

УДК 556.54

**ИЗУЧЕНИЕ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ СОСТАВЛЯЮЩИМИ  
ВОДНОГО БАЛАНСА АРАЛЬСКОГО МОРЯ\***

Доктор геогр. наук	Ж.Д. Достай
Доктор философии	Жан Крето
Доктор техн. наук	Д.Ш. Садыков
Канд. геол.-мин. наук	Д.К. Калитов
Канд. геол.-мин. наук	Л.В. Соколов
Канд. техн. наук	Б.Е. Жакупов
	А. Мынтурганова

*В статье рассматривается закономерности изменения площади водного зеркала, объемов водных масс, количества выпадающих атмосферных осадков и испарения с водного зеркала Аральского моря.*

Водный баланс является определяющим моментом при обеспечении объема стока по рекам Сырдарья и Амударья для удержания уровня Большого и Малого Арала. Для этой цели необходимо изучить связи между уровнем моря, площадью водной поверхности, а также объемом моря. Имея эти зависимости можно представлять возможные сценарии удержания баланса водных масс при их потреблении на техногенные нужды, потери в дельте и на испарение. Ниже описываются эти составляющие баланса водной массы. При расчетах использовались данные по [2-6, 8, 11, 14].

Связи между уровнями и площадями водной поверхности Малого и Большого Арала рассматривались в отдельности в силу их несопоставимости по многим параметрам.

**Малый Арал.** На рис. 1 приведен график, характеризующий изменение площади водной поверхности Малого Арала в зависимости от уровня моря в абсолютных отметках, позволяющий прогнозировать оптимальный уровень моря с соответствующим объемом воды при строительстве плотины.

Строительство местным населением Кокаральской дамбы и существование ее до катастрофы 20.04.1999 года показало, что можно достичь устойчивого состояния экосистем низовьев р. Сырдарья при отметках 45...46 м БС. При катастрофическом прорыве дамбы уровень Малого Арала понизился до 40 м. Этому уровню соответствует площадь водной по-

---

\* Работа выполнена по проекту ИНТАС, 00-1053, CR3

верхности в 3100 км<sup>2</sup> (табл. 1). В табл. видно как изменяется площадь водного зеркала и объем водных масс при росте уровня воды.

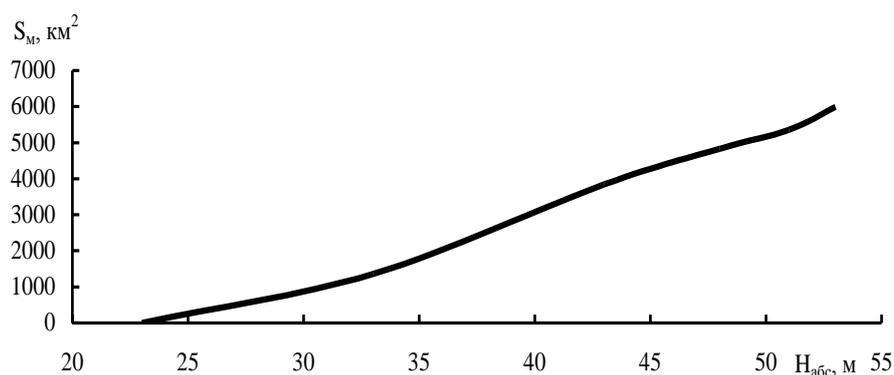


Рис. 1. График зависимости площади водной поверхности Малого Арала от его уровня.

Таблица 1

Батиметрические данные Малого Арала

H, м БС	40,0	41,0	42,0	43,0	44,0	45,0	46,0
S, км <sup>2</sup>	3100	3400	3600	3800	4000	4200	4350
V, км <sup>3</sup>	24,0	26,5	29,0	32,0	36,0	40,5	45,0

Приведенная схема может быть реализована при построении Коккаральской дамбы, которая позволит удерживать уровень Малого Арала на отметке 46 м БС.

Как известно («Казахстанская правда» от 13.02.2002 г.), Всемирный банк выделил 64,5 млн долларов для стабилизации Северной части Аральского моря за счет восстановления гидротехнических сооружений в пределах Малого Арала и его дельты. В этой связи, описываемые ниже модели водного баланса, могут быть осуществлены при строительстве в ближайшем будущем Коккаральской дамбы или гидротехнической системы, позволяющей сохранить водные ресурсы Малого Арала.

