

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РТУТНОГО ПОЛЛЮТАНТА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В АРИДНОЙ ЗОНЕ

*Андреанов Владимир Александрович*, доктор географических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: andrianov\_v.a@mail.ru

*Булаткина Екатерина Геннадьевна*, инженер II кат., ООО «Газпром добыча Астрахань», 414056, Российская Федерация, Астрахань, ул. Савушкина, 61а, e-mail: Bu-latkinaKatva@mail.ru

*Локтионова Елена Геннадьевна*, кандидат химических наук, доцент кафедры, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: eleloktionova@yandex.ru

*Яковлева Людмила Вячеславовна*, доктор биологических наук, профессор, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: yakovleva\_ludmi@mail.ru

Выявлена закономерность поступления ртутного поллютанта в системе почва-древесные растения. Токсичность элемента и его состав в значительной степени зависят от его бионакопления, то есть, механизма проникновения элемента через мембраны ячейки растения. Отбор почвенных проб и образцов растений охватывал районы техногенной зоны Астраханского газоконденсатного комплекса (АГК) и урбанизированных территорий: г. Астрахань (максимально подверженная негативному влиянию многочисленных промпредприятий и транспорта); и г. Нариманов – небольшой городок, но испытывает негативное влияние не только от собственных источников загрязнения, но и со стороны областного центра и АГК; Камызяк, который, согласно розе ветров, менее всего подвергается воздействию со стороны перечисленных основных источников возможного загрязнения. Содержание ртути определяли на ртутном анализаторе РА-915. Многолетние мониторинговые наблюдения за состоянием природных объектов не оценивали степень ртутного загрязнения отдельных элементов древесных растений (корневая система, кора и листовая крона) чёрного тополя (*Populus nigra* L.) и вяза приземистого (*Ulmus pumila* L.), которые активно произрастают во всех районах исследования. С этой целью были проведены натурные обследования названных древесных растений. Определён коэффициент накопления ртути. Построенные картосхемы позволяют визуально рассмотреть характер распределения токсичного поллютанта на территории исследуемого региона в основных органах тополя и вяза.

**Ключевые слова:** ртуть, тополь чёрный, вяз приземистый, листовое покрытие, корневая система, почва, картосхема, коэффициент накопления, поллютант, антропогенная нагрузка, мониторинг

## DISTRIBUTION OF MERCURY POLLUTION IN SOIL-WOODY PLANTS SYSTEM IN ARID ZONE

*Andrianov Vladimir A.*, D.Sc. in Geography, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: andrianov\_v.a@mail.ru

*Bulatkina Yekaterina G.*, Engineer of the 2nd category, Ltd. “Gazprom dobycha Astrakhan”, 61a Savushkin st., Astrakhan, 414056, Russian Federation, e-mail: Bu-latkinaKatva@mail.ru

*Loktionova Yelena G.*, C.Sc. in Chemistry, Associate Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: eleloktionova@yandex.ru

*Yakovleva Lyudmila V.*, D.Sc. in Biology, Professor, Astrakhan State University, 1 Shaumyan sq., Astrakhan, 414000, Russian Federation, e-mail: yakovleva\_ludmi@mail.ru

The regularity of the mercury pollutant incoming to the soil-woody plants system is discovered. The toxicity of the element and its composition depend to a large extent on its bioaccumulation, that is, the mechanism of penetration of the element through the membranes of the plant cell. Selection of soil and plants samples covered the areas of the man-made zone of the Astrakhan gas condensate complex (AGC) and urbanized territories: Astrakhan (the most susceptible to the negative impact of numerous industrial enterprises and transport); and the town Narimanov. Despite it is a small town, it is adversely affected not only by its own sources of pollution, but also by the regional center and the AGC; Kamyzyak, which, according to the wind rose, is least affected by the main sources of possible pollution listed below. The mercury content was determined on a mercury analyzer RA-915. The long-term monitoring of the state of natural objects did not assess the degree of mercury contamination of individual elements of woody plants (root system, bark and leaf crown) of black poplar (*Populus nigra* L.) and elm (*Ulmus pumila* L), which actively grow in all areas of the study. To this end, a thorough examination of these woody plants was carried out. The mercury accumulation coefficient was determined. The built-in maps allow to visually examine the distribution of toxic pollutant in the territory of the investigated region in the main organs of poplar and elm.

