

УДК 551.579

Канд. техн. наук

П.Ж. Кожаметов *

Е.А. Исаков *

Д.К. Байбазаров *

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТАНДАРТИЗИРОВАННОГО ИНДЕКСА
ОСАДКОВ (СИО) ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗАСУХ В КАЗАХСТАНЕ***СТАНДАРТИЗИРОВАННЫЙ ИНДЕКС ОСАДКОВ, ЗАСУХА, ГИДРОТЕРМИЧЕСКИЙ КОЭФФИЦИЕНТ Г.Т. СЕЛЯНИНОВА, ГАММА-РАСПРЕДЕЛЕНИЕ*

Выявлена приемлемая адекватность идентификации засух и увлажненности территорий по стандартному индексу осадков, в сравнении с гидротермическим коэффициентом по территории Казахстана.

В агрометеорологическом обеспечении сельского хозяйства, проводимом РГП «Казгидромет», основное внимание уделяется оперативной информации о влиянии складывающихся погодных условий (особенно экстремальных) на состояние и продуктивность сельскохозяйственных культур. При этом большое значение имеют данные мониторинга засух, так как именно это опасное природное явление часто вызывает значительный недобор урожая, а в отдельные годы – гибель сельскохозяйственных культур на больших площадях, в связи с тем, что большая часть пахотных земель Казахстана находится в районах с недостаточным и неустойчивым увлажнением [10].

Различают обычно три типа засухи: атмосферную, почвенную и атмосферно-почвенную (общую) засуху [1]. Известно, что большинство районов Казахстана наиболее часто подвергается негативному воздействию атмосферных засух. Почвенные засухи, как правило, являются следствием атмосферных засух, т.е. происходят при длительном отсутствии осадков или их незначительном количестве. Для оперативного мониторинга атмосферных засух, наряду с количеством осадков в процентах от нормы, нами используется наиболее распространенный в агрометеорологии гидротермический коэффициент Г.Т. Селянинова (ГТК). Он представляет собой отношение суммы осадков к сумме активных температур воздуха,

* РГП «Казгидромет»

уменьшенной в десять раз, которая характеризует испаряемость. Целесообразность использования ГТК обусловлена не только удобством применения в расчетах, на основе регулярно поступающих декадных агрометеорологических телеграмм, и возможностью классифицировать засухи по интенсивности (сильная, средняя и слабая), но и достаточно тесной связью с урожайностью основных сельскохозяйственных культур во многих районах. Это позволяет использовать данный коэффициент в прогностических целях [1, 4, 5].

В 2009 г. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) рекомендовала использовать стандартизированный индекс осадков для мониторинга засух (The Standardized Precipitation Index – СИО), который в исследовательском или в оперативном режиме используется более чем в 70 странах [11]. Наша многолетняя оперативная практика обеспечения сельскохозяйственной отрасли Казахстана показала, что именно способность того или иного показателя оценить отклик растений (посевов сельскохозяйственных культур) на сложившиеся засушливые условия является основным критерием для применения его в оперативной агрометеорологии, а также агрономической практике. Преимущество его использования состоит в том, что создана достаточно надёжная база данных осадков. Значения индекса не зависят от географического расположения территории и при его расчете выполняется нормирование по времени. Идея подхода связана с тем, что распределение осадков достаточно хорошо описывается гамма-распределением. По многолетним данным выпадения осадков (от 30 лет) для конкретной территории строится функция плотности гамма-распределения. После перехода к накопленной функции распределения, накопленные вероятности трансформируются в стандартные нормальные величины. Эти величины и есть значения СИО [6, 7, 8].

Агрометеорологических исследований для установления возможности использования рекомендуемого индекса в Казахстане проводилось мало. В результате работы в рамках НИР «Исследование и прогнозирование засухи в Казахстане» (2010 г.) было предложено использовать для условий территории Республики индекс Пальмера и СИО [1].