Второй вопрос – это необходимый оптимальный уровень Малого Арала. Достижение первоначального естественного уровня единого Аральского моря в 53 м абсолютной отметки сегодня не реально. Учитывая это, в [8] рекомендован оптимальный уровень для Малого Арала в 46 м абсолютной отметки.

**Большой Арал.** На момент разделения Аральского моря на Большой и Малый Арал абсолютная отметка уровня Большого Арала ориентировочно оценивалась в 1989 г. в пределах 39 м. Нахождение связи между площадью

водной поверхности Большого Арала и абсолютной отметкой его уровня представляет собой сложную задачу из-за неоднородности и неравномерности уклона дна моря в различных его частях.

Используя данные [2-6, 8, 11, 14] был построен график зависимости площади водной поверхности Большого Арала от его уровня (рис. 2). При сопоставлении этих материалов возникли расхождения. Например, согласно [14] при отметке уровня моря 35,05 м БС площадь водной поверхности равняется 28 600 км<sup>2</sup>. А наши расчеты показали (рис. 2), что при таком же уровне моря площадь его водной поверхности равняется 27500 км<sup>2</sup>. Согласно [9] при отметке 40,0 м БС акватория моря может иметь площадь 36 500 км<sup>2</sup>. Из рис. 2 видно, что при этом уровне площадь водной поверхности может составлять 40000 км<sup>2</sup>. Эти расхождения в основном связаны с изменчивостью площади контура многочисленных островов. Их площадь относительно водной поверхности может достигать 7,8 % [9]. Эта ситуация характерна до 1960 г. При нарушенном режиме моря она изменилась и площадь водной поверхности можно определить с точностью  $\pm 10\%$ . По этой причине приведенные выше расхождения между данными [9] и рис. 2 укладываются с точностью 9,6 %. Учитывая это, в дальнейшем будем пользоваться рис. 2. Но при этом точность наших моделей будет в пределах  $\pm 10\%$ .

**Изучение связи между уровнем и объемом воды моря** - эта проблема также рассматривается в отдельности для Большого и Малого Арала в силу их несопоставимости по многим параметрам.

**Большой Арал.** По материалам [1-9, 11, 12-14] был построен график зависимости объема водных масс в Большом Арале от абсолютной отметки его уровня (рис. 3). Из рисунка следует, что с ростом уровня моря с 30 до 31 м объем воды увеличивается от 120 до 130 км<sup>3</sup>, т.е. при росте уровня на 1 м наблюдается прирост объема водных масс на 10 км<sup>3</sup>. А при отметках от 46 до 47 м величина прироста достигает 50 км<sup>3</sup>. Такая тенденция сохраняется при росте уровня моря выше отметки 47 м БС. Естественно возникает вопрос: исходя из сегодняшней сложившейся ситуации, какой уровень Большого Арала может быть оптимальным? При определении оптимальности выбираемого уровня, наверное, главным критерием является допустимый уровень солености воды для выживания прежней биосистемы. Здесь также большое значение имеет объем стока, достигающий вершины дельты Амударьи и контура Большого Арала. Эти проблемы являются пока нерешаемыми. К сожалению, вершину дельты в районе Чатлы, достигает мизерная часть Амударьинской воды. При такой ситуации трудно прогнозировать повышение уровня воды в Большом Арале.

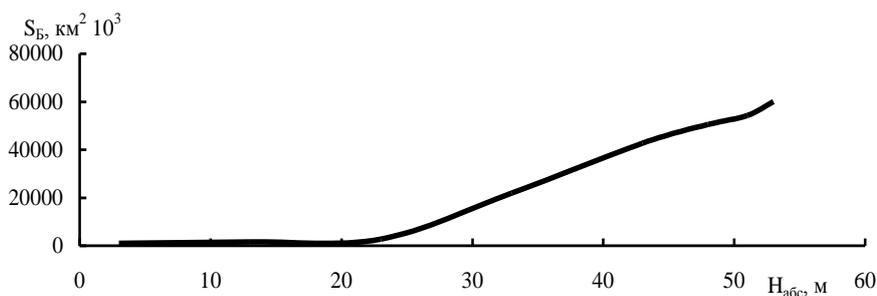


Рис. 2. График зависимости площади водной поверхности Большого Арала от уровня.

