

РЕАКЦИЯ НА ЗАСУХУ РАЗЛИЧНЫХ ЛИНИЙ АРМЯНСКОЙ КУКУРУЗЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПОЧВЕННО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

А. Р. Сукиасян, А. В. Тадевосян, Г. П. Пирумян

*Национальный политехнический университет Армении, Армения
Ереванский государственный университет, Армения*

Поступила в редакцию 25 июня 2017 г.

Аннотация: Изучилась реакция на засуху по кинематическим профилям четырех линий кукурузы с контрастной чувствительностью к стресс-фактору в зависимости от почвенно-климатических условий вместе с контрольной инбредной линией В73. Отмечено, что засухоустойчивость сильно уменьшала параметры роста листьев, включая скорость удлинения и конечную длину пятого листа. Было показано, что фенотипические различия между линиями, различающимися по географическому происхождению (армянские образцы и В73) и толерантности к засухе, могут быть идентифицированы на стадии рассады путем измерения общей длины, значений осмотического давления и водного потенциала пятого листа кукурузы.

Ключевые слова: кукуруза, засуха, водный потенциал, осмотическое давление, почвенно-климатических условия.

Abstract: The article describes the reaction to the drought by the kinematic profiles of four lines of maize with contrast sensitivity to the stress-factor depending on the soil and climatic conditions together with the control inbred line В73. It was noted that drought resistance strongly reduced leaf growth parameters, including the rate of elongation and the final length of the fifth leaf. It was determined that the phenotypic differences between lines differing in geographic origin (Armenian samples and В73) and tolerance to drought can be identified in the seedling stage by measuring the total length, osmotic pressure values and the water potential of the fifth maize leaf.

Key words: maize, drought, water potential, osmotic pressure, soil and climatic conditions.

Влияние различных экологических факторов определяется конкретными почвенно-климатическими условиями внешней среды. Одним из наиболее важных экологических факторов, отрицательно влияющих на рост растений, является засуха, которая качественно и количественно снижает урожайность продовольственно важных культурных растений [3, 14]. В этом контексте при исследовании роста и развитие культурных растений требуется всесторонний анализ, основанный на выявлении взаимосвязи урожайности культуры с почвенно-климатическими факторами, которые характерны для конкретного региона произрастания.

По имеющимся на сегодняшний день прогнозам, засуха станет наиболее серьезной проблемой при анализе изменений климатических условий, тем самым ставя задачу перед специалистами смежных областей в исследовании и получении

культурных растений с повышенной засухоустойчивостью [9, 10]. Территориально Армения отличается большим разнообразием геоэкологических зон. К тому же в регионе находится большое количество зон с повышенным температурным фоном. По прогнозам Всемирного института ресурсов Армения занимает 22-ое место в списке из 33 стран, которым грозит засуха в течение ближайших 25 лет [11].

Эта задача в своем решении затруднена тем фактором, что в ответ на засуху-стресс само растение выбирает стратегически различные подходы при адаптации. Данный факт продиктован тем, что различные органы самого растения по-разному переносят засуху в зависимости от времени отклика и тяжести самого стресса [13]. На сегодняшний день имеются определенные достижения в этом направлении, которые выражаются в том, что были установлены определенные различия в чувствительности к засухе между сортами сельс-

Изменение скорости удлинения роста пятого листа кукурузы в зависимости от моделируемых условий засухи

Образец кукурузы (с указанием почвы произрастания)	Контроль, ОВП 54 %	Умеренная засуха, ОВП 43 %	Сильная засуха, ОВП 34 %	% ингибирования умеренной засухой	% ингибирования сильной засухой
Арм 1 – Шнох (Коричневая лесная)	2,576±0,306	1,869±0,018	0,824±0,046	27	68
Арм 2 – Техут (Коричневая лесная)	3,791±0,006	3,071±0,010	1,111±0,020	19	71
Арм 3 – Одзун (Горный чернозем)	4,118±0,019	2,858±0,010	1,059±0,158	31	74
Арм 4 – Ушакерт (Полупустынная каштановая)	3,175±0,063	2,725±0,028	1,729±0,485	14	46
В 73	2,85±0,050	2,208±0,030	0,766±0,019	22	73

ОВП – относительная влажность почвы

кохозяйственных культур в зависимости от контрастных адаптаций и стратегии выживания.