**Keywords:** mercury, poplar black, elm squat, sheet covering, root system, soil, map scheme, accumulation coefficient, pollutant, anthropogenic load, monitoring

Химическая ртуть найдена в окружающей среде в нескольких физических и химических формах: например, элементная ртуть, неорганическая ( $Hg^{2+}$ ), которая может быть включена в трофические цепи, главным образом в водной среде. Органический ртутный катион является ядовитым агентом, ответственным за повреждения, вызванные в ячейках живых организмов. Ртуть может быть изменена в метилртуть, которая способна истощить нервную систему, печень, и, в конечном счете, вызывать отмирание органа [8, 12, 14, 18].

На начальной стадии промышленного развития человечества ртуть использовалась в составе электрического оборудования, батарей и взрывчатых веществ. Она также использовалась в медицине, косметике и в сельскохозяйственных целях, производстве краски. Наибольшие потребители ртути: медеплавильное производство, предприятия по извлечению драгоценных металлов (например, золота и серебра), производства, использующие горение ископаемого топлива [11, 16, 17].

Ртуть – металл с различными и исключительными свойствами, значительно отличающимися от свойств других металлов. Так, ртуть единственный элемент, который, даже в условиях комнатной температуры, существует в жидкой форме [1, 14].

В процессах окисления ртуть легко изменяется и распространяется во многие экосистемы. Её модификации могут быть проявлены в двух главных циклах: один – в глобальной степени, которая вовлекает обращение ртути как микроэлемента в атмосфере, другой цикл, с ещё более низким диапазоном её содержания, зависит от вмешательства микроорганизмов, которые могут метилировать неорганическую ртуть в органические составы. Такие соединения являются самыми ядовитыми для живых организмов [13–14].

Высокая растворимость в воде и легкость, с которой ртуть переходит в газообразную фазу, являются двумя важными свойствами этого тяжёлого металла, которые объясняют способность и эффективность ртути в перемещении из одной экосистемы в другую. Она может оставаться в атмосфере в течение долгих периодов времени, позже депонируя в почву или водную среду. Ртуть может создавать соли с кислородом, серой, хлором и сплавами многих металлов, кроме железа и платины. Неорганические формы ртути могут находиться в форме пара, в жидкой форме и меркурированной. Жидкая форма изменчива и постоянно испускает однородный атомарный газ, обычно называемый парами ртути [13–15].

Ртуть может также понизить процесс фотосинтеза, норму испарения и синтез хлорофилла. Органическая и неорганическая ртуть вызывает потерю калия, магния и марганца, приостанавливает процесс накопления железа [13]. Эти изменения ухудшают проходимость мембраны ячейки, ставя под угрозу ее целостность.  $Hg^{2+}$  – одна из форм, которая может разрушить плазматическую мембрану.

Необходимым условием рассеивания ртути в нижних слоях атмосферы определяющим особенностями её распределения на подстилающей поверхности, в том числе лиственной кроны древесных растений, являются метеорологические условия [6]. Конфигурация почвенных и растительных многолетних аномалий ртути атмосферного генезиса формируются в зависимости от среднегодовой розы ветров [10]. Техногенная составляющая аномалий накопления ртути, по отношению к естественной, распределена на локальных территориях, но она более концентрирована.

Отбор почвенных проб и образцов растений охватывал районы техногенной зоны Астраханского газоконденсатного комплекса (АГК) и урбанизированных территорий: г. Астрахань (максимально подверженная негативному влиянию многочисленных промпредприятий и транспорта); и г. Нариманов – небольшой городок, но испытывает негативное влияние не только от собственных источников загрязнения, но и со стороны областного центра и АГК; Камызяк, который, согласно розе ветров, менее всего подвергается воздействию со стороны перечисленных основных источников возможного загрязнения. Он подходит на роль фонового населённого пункта всего региона по исследуемому токсичному элементу [2, 4-5, 7]. Почвы техногенной зоны АГК представлены пойменными аллювиальными луговыми почвами [9].

Весенний отбор проведён 21÷24 мая 2015 г. при благоприятных метеорологических условиях – сухая солнечная погода, температура воздуха от 20 до 24°C, скорость ветра (2 – 4 м/с). Осенний – 19÷21 октября при теплой сухой погоде 12 ÷ 14°C и скорости ветра 7 - 10 м/с. За весь период наблюдений (с мая по октябрь) не было дождей.