Также в последние годы появились отдельные работы в исследовательских институтах «Росгидромета» по изучению возможности использования СИО с целью выявления районов распределения засух, засушливых условий, а также увлажненности территорий. Индекс СИО основан на распределении вероятности осадков в любом временном масштабе [7]. По существу, он базируется на использовании временных рядов месячных

сумм осадков; фактически это преобразованная величина количества осадков, имеющая нормальное распределение. Расчеты СИО могут производиться за любой период – месяц, сезон, год, т.е. и в зимний период, тогда как ГТК – только в вегетационный период. Кроме того, преимущество СИО – стандартизация, которая гарантирует то, что частота чрезвычайных событий в любом месте и в любом масштабе времени согласована. При расчетах СИО временные ряды месячных сумм осадков преобразовывались с помощью статистических распределений. Первое – это гамма распределение, когда по данным о количестве осадков для конкретной территории строится функция плотности гамма-распределения:

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \cdot x^{\alpha-1} \cdot e^{-x/\beta}, \quad x > 0, \quad (1)$$

где $\alpha > 0$ – параметр формы; $\beta > 0$ – параметр масштаба; $x > 0$ – количество осадков; Γ – гамма-функция, которая определена как:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy. \quad (2)$$

Параметры α и β оцениваются с помощью уравнений:

$$\tilde{\alpha} = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right); \quad \tilde{\beta} = \frac{\bar{x}}{\tilde{\alpha}}. \quad (3)$$

Для n наблюдений:

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(\bar{x})}{n}. \quad (4)$$

Интегрирование функции плотности вероятности относительно x и оценок α и β приводит к выражению для функции распределения $G(x)$ наблюдаемых значений количества осадков, для данного временного масштаба:

$$G(x) = \int_0^x g(x) \cdot d(x). \quad (5)$$

Так как гамма-распределение не определено для $x = 0$ и $q = P(x = 0) > 0$, где $P(x = 0)$ – вероятность нулевых осадков, то кумулятивная вероятность преобразуется:

$$H(x) = q + (1 - q) \cdot G(x). \quad (6)$$

Совокупное распределение вероятности далее преобразуется в стандартное нормальное распределение, для того чтобы привести суммы осадков к СИО. Этот процесс проиллюстрирован на рис. 1.

Важно, что значения СИО не зависят от периода накопления суммы осадков и географических координат [11, 2, 3, 4, 5].

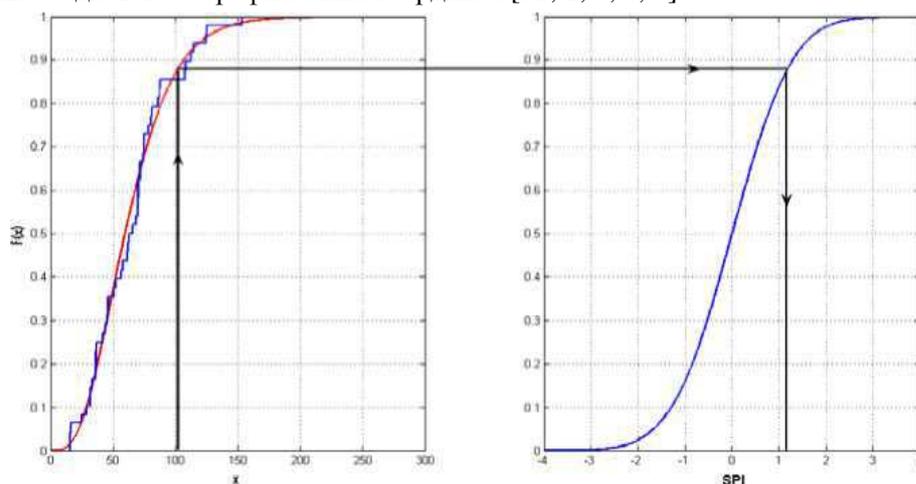


Рис. 1. Преобразование количества осадков в СИО: эмпирическая функция распределения и соответствующее гамма-распределение (а); функция нормального распределения с эмпирическими средним и среднеквадратическим отклонением (б).

В табл. приведены значения СИО, соответствующие различным состояниям увлажненности (засушливости). Для количества осадков, например $x = 101$, получаем СИО = 1,1.

