$Y_{ob} F = Y_{nat} (F - \sum \omega_a) - (\bar{E}_a - X_0) \sum \omega_a \quad (12)$$

Здесь $F, \sum \omega_a$ - соответственно площадь водосбора и суммарная площадь водоемов, находящихся на водосборе; \bar{Y}_{ob} , \bar{Y}_{nat} - измененное и естественное значение годового стока; X_0 - слой годовых осадков, выпавших на водную поверхность.

При известной доли водной поверхности ω_a в речном водосборе и компонентах климатического (\bar{Y}_{CL}) или естественного (\bar{Y}_{na}) стока, уравнение водохозяйственного баланса можно представить в таком виде:

$$\bar{Y}_{ob} = \bar{Y}_{na} (1 - \omega_a) - \bar{E}_{ES} \omega_a \quad (13)$$

Практическая реализация данного уравнения может быть выполнена путем применения системного подхода [9], описывающего водохозяйственное преобразование речного стока через его потери на дополнительное испарение с поверхности искусственных водоемов, как компонентов географического ландшафта.

Применительно к оценке антропогенного влияния искусственных водоемов на водно-ресурсный потенциал ландшафта, предлагается коэффициент антропогенного влияния, выраженный через отношение, которое описывается экспоненциальной функцией двух аргументов:

$$k_y = \frac{\bar{Y}_{ob}}{\bar{Y}_{CL}} = \exp(-\alpha_a f_L) \quad (14)$$

Здесь f_L - доля суммарной площади водного зеркала в % от общей площади исследуемой территории [5] (речного водосбора, ландшафтного региона или территориально административного подразделения); α_a - параметр, оценивающий интенсивность снижения нормы климатического стока при заданной доли площади водной поверхности. Применительно к рекам степной зоны Украины рекомендуется формула (15)

$$\alpha_a = 0.767 \bar{Y}_{CL}^{-0.49} \quad (15)$$

которую следует адаптировать к условиям территории Республики Молдова:

Значения среднего многолетнего климатического стока \bar{Y}_{CL} можно определить по карте, приведенной на рис. 2.

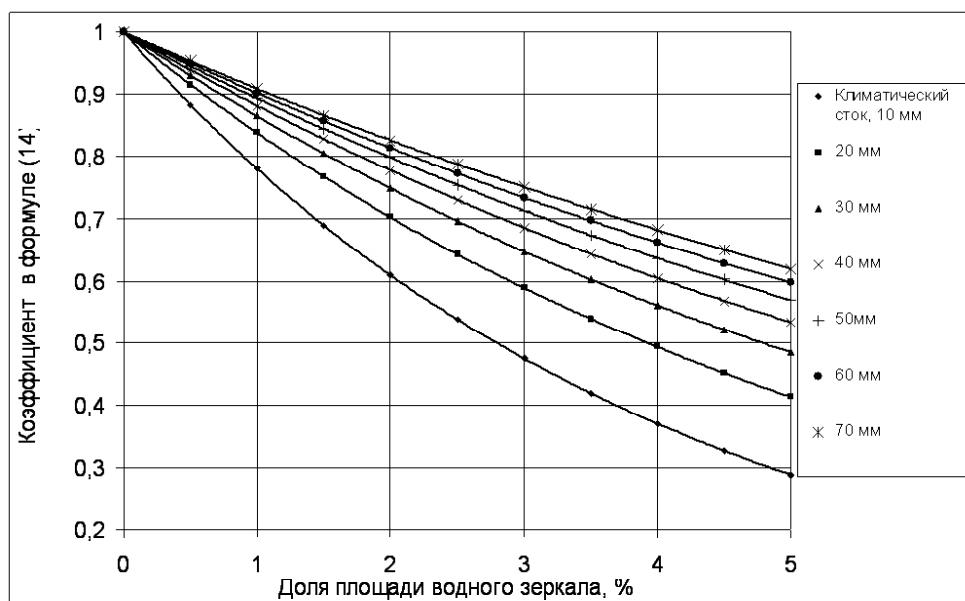


Рис. 3. Зависимость коэффициента антропогенного влияния водоемов от относительной площади водного зеркала и нормы климатического стока.