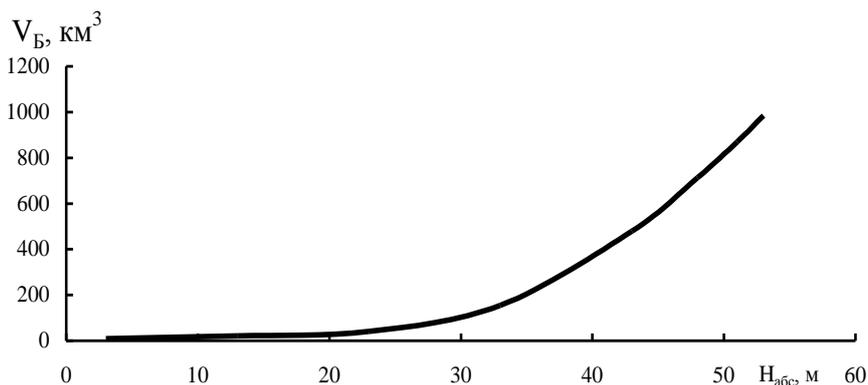


Рис. 3. График связи между уровнем и объемом воды в Большой Арале.

**Малый Арал.** Несколько логичным является вопрос удержания баланса водных масс по Малому Аралу. Как видно на рис. 4, между абсолютной отметкой уровня воды и объемом воды в море наблюдается нелинейная связь. При объемах воды 4...5 км<sup>3</sup> для подъема уровня моря на 1 м потребуется 0,5...1 км<sup>3</sup> стока. При уровнях моря больше 33 м эта величина достигает 2,5...4,5 км<sup>3</sup>. Такая особенность естественна, так как объем водоема зависит от рельефа дна моря. Изрезанность дна моря как раз дает нелинейную связь между  $V_s$  и  $H_{абс}$ . Установленная связь между  $V_s$  и  $H_{абс}$  позволяет прогнозировать необходимый объем воды для обеспечения баланса водных масс, исходя их различных климатических, гидрологических и технических факторов.

**Характер изменения количества атмосферных осадков в пределах акватории Аральского моря за 1933...1985 гг.** Количество атмосферных осадков в пределах Аральского моря небольшое и в среднем колеблется от 209 мм (ст. Муйнак, южная часть моря) и до 125 мм (ст. Аральское море, северная часть моря). Количество осадков за холодное время (ноябрь - март) и теплое время сопоставимо. На М Аральское море эти величины 63 и 58 мм

соответственно, а на М Муйнак – 76...43 мм. Четко разделить осадки на твердые и жидкие составляющие не всегда удается по причине того, что и снег и дождь могут выпадать в одном и том же месяце (табл. 2).

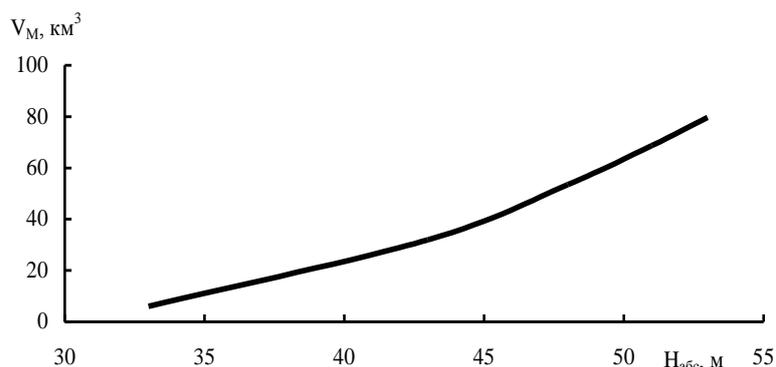


Рис. 4. График связи между уровнем и объемом воды в Малом Арале.