Таблица

Классификация засушливости по значениям СИО

Значение СИО	Состояние почвы
2,00 и более	экстремально влажно
1,50...1,99	очень влажно
1,00...1,49	умеренно влажно
0,99...-0,99	близко к норме
-1,00...-1,49	умеренная засуха
-1,50...-1,99	сильная засуха
-2,00 и менее	экстремальная засуха

Фактически единственным необходимым исходным параметром для расчета СИО являются осадки. СИО может рассчитываться для разных временных масштабов, предоставлять заблаговременное предупреждение о засухе и способствовать оценке интенсивности засухи. Засуха наблюдается в любое время, если значения индекса СИО постоянно отрицательны и достигают интенсивности -1,0 или менее. Засуха заканчивается, когда значения СИО становятся положительными. Каждый случай засухи, следовательно, можно охарактеризовать длительностью и интенсивностью для каждого месяца или

периода, в течение которого наблюдалось это явление [2, 3, 4]. Для определения интенсивности засухи используется классификация значений стандартизованного индекса осадков, представленная в табл. Помимо того, этот индекс в равной степени эффективен как при анализе влажных периодов (циклов), так и при анализе сухих периодов.

Значения стандартизованного индекса осадков СИО обеспечивают сравнение осадков за определенный период (1, 3, 6, 9, 12, 24-х месячный и более период) с осадками того же периода за все годы, включенные в анализ. Состояние влажности почвы реагирует на аномалии осадков в относительно кратком временном масштабе. Состояние подземных вод, речного стока и водохранилищ отражает долгосрочные аномалии осадков. Так, например, значения СИО, рассчитанные по данным о суммах осадков за 1 месяц (СИО_1), отражают относительно краткосрочные условия увлажнения, т.е. СИО_1 тесно связано с метеорологическим типом засухи наряду с краткосрочной влажностью почвы и стрессом растений, особенно во время вегетационного периода. СИО, рассчитанный по данным за 3...6 месяцев, полезен для анализа сельскохозяйственной засухи. Значения СИО по данным от 6 до 24 месяцев или более, отражают долгосрочные тенденции в осадках и полезны для определения гидрологической засухи.

На рис. 2 приведены значения стандартизованного индекса осадков СИО, рассчитанного по суммарным осадкам за различные периоды времени с ноября 2014 г. по апрель 2015 г по территории Казахстана. Различные оттенки коричневого цвета обозначают разную интенсивность засушливости или засухи, оттенки зеленого указывают, что за данный период условия оцениваются, как влажные различной степени (использованы данные бюллетеня мониторинга засухи на территории Казахстана за 2015 г., подготовленные для служебного пользования работниками РГП «Казгидромет», под редакцией Долгих С.А., Байбазарова Д.К.).

В январе 2015 г. количество осадков было близко к норме на большей части территорий Казахстана. Умеренно влажно было в отдельных районах Восточно-Казахстанской, Жамбылской и Южно-Казахстанской областей. В феврале 2015 г. в большинстве северных и западных регионов количество осадков было ниже нормы. Умеренно засушливо было на севере Западно-Казахстанской и Костанайской областей. В южной половине Казахстана осадки выпали около нормы.

В марте во многих северных и западных регионах условия умеренной засушливости сменились на близкие к норме, но дефицит осадков еще ощу-

щался. В восточных регионах, в результате выпавших осадков, условия характеризовались как умеренно и сильно влажные. В апреле условия увлажнения территории Казахстана были, в основном, близкие к норме. В северных и западных регионах условия увлажнения стали более благоприятные за счет осадков. Анализ накопленных сумм осадков за зимне-весенний период (СИО_3 за февраль...апрель 2015 г. и СИО_6 за ноябрь 2014 г...апрель 2015 г., рис. 2) указывает, что к началу мая увлажнение большей части территории Казахстана близко к норме. Исключение составляют западные и северо-западные регионы, где умеренно засушливо, и некоторые центральные и восточные регионы, где умеренно влажно.