Образцы листьев отбирали в нижней части кроны на высоте вытянутой руки с ориентацией на север (направление на АГК), кору тоже с такой ориентацией, по стволу дерева, но несколько ниже. Образец корневой системы – с шурфа на глубине 15 – 20 см., пробы почв брали с пяти прикопок вокруг растения на глубине 5 – 10 см (горизонт наиболее подверженный загрязнению данным тяжелым металлом). Все образцы после сушки при комнатной температуре измельчались и перетирались в фарфоровой ступке до однородного состава.

Содержание ртути определяли на ртутном анализаторе РА-915<sup>+</sup> с приставкой РП-91С, по методике М 03-05-99 ООО НПФ «Люмэкс», которая основана на атомизации содержащейся в пробе общей ртути в двухсекционном

пиролизаторе и с последующим ее определением атомно-абсорбционной спектроскопией [1, 3]. Диапазон измерений массовой доли общей ртути составляет от 0,005 до 10,0 мг/кг. Доля ртути в пробе определяется по величине интегрального аналитического сигнала с предварительно установленного градуировочного коэффициента с использованием государственных стандартных образцов ртути твёрдой фазы (ГСОРТ).

Многолетние мониторинговые наблюдения за состоянием природных объектов не оценивали степень ртутного загрязнения отдельных элементов древесных растений (корневая система, кора и листовая крона) чёрного тополя (*Populus nigra L.*) и вяза приземистого (*Ulmus pumila L.*), которые активно произрастают во всех районах исследования. С этой целью были проведены натурные обследования названных древесных растений. Виды древесных растений, отобранных в регионе проведения экспедиционных работ, представлены в таблице 1.

Таблица 1

**Виды древесных растений, отобранных в полевых условиях  
(весна – осень 2015 г.)**

№ точ.	1	2	3	4	5, 6, 7, 8	9	10, 11, 12	13, 14, 15, 16, 17	18, 19
Вид	<b>В</b>	<b>Т</b>	<b>В</b>	<b>Т</b>	<b>В</b>	<b>Т</b>	<b>В</b>	<b>Т</b>	<b>В</b>
Итого	Т = 8 шт.; (42,1 %); В = 11 шт. (57,9 %)								
Примечания.	1 Т – тополь чёрный ( <i>Populus nigra L.</i> ); 2 В - вяз приземистый ( <i>Ulmus pumila L.</i> )								

Встречаемость вяза на исследуемой территории составила 57,9 %, тополя 42,1 %.

Основные органы растений играют важнейшую роль в обеспечении питательной средой, её транспортированием и доставкой к каждой клетке живого организма.

Ассимиляционные органы – листья древесных растений являются важным звеном в функционировании всего организма, обладают высокой чувствительностью и стабильностью ответной реакции на влияние внешних факторов окружающей среды. Известно, что растения избирательно поглощают элементы питания, к которым относятся и микроэлементы. При этом они сортируют их на трёх фильтрах: корневом, ксилемном и репродуктивном. Физиологические барьеры с большой гарантией отсеивают токсичные элементы (тяжёлые металлы) [6]. В таблице 2 приведены результаты анализа общей ртути основных органов двух видов древесных растений и почв, окаймляющих корневую систему.

**Вяз приземистый (*Ulmus pumila L.*).** Минимальный уровень содержания ртути в почвах, окружающих вяз, зафиксирован весной – 9,4 и осенью – 6,5 мкг/кг суховоздушного вещества (далее по тексту мкг/кг суховоздушного вещества), а максимальный – весной 241,0 и осенью 49,8 мкг/кг. По средней величине концентрации ртути за рассматриваемый период времени произошло снижение концентрации с 74,4 до 28,4 мкг/кг, то есть на 46,0 мкг/кг.

Уровень содержания общей ртути в корневой системе вяза и коре был стабилен 27,1 весной и 23,3 мкг/кг осенью; 23,2 и 20,0 мкг/кг соответственно в коре.

В листьях вяза за рассматриваемый период времени произошло увеличение концентрации ртути с 5,8 весной до 35,1 мкг/кг осенью, то есть на 30,1 мкг/кг.