Таблица 2

Распределение дней с дождем и снегом на М Муйнак (среднее за 1933...1983 гг.) [3, 5, 10, 14]

Количество дней	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
с дождем	2,4	2,8	4,0	4,7	3,1	2,7	1,8	1,3	1,7	4,4	4,4	4,0
со снегом	7,0	5,1	3,0	0,2	0,04	0	0	0	0,02	0,3	1,7	4,8

Среднемноголетняя величина снежных дней в год 22,1, а дождливых – 37,8. Как видно, выпадение атмосферных осадков приходится на март – апрель и октябрь – ноябрь. В целом, количество осадков в пределах акватории моря по средним многолетним данным меняется незначительно и они играют небольшую роль в общем балансе водных масс Аральского моря. Если использовать данные по всей территории Казахстана за 1894...1997 годы [11], то количество осадков уменьшилось в среднем на 20 мм за 103 года. Но по Аральскому бассейну резкого изменения в средних многолетних значениях атмосферных осадков не наблюдается, и они не имеют разнонаправленного характера. За 1951...1960 гг. слой осадков составил 13,8 см, за 1961...1985 – 12,4, 1961...1970 – 12,7 см, 1971...1980 – 11 см, 1981...1985 – 14,7 см [3].

Что касается изменения атмосферных осадков в пределах Малого Арала и Казахстанской части бассейна р. Сырдарья, то оно не имеет явного тренда по всем метеостанциям. На метеостанциях Жосалы и Кызылорда за период 1935...1995 гг., наблюдается положительный тренд с повышением суммы годовых осадков до 30...50 мм.

В заключение сказанного, можно заметить, что количество атмосферных осадков за последние 60 лет в пределах Аральского бассейна не имеет тренда уменьшения и колеблется в пределах 11...12 см в год.

**Динамика изменения годового слоя испарения за 1988...1998 гг.**

Эта характерная черта баланса водной массы представлена по Малому Аралу. За последние годы мощность слоя испарения приведена в двух работах [7, 10]. По данным [10] средняя величина слоя испарения за 1989...1993 гг. могла составить в среднем 96 см. Согласно [7] средний слой испарения составляет 89,8 см. Рост величины слоя испарения наблюдались в 1997 и 1998 г. Среднюю мощность слоя испарения за 1988...1998 можно принять 90 см в год.

Эта характеристика для Большого Арала в 1988...1998 годы не изучена и в научной литературе не представлена. По крайней мере, авторам данной работы к моменту её составления это не известно. За 1912...1985 гг. по Аральскому морю в целом мощность слоя испарения составила 100 см. Эту величину можно принять и для Большого Арала.

**Характер изменения многолетней годовой температуры в пределах Аральского региона.** По данным многолетних исследований по Казахстану за 1894...1997 гг. увеличение средней годовой температуры составило 0,0136 °C в год или за 103 года увеличилось на 1,4 °C [11]. Но воздействие водного бассейна Аральского моря и р. Сырдарья может изменить приведенные данные.

Средняя многолетняя температура на М Аральское море и Муйнак приведена в табл. 3.

Таблица 3

Средняя многолетняя температура воздуха

Месяц	М Аральское море (1929...1985 гг.)	М Муйнак (1933...1985 гг.)
1	-13,0	-6,2
2	-11,8	-5,6
3	-3,5	-0,2
4	9,1	9,5
5	17,9	18,1
6	23,5	23,6
7	26,3	26,6
8	24,2	25,0
9	17,3	19,2
10	7,9	11,0
11	-1,2	3,3
12	-8,5	-2,7
год	7,4	10,3

Как видно, относительно многолетнего среднего 1971...1985 гг. наблюдается повышение температуры воздуха до 1 °С. Ноябрь – март являются холодными месяцами, а апрель – октябрь – теплыми. М Муйнак расположена южнее и на этой станции средняя температура воздуха за 1933...1985 гг. составляет 10,2 °С, когда эта величина на М Аральское море равна 7,4 °С, что на 2,8 °С выше. На этой станции изменение температуры воздуха в различные периоды колеблется в большую и меньшую сторону от многолетних средних.

Можно отметить, что в южной части Аральского моря холодный период года меньше (декабрь- февраль), а теплый период больше (март-ноябрь), чем в её северной части.