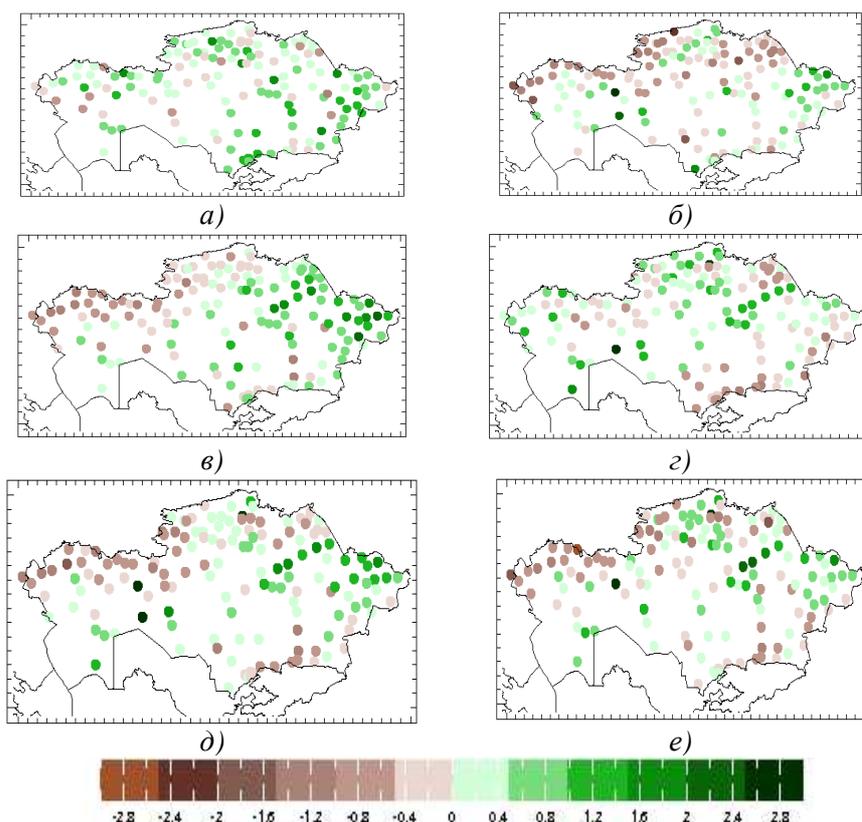


Рис. 2. Значения СИО по данным суммарных осадков за различные периоды: а) январь 2015 (СИО_1), б) февраль 2015 (СИО_1), в) март 2015 (СИО_1), г) апрель 2015 (СИО_1), д) февраль...апрель 2015 (СИО_3), е) ноябрь...апрель 2015 (СИО_6).

На рис. 3 приведены значения стандартизованного индекса осадков, рассчитанного по суммарным осадкам за различные периоды времени с января 2015 г. по июнь 2015 г.

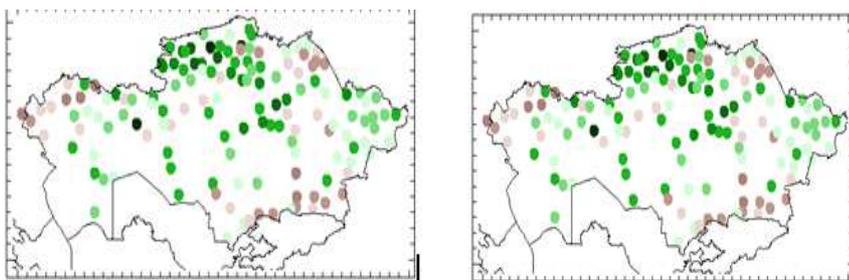


Рис. 3. Значения СИО по данным суммарных осадков за различные периоды.

Для решения задач по определению адекватности СИО и ГТК по месячным значениям при характеристике увлажненности территорий областей, выявления засух и для сравнения результатов идентификации засух по этим показателям, нами строились карты распределения их расчетных значений за период вегетации зерновых культур по областям страны (рис. 4).

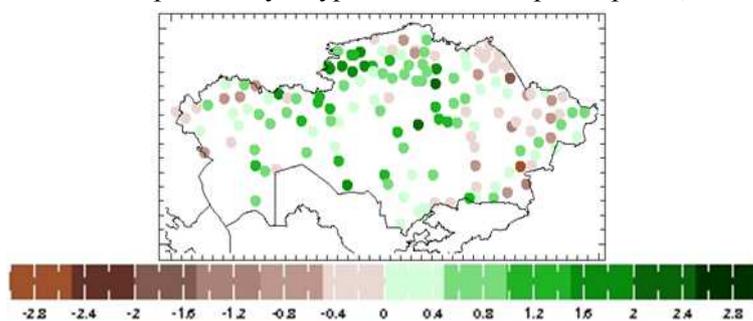


Рис. 4. Значения СИО по данным о суммах осадков за июнь 2015 г.