Но физиологические основы этих различий до сих пор плохо изучены. Одно из приоритетных исследований в этой области является исследование физиологических особенностей роста и развития растения кукурузы, в первую очередь благодаря ее экологической пластичности, которая обеспечивает ее адаптацию в широком диапазоне внешних условий. Особое внимание следует обратить на тот факт, что сама растительная клетка способна контролировать свой рост и формирование путем напряжения и релаксации клеточных стенок [12]. Поэтому изучение количественных изменений воды в клетке на основе параметров осмотического давления и водного потенциала способствуют пониманию и оценке максимальной способности растения поглощать воду из почвы и удерживать ее, что весьма перспективно при исследовании геоэкологических характеристик зон произрастания данного вида растения.

В экспериментах использовалась полужубовидная сахарная кукуруза армянской популяции (*Zea mays*), выращенная в четырех отличных по геохимическим показателям регионам Армении, а в

качестве контрольного растения – кукуруза инбредной линии В73 (Iowa Stiff Stalk Synthetic) [4].

Армянские образцы кукурузы отличались по основному ареалу произрастания – в Лорийском марзе вдоль реки Дебет (Одзун, Шнох, Техут) и в Армавирском марзе вблизи реки Аракс (Ушакерт).

Моделирование абиотического стресса – засухи осуществлялось в специально оборудованной системой кондиционирования климатической комнате: 16 ч день / 8 ч. ночь, соответственно 25°C/18°C, влажность 20 %, фотосинтетическая активная радиация 300 $\mu\text{Em}^{-2}\text{C}^{-1}$, которая обеспечивалась натриево-газоразрядными лампами высокого давления. Вазоны с семенами кукурузы поливались ежедневно в одно и то же время суток. В качестве контрольной использовалась почва фирмы Jiffy (Нидерланды).

В контрольных вазонах оптимальная относительная влажность почвы (ОВП) составляла 54 %. Моделирование засухи осуществлялось путем изменения ОВП режимом полива. В случае умеренной засухи ОВП составляло 43 %, при этом визуально не наблюдалось увядание листьев растения. Во время моделирования сильной засухи ОВП составляло 34 % и наблюдалось увядание листьев в течение дня.

Зависимость скорости удлинения пятого листа кукурузы при различных значениях относительной влажности почвы

Стресс фактор	Уравнение корреляции	R ²
Образец Арм 1 – Шнох		
Контроль, ОВП 54%	$y_{ARM1} = -1,220x^2 + 51,32x + 82,19$	0,999
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{ARM1} = -1,220x^2 + 51,32x + 82,19$	0,999
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{ARM1} = 0,525x^2 + 9,532x + 126,0$	0,991
Образец Арм 2 – Техут		
Контроль, ОВП 54%	$y_{ARM2} = -2,964x^2 + 112,1x + 31,45$	0,996
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{ARM2} = -2,447x^2 + 92,04x + 55,77$	0,998
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{ARM2} = -0,068x^2 + 27,60x + 128,7$	0,997
Образец Арм 3 – Одзун		
Контроль, ОВП 54%	$y_{ARM3} = -3,987x^2 + 124,0x + 61,13$	0,997
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{ARM3} = -2,835x^2 + 91,39x + 81,01$	0,997
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{ARM3} = -0,291x^2 + 40,22x + 102,6$	0,998
Образец Арм 4 – Ушакерт		
Контроль, ОВП 54%	$y_{ARM4} = -3,745x^2 + 109,5x + 44,66$	0,995
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{ARM4} = -3,211x^2 + 95,36x + 38,27$	0,994
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{ARM4} = -0,379x^2 + 29,45x + 157,1$	0,996
Образец В73		
Контроль, ОВП 54%	$y_{B73} = -3,956x^2 + 108,4x + 20,04$	0,993
Умеренная засуха, ОВП 43%	$y_{B73} = -2,834x^2 + 87,00x + 44,62$	0,991
Сильная засуха, ОВП 34%	$y_{B73} = -0,153x^2 + 28,47x + 116,6$	0,995