Таблица 2

**Содержание общей ртути в почвах и основных органах древесных растений,  
весна – осень 2015 г.**

Вид образца	Почва	Корень	Кора	Лист	
Концентрация мкг/кг суховоздушного вещества					
<b>Вяз приземистый (<i>Ulmus pumila</i> L.) ;</b>					
<b>Весна</b>	$\Sigma$	818,6	298,4	255	63,8
	Cmin	9,4	7,0	6,0	2,7
	Cmax	241,0	45,5	60,0	14,5
	<b>Ccp</b>	<b>74,4</b>	<b>27,1</b>	<b>23,2</b>	<b>5,8</b>
<b>Осень</b>	$\Sigma$	311,9	255,9	220,4	395,2
	Cmin	6,5	14,5	12,0	2,9
	Cmax	49,8	39,5	33,0	73,0
	<b>Ccp</b>	<b>28,4</b>	<b>23,3</b>	<b>20,0</b>	<b>35,9</b>
$\Delta^* = C_v - C_o$ , мг/кг	- 46,0	- 3,8	- 3,2	+ 30,1	
<b>Тополь чёрный (<i>Populus nigra</i> L.)</b>					
<b>Весна</b>	$\Sigma$	596	152,7	220,0	173,7
	Cmin	11,0	4,7	13,5	5,3
	Cmax	358,0	72,5	45,0	82,8
	<b>Ccp</b>	<b>74,5</b>	<b>19,1</b>	<b>27,5</b>	<b>21,7</b>
<b>Осень</b>	$\Sigma$	391,3	153,5	139,7	519,5
	Cmin	11,5	10,5	10,7	32,0
	Cmax	211,0	241,0	42,5	112,0
	<b>Ccp</b>	<b>55,9</b>	<b>21,9</b>	<b>17,5</b>	<b>64,9</b>
$\Delta^* = C_v - C_o$ , мг/кг	- 18,6	+ 2,8	- 10,0	+ 43,2	
<i>Примечание:</i> * Расчёт накопления ртути ( $\Delta$ ) определён по средним значениям концентраций в древесных растениях					

**Тополь чёрный (*Populus nigra* L.).** Зафиксирован минимальный уровень содержания ртути в почвах, окружающих тополь, весной 11,0 и осенью 11,5 мкг/кг, максимальный – весной 358,0 и осенью 211,0 мкг/кг. За рассматриваемый период времени произошло снижение средних концентраций ртути с 74,5 до 55,9 мкг/кг, то есть на 18,6 мкг/кг.

Среднее содержание общей ртути в корневой системе тополя и коре был менее стабилен, чем у вяза. Так весной 19,1 и осенью 21,9 мкг/кг; 27,5 и 17,5 мкг/кг соответственно в коре.

В листьях тополя за рассматриваемый период времени произошло увеличение средних концентраций ртути с 21,7 весной до 64,9 мкг/кг осенью, то есть на 43,2 мкг/кг.

Ниже приведены ряды по убыванию концентраций общей ртути в почвах и основных органах древесных растений, зафиксированных весной и осенью 2015 г.

Ряды по убыванию величин содержания ртути в органах вяза и тополя, почве в весенний и осенние сезоны выглядят, таким образом, мкг/кг:

<b>Вяз</b>	<b>весна</b>	<b>П 74,4 &gt; Кн 27,3 &gt; К 23,2 &gt; Л 5,8</b>
<b>Тополь</b>		<b>П 74,5 &gt; К 27,1 &gt; Л 21,7 &gt; Кн 19,1</b>
<b>Вяз</b>	<b>осень</b>	<b>П 28,4 &gt; Кн 23,3 &gt; К 20,0 &gt; Л 5,8</b>
<b>Тополь</b>		<b>Л 64,9 &gt; П 55,9 &gt; Кн 21,9 &gt; К 7,5</b>

*Примечания:* 1 П – почва; 2 Кн – корень; 3 К – кора; 4 – лист; 5 – Использованы данные по средне сезонным концентрациям.

Так, весной содержание ртути в почвах, органах вяза и тополя практически было на одном уровне, но распределилось в ряду не однозначно. Осенью концентрации элемента в почве понизились, а в листьях повысились. Распределение в ряду у вяза осталось прежним, а у тополя приоритет концентраций ртути зафиксирован в листьях 64,9 мкг/кг, далее в почвах 55,9, в корне 21,9 и коре 7,5 мкг/кг.

На картосхемах (рис. 1) распределения ртути на исследуемой территории, представленных на рисунке 1А (весна) и 1В (осень) видно, что аномальные концентрации наблюдались весной (выше 330 мкг/кг) и осенью (выше 280 мкг/кг) в почвах района правобережной части реки Волга г. Астрахани и г. Нариманов.

Такой же характер распределения ртути наблюдался и по основным органам древесных растений, но на уровнях гораздо ниже почвенного. Сезонное накопление ртути зафиксировано только в корневой системе тополя, а в листьях и у вяза, и у тополя.