В целом за июнь на большей части Республики осадков выпало около нормы. Осадков выше нормы выпало в отдельных районах Акмолинской, Актюбинской, Карагандинской и Костанайской областей. За счет осадков в предыдущие месяцы, особенно в мае, накопленное количество осадков позволило несколько сгладить эффект высоких аномалий температуры на территории Северо-Казахстанской, Акмолинской, Костанайской, Карагандинской областей. Умеренная засуха наблюдалась по данным лишь отдельных станций в Алматинской, Жамбылской, Западно-Казахстанской и Восточно-Казахстанской областях. Используя расчетные значения ГТК, были построены карты распределения этого показателя по территории Казахстана за июнь месяц (рис. 5). Можно увидеть, что сильно засушливые условия наблюдались по мониторингу ГТК на большей части страны. Хорошо увлажненные условия были на северо-западе Костанайской и Северо-Казахстанской областей, а также на северо-востоке Акмолинской, Северо-Казахстанской, на большей части Павлодарской, на юге

Алматинской и юго-востоке Южно-Казахстанской областей (использованы данные бюллетеня мониторинга засухи на территории Казахстана за 2015 г., подготовленные для служебного пользования работниками РГП «Казгидромет», под редакцией Долгих С.А., Байбазарова Д.К.).

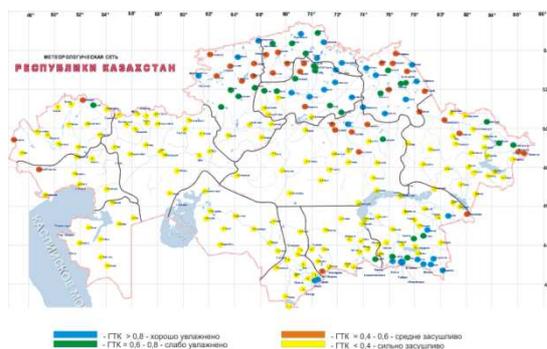


Рис. 5. Карта распределения ГТК за июнь 2015 г.

Анализ показал, что на преобладающей территории страны отмечается вполне удовлетворительное сходство распределения СИО с распределением ГТК, т.е. наблюдалась адекватность выявления засух и увлажненности по этим показателям. Это указывает на возможность использования СИО наравне с ГТК. В качестве примера на рис. 4 и 5 показано распределение СИО и ГТК в июне 2015 г. по Казахстану.

Как видно из приведенных выше рисунков, районы засух по СИО и ГТК, в основном, идентичны. Однако следует отметить, что по значению ГТК засуха характеризовалась как очень сильная на большей части территории страны. По значениям СИО зона очень сильной (экстремальной) засухи занимала меньшую площадь (западная половина Казахстана и южные районы). Более жесткое выделение очень сильной засухи по ГТК можно объяснить, по-видимому, тем, что этот показатель учитывает и температуру воздуха, которая в июне превышала норму на 2...3 °С.

Таким образом, используя СИО в соответствии с приведенной выше классификацией, для каждого конкретного пункта (метеостанции) можно определить вероятность возникновения засухи той или иной интенсивности. Начало засушливых условий устанавливается, когда значение СИО становится меньше нуля (ниже -0,10); окончание определяется временем, когда этот индекс становится положительным. Внутри периода с отрицательными значениями индекса СИО, в соответствии с выбранными градациями, устанавливаются периоды засух различной интенсивности.

Некоторое расхождение при выделении засушливых районов, по-видимому, можно объяснить тем, что ГТК учитывает не только приход вла-

ги (осадки), но и в определенной степени ее расход за счет испаряемости, выраженной суммами активных температур, входящих в формулу ГТК.