С целью определения физиологического показателя роста кукурузы в условиях моделируемой засухи измерялась длина пятого листа кукурузы (длина от уровня земли до конца листа) в течение первых трех дней (скорость удлинения листа) произрастания во всех трех условиях полива. Были рассчитаны некоторые кинетические параметры роста кукурузы в условиях моделируемой засухи по изменению длины пятого листа до статистически достоверного замедления его роста.

Осмотический потенциал воды измеряли потенциометрическим методом с помощью прибора PSYPRO посредством измерения относительной влажности воздуха над образцом в закрытой камере, которая оснащена датчиком С-52-СФ [1].

Все проведенные эксперименты имели 10 биологических и 3-5 технических повторностей. Результаты были обработаны с помощью программы MatLab [2].

Благодаря высокой биологической приспособляемости, кукуруза нормально развивается в различных агроклиматических зонах [5]. Однако засуха является одним из важных стресс-факторов окружающей среды, ограничивающая продукцию жизненно важных растений.

Повышение температуры окружающей среды провокационно влияет на рост и развитие расте-

ний, в частности кукурузы. Ее требовательность к влаге проявляется по-разному в зависимости от каждого физиологического цикла развития. Наибольшее количество воды кукуруза потребляет в течение первых 30-40 дней, когда растение быстро растет в высоту. Отмечено, что интенсивность поглощения воды зависит также от аэрации-обеспечения необходимым количеством кислорода: она удовлетворительно растет на достаточно хорошо орошаемых дренируемых почвах с низким стоянием грунтовых вод.

Оптимальные требования кукурузы к климатическим условиям тесно связаны с физико-химическими особенностями почвы. В зависимости от содержания влаги в почве благоприятными для роста кукурузы в течение первых 30 дней является показатель влажности почвы (более 60 %).

В этом контексте были исследованы кинетические особенности роста ползучевидной сахарной кукурузы армянской популяции, в отличных по почвенно-климатическим показателям, и инбредной линией В73 с определенной засухоустойчивостью при различных условиях моделируемой засухи.

С целью оценки скорости роста образцов кукурузы в условиях моделируемой засухи сравнивались величины скорости удлинения листа (СУЛ) для пяти образцов кукурузы в условиях контроля

Толерантность образцов растений при моделируемой засухе

Образец кукурузы	Контроль, ОВП 54 %	Умеренная засуха, ОВП 43 %	Сильная засуха, ОВП 34 %	% ингибирования умеренной засухой	% ингибирования сильной засухой
Арм 1 – Шнох	702,5±13,7	577,5±47,5	390,0±60,2	17,8	44,5
Арм 2 – Техут	1021,7±25,5	871,7±37,1	517,5±32,5	14,7	49,3
Арм 3 – Одзун	1011,9±17,2	799,4±23,3	604,0±6	21,0	40,3
Арм 4 – Ушакерт	838,5±12,3	742,5±18,2	513,7±17,3	11,4	38,7
В 73	757,6±6,49	702±17,1	493,2±8,5	7,3	34,9

(оптимальной) и моделируемых умеренной и сильной условиях засухи. Можно однозначно утверждать, что величина СУЛ на уровне побега сильно ингибируется засухой (таблица 1).

Далее в зависимости от условий произрастания (стресс-засуха) были получены кинетические уравнения, описывающие рост и развитие пятого листа кукурузы (таблица 2).

Из представленных уравнений следует, что стресс-засуха вызывает явное замедление роста растений. При умеренном и сильном стрессах количественное уменьшение значения второго коэффициента многочлена составляло 20,55 % и 70,79 % по сравнению с образцами, выращенных в контрольных условиях. Среди сравниваемых образцов наибольшая скорость роста была у образца Арм 3 (Одзун) на 14,8 %, а наименьшая у образца Арм 1 (Шнох) – 33,44 % по сравнению с контрольным образцом В73.