Анализ характера изменчивости приземной температуры воздуха в пределах Казахстанского Приаралья за 1935...1996 гг. по метеорологическим станциям с севера на юг (Казалы – 214 км от берега Малого Арала, Жосалы – 360, Кызылорда – 537, Чиили – 844 км) указывает на наличие его явного положительного тренда в пределах 0,7...1 °С. Оценка сделана графическим способом. Как видно, эти данные несколько ниже, чем по всему Казахстану. На М Саксаульская и М Аральское море явного линейного тренда повышения температуры нет, если есть, то он имеет сложный знакопеременный характер. Как видно, повышение температуры приземного воздуха в Аральском бассейне не имеет явного аномального характера и не превышает данных по всему Казахстану.

**Характер изменения потерь воды в дельтах Амударьи и Сырдарьи.** Вершина дельты на Амударье находится приблизительно в 240 км от берега Аральского моря. Это расстояние неточное и оно может уменьшаться в многоводные годы и увеличиваться в маловодные годы. В некоторые годы (1962, 1965, 1967, 1979) объемы потерь воды в дельте колебались в пределах нескольких процентов. В 1983...1990 гг. объем потерь в дельте уже составляет 30 и более процентов, а при небольших объемах стока на вершине дельты величина потерь достигает 100 %, т.е. весь сток остается в дельте. Если исключить аномальные случаи за 1983...1990 гг., то средне-многолетняя величина потерь воды, расходуемая на дельтовые ландшафты равняется 21,76 % от объема стока в вершине дельты Амударьи. Объем потерь воды в дельте Сырдарьи рассмотрен за 1988...1998 гг. Связь между объемом потерь в дельте ( $V_g$ ) и объемом притока воды в вершину дельты ( $V_n$ ) практически линейная. Если выразить объем потерь в дельте Сырдарьи как среднее значение за 1988...1998 гг., то он составит 22,84 %. Как

видно, объем потерь в дельте Амударьи (21,76 %) и Сырдарьи (22,84 %) сопоставим. Вершина дельты Сырдарьи находится в 214 км от берега Малого Арала. Если сопоставить параметры дельты Сырдарьи и Амударьи, то они не имеют больших различий.

В дельте Сырдарьи существуют более 500 озер с суммарной площадью водной поверхности около 1500 км<sup>2</sup> [7]. Эти озерные экосистемы совместно с хозяйственными водозаборами являются основными потребителями стока реки в дельте. Такого же характера расходы возможны и в дельте реки Амударья. Поэтому при рассмотрении баланса водных масс необходимо учесть потери в дельтах рек.

**Взаимосвязь основных составляющих водного баланса в пределах Аральского моря.** Если принять, что величина стока рек Амударьи и Сырдарьи в зоне формирования за 1912...1998 гг. мало изменились или, по крайней мере, не уменьшились (это на самом деле так), то основными факторами, определяющими уровень Аральского моря, являются следующее: объем стока в вершине дельты – потери в дельте – потери на испарение – объем атмосферных осадков. Как показано в [3], подземная составляющая в балансе водных масс играет незначительную роль и по этой причине она не учитывается в дальнейшем. Такое утверждение может быть и слишком категоричным, но пока будем ориентироваться на те составляющие баланса водных масс, которые имеют явное и неоспоримое значение для прогноза основных характеристик Аральского моря.

В начале рассмотрим общий подход к методике составления водного баланса по схеме:

1. Объемом в вершине дельты будем задаваться, исходя из реальной ситуации, сложившейся в низовьях рек Амударья и Сырдарья в последние годы.

2. Потери в дельте устанавливаются из реальных данных, исходя из наблюдений и оценок расходов воды на различных объектах дельты. Эти расходы составляют не более 22...23 % от объема стока в вершине дельты.

3. Потери на испарение составляет 1000 мм слоя водной поверхности для Большого Арала и 900 мм. для Малого Арала. Объем воды на испарение зависит от площади водной поверхности, которая, в свою очередь, зависит от необходимой абсолютной отметки моря или необходимого объема воды в море. Эти зависимости в виде графиков связи имеются.

4. Объем атмосферных осадков в пределах 110...120 мм повышения уровня представляет собой положительный баланс при прогнозе и оценке прогнозируемого или необходимого уровня моря.

5. Как показали приведенные выше данные, повышение температуры приземного воздуха не имеет явного влияния на уменьшение атмосферных осадков и на увеличение испарения с акватория моря, поэтому возможное их влияние на баланс водных масс исключается.