Известно, что во многих физико-статистических методах прогнозов урожайности зерновых культур используется ГТК, иногда в сочетании с другими показателями агрометеорологических условий. В этой связи необходимо было бы выявить возможность использования значений индекса СИО в прогностических схемах для количественной оценки ожидаемой средней по области и районам урожайности зерновых и масличных культур.

Для этих целей интересно было бы в дальнейшем провести работу по исследованию тесноты связей и рассчитать коэффициенты корреляции между урожайностью зерновых и масличных культур и средними по областям и районам значениям ГТК и СИО.

Недостатком СИО является то, что не учитывается возможность испарения осадков за счет различных температурных условий. Ведь на юге Казахстана испаряемость выше, чем на севере.

В результате выполненных исследований, авторами выявлена приемлемая адекватность идентификации засух и увлажненности территорий по СИО, в сравнении с ГТК по территории Казахстана. Некоторое расхождение в отображении засух отмечено при высоких положительных аномалиях температуры воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байшоланов С.С. О повторяемости засух в зерносеющих областях Казахстана // Гидрометеорология и экология. – 2010. – №3. С. 27-38.
2. Вильфанд Р.М., Страшная А.И. Климат, прогнозы погоды и агрометеорологическое обеспечение сельского хозяйства в условиях изменения климата // Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погодно-климатическим условиям: Сборник докладов международной научно-практической конференции, 7-11 декабря 2010 г. – М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, 2011. – С. 23-38.
3. Грингоф И.Г., Клещенко А.Д. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. – Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД, 2011. – 808 с.
4. Клещенко А.Д., Савицкая О.В. Оценка пространственно временного распределения урожайности зерновых культур стандартизированного индекса осадков по спутниковой и наземной информации // Труды ГГО, 2014. – Вып. 571. – С. 147-161.
5. Страшная А.И., Богомолова Н.А. О каталоге почвенных засух под ранними яровыми зерновыми культурами в Черноземной зоне России // Труды ГМЦ РФ, 2005. – Вып. 340. – С. 35-47.

6. Страшная А.И., Максименкова Т.А., Чуб О.В. Агрометеорологические особенности засухи 2010 года в России по сравнению с засухами прошлых лет // Труды ГМЦ РФ, 2011. – Вып. 345. – С. 194-214.
7. Страшная А.И., Тищенко В.А., Береза О.В., Богомолова Н.А. О возможности использования стандартизированного индекса осадков для выявления засух и в прогнозах количественной оценки урожайности зерновых и зернобобовых культур // Труды ГМЦ РФ, 2011. – Вып. 357. – С. 81-97.
8. Чуб О.В., Страшная А.И. О возможности использования нового агрометеорологического коэффициента увлажнения для мониторинга атмосферно-почвенных засух // Труды ГМЦ РФ, 2012. – Вып. 347. – С. 190-206.
9. Guttman Nathaniel B. Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm // Journal of the American water resources association. –1999. – Vol. 35, No. 2. С. 311-322.
10. Lloyd-Hughes B., Saunders M.A. A drought climatology for Europe // Int. J. Climatol. – 2002. – Vol. 22.– P. 1571-1592.
11. Standardized Precipitation Index. User Guide / WMO, No. 1090. – 18 p.

Поступила 4.03.2016

Техн. ғылымд. канд.	П.Ж. Кожахметов
	Е.А. Исаков
	Д.К. Байбазаров

ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚТЫ АНЫҚТАУ ҮШІН ҚАЗАҚСТАНДА ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ СТАНДАРТТАЛҒАН ИНДЕКСІН (ЖСИ) ПАЙДАЛАНУ

ЖАУЫН-ШАШЫННЫҢ СТАНДАРТТАЛҒАН ИНДЕКСІ, ҚҰРҒАҚШЫЛЫҚ, Г.Т. СЕЛЯНИНОВТЫҢ ГИДРОТЕРМИЯЛЫҚ КОЭФИЦИЕНТІ, ГАММА-БӨЛІП ТАРАТУ

Қазақстан аумағы бойынша ГТК-мен салыстырғанда ЖСИ бойынша аумақ құрғақшылығы мен ылғалдылығын сәйкестендірудің қолайлы адекваттылығы анықталды.