В случае анализа влияния умеренного стресса-засухи выявлено, что наибольшее увеличение скорости роста у образца Арм 4 (Ушакерт) – около 10 %, а у образца Арм 1 (Шнох) – опять зафиксировано понижение скорости роста на 41 % по сравнению с контрольным образцом В73. При сильном стрессе-засухи сохраняется общая тенденция изменения СУЛ. Так, медленнее всего в условиях снижения почвенной влаги растет образец Арм 1 (Шнох) – на 66 %, а образец Арм 3 (Одзун), наоборот, обладает большим значением СУЛ, на 41 % больше по сравнению с контрольным образцом В73.

Очевидно, что рост растений в условиях моделируемой засухи, в основе которой было фиксированно-ограниченное поступление воды в почву, в определенной степени вызывает торможение роста, что подчиняется экологическому закону Либиха. Данный факт выражается в количественных изменениях значений коэффициентов многочлена, описывающее кинетику роста.

Немаловажным фактором при адаптации растений к стрессу-засухи является толерантность растений в этих условиях. Реакция растений зависит от продолжительности и тяжести периода засухи, а также от генетического фона и стадии развития растения [5]. Транскриптомные исследования, проведенное на китайской капусте (*Brassica rapa* L.) показали, что некоторые гены его клеточной стенки обеспечивают термотолерантность растения. Именно термотолерантность отвечает за акклиматизацию растений при температурных изменениях, обеспечивая выживаемость растений при летально высокой температуре [8].

В дальнейших исследованиях при использовании кукурузы из отличных друга от друга географических регионов, необходимо было выявить их контрастирующую чувствительностью к различным уровням засухи. В этом контексте информативными являются результаты по определению «финальной» длины произрастания пятого листа, когда наступает статистически достоверное снижение его роста в условиях моделируемой засухи (таблица 3).

Таблица 4

Изменение патенциометрических параметров пятого листа кукурузы при моделируемой засухе

Образец кукурузы	Водный потенциал, МПа	Осмотическое давление, МПа
Контроль		
Арм 1– Шнох	-0,312	-0,175
Арм 2 – Техут	-0,245	-0,393
Арм 3 – Одзун	-0,22	-0,443
Арм 4 – Ушакерт	-0,204	-0,127
В 73	-0,09	-0,273
Умеренный стресс		
Арм 1– Шнох	-0,313	-0,169
Арм 2 – Техут	-0,256	-0,45
Арм 3 – Одзун	-0,151	-0,4
Арм 4 – Ушакерт	-0,213	-0,198
В 73	-2,51	-3,01
Жесткий стресс		
Арм 1– Шнох	-0,09	-0,161
Арм 2 – Техут	-0,112	-0,229
Арм 3 – Одзун	-0,082	-0,223
Арм 4 – Ушакерт	-0,03	-0,35
В 73	-2,27	-2,39

Исходя из того, что тепловой стресс вызывает изменения в обмене веществ клеточной стенки, тем самым являясь важным физиологическим механизмом толерантности растений, в дальнейших экспериментах были исследованы изменения водного потенциала и осмотического давления у трехдневных побегов пятого листа кукурузы при моделируемой засухе.

Полученные результаты представлены в таблице 4, согласно которым сильный стресс засухи способствует повышению значения водного потенциала растительной клетки на 79 %, что может быть связано с клеточным расширением, обеспечивающим адаптацию растения при засухе [15].

Можно констатировать, что реакция растений в ответ на стресс-засуху определяется функциональными возможностями его клеточной стенки. В течение периода повышенной температуры в клеточной стенке растений создается вторичное осаждение, прекращающее удлинение клеток. После воздействия высокой температуры белки обеспечивают укрепление клеточной стенки, помогая растению адаптироваться к высокой температуре. Поэтому клеточные стенки с повышенным уровнем расширения ослаблены и становятся более эластичными, с целью сохранения клеточных

функций во время теплового стресса, а засуха может стать посредником при метаболических изменениях клеточной стенки, изменяя синтез лигнина [6, 15].