Таким образом, взаимосвязь составляющих баланса водных масс по Аральскому морю выглядит так:

$$\Delta V_m = V_{вд} - V_{нд} - V_{исп} + V_{ао},$$

где  $\Delta V_m$  – ежегодный прогнозируемый объем приращения водной массы на море;  $V_{вд}$  – объем стока рек на вершине дельты;  $V_{нд}$  – объем потерь в дельте рек;  $V_{исп}$  – объем потерь на испарение;  $V_{ао}$  – объем приращения водной массы за счет атмосферных осадков.

Приведенная система взаимосвязи отдельных составляющих баланса водной массы может быть использована при прогнозе возможного баланса водной массы Аральского бассейна.

Как видно из сопоставления объемов испарения по Аральскому морю, по Большому и Малому Аралу с осадками, доля осадков в водном балансе в Аральском бассейне составляет небольшую величину, и она не решает проблему дефицита стока рек.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арал: вчера и сегодня. Проблемы и перспективы Аральского кризиса. Фотоальбом. Алматы: МФСА, 1997. -128 с.
2. Бортник В.Н., Кукса В.И., Цыцарин А.Г. Современное состояние и возможное будущее Аральского моря.//Изв.АН СССР, сер.географ., 1991, № 4-С.62-68.
3. Гидрометеорология и гидрогеохимия морей СССР, т 7, Аральское море / Под ред. В.Н. Бортник., С.П. Чистяевой - Л.: ГМИ, 1990.- 195 с.
4. Гидрометеорологические проблемы Приаралья/Под ред. Г.Н. Чичасова. –Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 277 с.
5. Достай Ж.Д. Аральское море. // Казахская национальная энциклопедия, т I, А-Э, 1998. - С. 415-417.
6. Каталог наблюдений над уровнем моря. Аральское море. Вып. 4, Госком СССР по ГМ и ОПС, ГОИН, КРНИИГКГМ, Алматы, 1987. - 39 с.
7. Львов В.П. Колебания уровня Аральского моря за последние 100 лет// Тр. ГОИН. – 1959. – Вып. 46. – С. 80–114.
8. Мальковский И.М. и др. Гидрологические основы водообеспечения природно-хозяйственной системы дельты Сырдарьи// Водные ресурсы Центральной Азии. - Алматы, 2002. - С. 368-374.
9. Мальковский И.М. Географические основы водообеспечения и экологической устойчивости природно-хозяйственных систем Казахстана//

- Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, Институт географии, Алматы, 2002. - 219 с.
10. Мурзаев Э.М. Краткий обзор исследований Арала и Приаралья// Известия АН СССР, сер. географ., 1991, №4. – С.22 – 31.
  11. Проблемы бассейна Аральского моря. Исследования, проекты, предложения. - Ташкент, 1998. - 75 с.
  12. Первое национальное сообщение Республики Казахстан по рамочной конвенции ООН об изменении климата. Алматы, 1998, 73 стр.
  13. D. Sadykov, A. Beisenova, A. Baimuldaeva. A possible mechanism of the Syr-Darya discharge fluctuations and ecological problems in the Kysylorda oblast. Vestnik of National Acad. Sei of the Republic of Kazakhstan, 2000, № 3, P. 39 –42.
  14. Jean Cretaux, Fabrice Papa, D. Sadykov, D. Kalitov, L. Sokolov. Any generalization of data about Aral Sea level changes // The works of international Scientific and practical conference «Problems of hydrogeology, engineering and geology between two centuries». – Almaty, 2002. – P. 126-131.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби

**АРАЛ ТЕҢІЗІ СУ ТЕҢДЕСТІГІНІҢ ҚҰРАМДАРЫНЫҢ АРА  
БАЙЛАНЫСЫН ЗЕРТТЕУ**

Геогр. ғылым. докторы	Ж.Д. Достай
Доктор философии	Жан Крето
Техн. ғылым. докторы	Д.Ш. Садықов
Геол.-мин. ғылым. канд.	Д.К. Калитов
Геол.-мин. ғылым. канд.	Л.В. Соколов
Техн. ғылым. канд.	Б.Е. Жакупов
	А. Мынтурганова

*Мақалада Арал теңізінің су айдынының ауданы, су қлемі, жауатын жауын-шашын және булану заңдылықтары қарастырылған.*