Совмещая уравнение (14) и (15) можно получить общее выражение, оценивающее степень влияния искусственных водоемов на ресурсы поверхностных вод.

Из графика (рис. 3) следует, что степень влияния искусственных водоемов на водные ресурсы по мере роста доли водной поверхности возрастает.

Выводы

На современном этапе оценки антропогенного влияния факторов хозяйственной деятельности на ресурсы поверхностных вод (особенно создание искусственных водоемов) наиболее перспективным и научно обоснованным является метод математического моделирования, исходящей из анализа уравнений эволюции гидрологической системы.

Методологической основой исследования компонентов водного баланса, особенно климатических и естественных водных ресурсов, следует считать подход, основанный на анализе и оценке **гидроэнергетического потенциала ландшафта**.

Впервые для территории Республики Молдова на основе метода многомерного корреляционного анализа получена система уравнений, позволяющая, с удовлетворительной точностью, выполнить картографическое моделирование основных компонентов водно-теплового баланса.

Применительно к оценке антропогенного влияния искусственных водоемов на водно-ресурсный потенциал ландшафта предлагается коэффициент антропогенного влияния, выраженный через отношение (14), которое описывается экспоненциальной функцией от нормы климатического стока и долей суммарной водной поверхности на изучаемой территории.

Литература

1. Булавко А.Г. Водный баланс речных водосборов.-Л.: Гидрометеиздат, 1971. - 304с.
2. Доброумов Б.М., Устюжанин Б.С. Преобразование водных ресурсов и режима рек центра ЕТС. - Л.: Гидрометеиздат, 1980. - 221с.
3. Казак В.Я., Лалыкин Н.В., Гидрологические характеристики малых рек Молдовы И их антропогенные изменения.- Кишинэу: Mediul ambient, 2005. – 208 с.
4. Коваленко В.В. Динамические и стохастические модели гидрологического цикла. – Л.:ЛПИ, 1988. – 34 с.
5. Лалыкин Н.В., Мельничук О.Н., Посошин Л.Н. Определение суммарной емкости искусственных водоемов Молдавии.// Труды Кишиневского СХИ, 1979, С.28-33.
6. Лалыкин Н.В. Расчет нормы годового стока малых рек Молдавии // Тр.УкрНИИ Госкомгидромета. – 1988. – Вып.228. – С.74-82.
7. Лалыкин Н.В., Сыродоев И.Г. Некоторые подходы к оценке воздействия изменения и изменчивости климата на водные ресурсы. // Кн.: Климат Молдовы XXI веке: проекции изменений, воздействий, откликов. Под ред. Р.М.Коробова. – Кишинев, 2004. С.176-212
8. Лобода Н.С. Расчеты и обобщения характеристик годового стока рек в условиях антропогенного влияния. –Одесса «Экология, 2005.-208 с.
9. Мезенцев В.С. Расчет водного баланса. – Омск: сельхоз. ин-т, 1976. – 76с
10. Мельничук О.Н., Лалыкин Н.В., Филлипенков А.И. Искусственные водоемы Молдовы (состояние, использование, охрана, гидрологические расчеты). – Кишинев: Штиинца, 1992. – 211с.
11. Молдованов А.И. Заиление прудов и водохранилищ в степных районах.-Л.: Гидрометеиздат, 1978. – 128 с.
12. Тюрк Л. Баланс почвенной влаги. Пер. с франц. - Л.: Гидрометеиздат, 1958. - 228с.
13. Шикломанов И.А. Влияние хозяйственной деятельности на речной сток. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 334 с.
14. GRASS Development Team, 2010. Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 6.4.0. Open Source Geospatial Foundation. <http://grass.osgeo.org>