Определение значения осмотического давления внесло некоторое пояснение в поведении клеток при стресс-засухе. Величина осмотического давления показывает возможности растительной клетки поглощать воду. Поток воды через клеточную оболочку увеличивает в ней гидростатическое давление, которое и растягивает саму оболочку, тем самым обеспечивая необходимый водный запас клетки. Но при растягивании сама клеточная оболочка оказывает противодействие (водный потенциал), регулирующее поступления необходимого количества воды в клетку [6].

Очевидно, что в зависимости от содержания влаги в почве именно количество поступившей воды в клетку будет отражаться на физиологическом уровне, регулируя рост и развитие растения при стресс-засухе. Расширение клеточной оболочки в этом случае будет контролироваться разницей между водным потенциалом и осмотическим давлением, вызывая упругие деформации растительной клетки для обеспечения адаптации при стресс-засухе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Влияние абиотического стресса на рост растений / А. Р. Сукиасян [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 7. – С. 168-172.
2. Киракосян А. А. Использование языка MATLAB в качестве экспресс-метода оценки экспериментальных результатов / А. А. Киракосян, А. Р. Сукиасян // Информационные технологии : Международная молодежная конференция, 23-25 июня 2005 г. – Ереван, 2005. – С. 34-37.
3. Boyer J. S. Plant productivity and environment / J. S. Boyer. // Science. – 1982. – Vol. 218. – P. 443-448.
4. Genetic Properties of the Maize Nested Association Mapping Population / Michael D. McMullen [et al.] // Science. – 2009. – Vol. 325, № 737. – P. 737-740.
5. Cruz de Carvalho M. H. Drought stress and reactive oxygen species. Production, scavenging and signaling / Cruz de Carvalho M. H. // Plant Signal Behav. – 2008. – Vol. 3, № 3. – P. 156-165.
6. Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of coffee leaves (*Coffea arabica* L.) / R. B. Lima [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2013. – Vol. 93. – P. 135-143.
7. Hyacinthe Le Gall Cell Wall Metabolism in Response to Abiotic Stress / Hyacinthe Le Gall [et al.] // Plants. – 2015. – Vol. 4. – P. 112-166.
8. Identification of cell wall genes modified by a permissive high temperature in Chinese cabbage / K. A. Yang [et al.] // Plant Sci. – 2006. – Vol. 171. – P. 175-182.
9. IPCC, 2014 : Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. R. K. Pachauri, L. A. Meyer. – Geneva, Switzerland, 2014. – 151 p.
10. Lobell D. B. Climate trends and global crop production since 1980 / D. B. Lobell, W. Schlenker, J. Costa-Roberts // Science. – 2011. – Vol. 333, № 6042. – P. 616-620.
11. Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040 / A. Maddocks [et al.]. – 2015. – August 26. – URL: <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world%E2%80%99s-most-water-stressed-countries-2040>.
12. Responses to abiotic stresses / Bray E. A. [et al.] // W. Gruissem Biochemistry and Molecular Biology of Plants / W. Gruissem, B. Buchanan, R. Jones; American Society of Plant Physiologists. – Rockville, MD, 2000. – P. 1158-1249.
13. Temperature responses of roots: impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping / K. A. Nagel [et al.] // Functional Plant Biology. – 2009. – Vol. 36. – P. 947-959.
14. Tollenaar M. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize / M. Tollenaar, E. A. Lee // Field Crops Research. – 2002. – Vol. 75. – P. 161-169.
15. Transgenic Tobacco Plants Overexpressing a Grass PpEXP1 Gene Exhibit Enhanced Tolerance to Heat Stress / Q. Xu [et al.] // PLoS One. – 2014. – Vol. 9. – e100792.

REFERENCES

1. Vliyanie abioticheskogo stressa na rost rastenij / A. R. Sukiasyan [i dr.] // Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya. – 2016. – № 7. – S. 168-172.
2. Kirakosyan A. A. Ispol'zovanie yazyka MATLAB v kachestve ehkspress-metoda otsenki ehksperimental'nykh rezul'tatov / A. A. Kirakosyan, A. R. Sukiasyan // Informatcionnye tekhnologii : Mezhdunarodnaya molodezhnaya konferentsiya, 23-25 iyunya 2005 g. – Erevan, 2005. – S. 34-37.
3. Boyer J. S. Plant productivity and environment / J. S. Boyer. // Science. – 1982. – Vol. 218. – P. 443-448.
4. Genetic Properties of the Maize Nested Association Mapping Population / Michael D. McMullen [et al.] // Science. – 2009. – Vol. 325, № 737. – P. 737-740.
5. Cruz de Carvalho M. H. Drought stress and reactive oxygen species. Production, scavenging and signaling / Cruz de Carvalho M. H. // Plant Signal Behav. – 2008. – Vol. 3, № 3. – P. 156-165.
6. Heat stress causes alterations in the cell-wall polymers and anatomy of coffee leaves (*Coffea arabica* L.) / R. B. Lima [et al.] // Carbohydrate Polymers. – 2013. – Vol. 93. – P. 135-143.
7. Hyacinthe Le Gall Cell Wall Metabolism in Response to Abiotic Stress / Hyacinthe Le Gall [et al.] // Plants. – 2015. – Vol. 4. – P. 112-166.
8. Identification of cell wall genes modified by a permissive high temperature in Chinese cabbage / K. A. Yang [et al.] // Plant Sci. – 2006. – Vol. 171. – P. 175-182.
9. IPCC, 2014 : Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / ed. R. K. Pachauri, L. A. Meyer. – Geneva, Switzerland, 2014. – 151 p.
10. Lobell D. B. Climate trends and global crop production since 1980 / D. B. Lobell, W. Schlenker, J. Costa-Roberts // Science. – 2011. – Vol. 333, № 6042. – P. 616-620.
11. Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040 / A. Maddocks [et al.]. – 2015. – August 26. – URL: <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world%E2%80%99s-most-water-stressed-countries-2040>.
12. Responses to abiotic stresses / Bray E. A. [et al.] // W. Gruissem Biochemistry and Molecular Biology of Plants / W. Gruissem, B. Buchanan, R. Jones; American Society of Plant Physiologists. – Rockville, MD, 2000. – P. 1158-1249.
13. Temperature responses of roots: impact on growth, root system architecture and implications for phenotyping / K. A. Nagel [et al.] // Functional Plant Biology. – 2009. – Vol. 36. – P. 947-959.
14. Tollenaar M. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize / M. Tollenaar, E. A. Lee // Field Crops Research. – 2002. – Vol. 75. – P. 161-169.
15. Transgenic Tobacco Plants Overexpressing a Grass PpEXP1 Gene Exhibit Enhanced Tolerance to Heat Stress / Q. Xu [et al.] // PLoS One. – 2014. – Vol. 9. – e100792.

Сукиасян Астгик Рафиковна

кандидат биологических наук, доцент кафедры природоохранной инженерии и биотехнологии Национального политехнического университета Армении, г. Ереван, т. +374-94568740, E-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Тадевосян Арташес Ваганович

кандидат технических наук, профессор кафедры природоохранной инженерии и биотехнологии Национального политехнического университета Армении, г. Ереван, т. +374-93818718, E-mail: artashestad@rambler.ru

Пирумян Геворг Петросович

доктор технических наук, профессор центра экологической безопасности Ереванского государственного университета, г. Ереван, т. +374-91486592, E-mail: gevorg_pirumyan@mail.ru

Sukiasyan Astghik Rafikovna

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Environmental Engineering and Biotechnology, National Polytechnic University of Armenia, Erevan, tel. +374-94568740, E-mail: sukiasyan.astghik@gmail.com

Tadevosyan Artashes Vaganovich

Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Environmental Engineering and Biotechnology, National Polytechnic University of Armenia, Erevan, tel. +374-93818718, E-mail: artashestad@rambler.ru

Pirumyan Gevorg Petrosovich

Doctor of Technical Sciences, Professor of the Centre for Ecological Safety, Erevan State University, Erevan, tel. +374-91486592, E-mail: gevorg_pirumyan@mail.ru