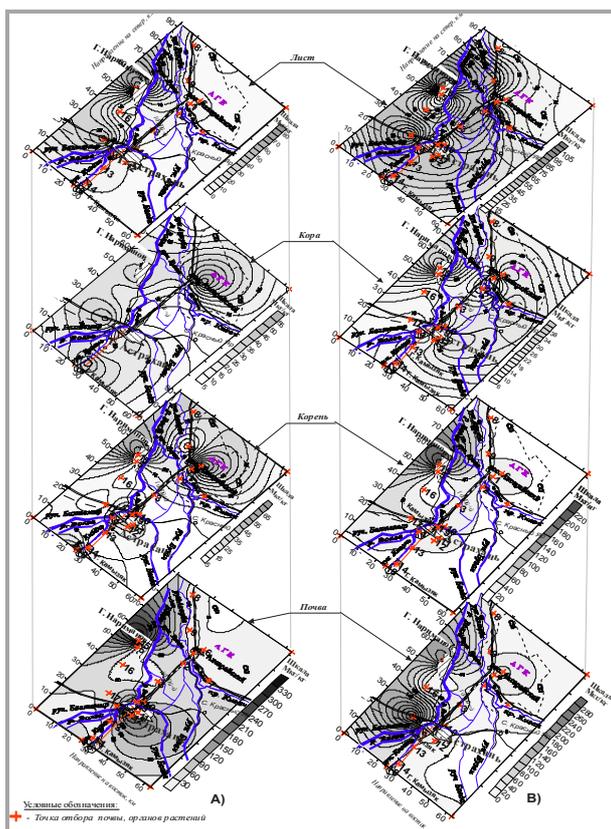


Рис. 1. Картосхемы распределения общей ртути в почвенном покрове и в основных органах древесных растений: корнях, коре и листьях кроны, сезоны: А) весна; Б) осень

Таким образом в представленной работе зафиксирован довольно стабильный уровень ртутного загрязнения почвенного покрова и основных органов древесных растений чёрного тополя (*Populus nigra L.*) и вяза приземистого (*Ulmus pumila L.*). Превышений допустимых концентраций ртути в почвах и в органах древесных растений не отмечалось.

Сезонная динамика накопления этого токсичного загрязнителя зависела в основном от метеоусловий. Так в почвах произошло снижение концентраций ртути за жаркий летний период. В листьях зафиксировано незначительное накопление общей ртути как у вяза, так и тополя. Так же наблюдалось незначительное повышение концентраций в корневой системе, но только у тополя. В

коре ствола произошло незначительное снижение содержания этого поллютанта за период наблюдений в двух сравниваемых видах древесных растений.

Выявлен основной принцип поступления данного металла в корневую систему, в основном за счёт подпитки грунтовыми водами, а в листьях, за счёт привноса элемента нижними слоями атмосферного воздуха. Подтверждается научная закономерность в том, что растения избирательно поглощают элементы питания, к которым относятся и микроэлементы. Так, в процессе создания питательной среды фильтры (корневой, ксилемный и репродуктивный) сортируют тяжелые металлы, оставляют необходимые растению, а за счёт физиологических барьеров, отсеивают токсичные элементы (в том числе и ртуть).

#### Список литературы

1. Андрианов, В. А. Оценка качественного состояния ландшафтов Северного Прикаспия с использованием спектральных методов анализа [Текст] / В. А. Андрианов, Е. Г. Булаткина, Г. И. Сокирко, В. А. Плакитин: Монография. Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2012. – 240 с.
2. Андрианов, В. А. Снежный покров как индикатор загрязнения ландшафтов Северного Прикаспия / В. А. Андрианов, Е. Г. Булаткина, Г. И. Сокирко [Текст] // Геология, география и глобальная энергия, 2012. - № 1 (44) – С. 114 – 123.
3. Андрианов, В. А. Металлы в объектах окружающей среды и методы их обнаружения [Текст] / В. А. Андрианов, Е. Г. Булаткина, Л. А. Морозова: Учебное пособие. Астрахань: Издатель: Сорокин Роман Васильевич, 2017. – 104 с.
4. Булаткина, Е. Г. Микроэлементы в почвенно-растительном покрове Астраханского и Алексеевского газоконденсатных месторождений [Текст] / Е. Г. Булаткина, И. В. Лапаева, В. А. Андрианов // Естественные науки, 2013 - № 1. (42) С 14 – 18.
5. Булаткина, Е. Г. Листовая диагностика процессов загрязнения общей ртутью и оценка ее сезонного накопления на техногенной и урбанизированной территориях [Текст] / Е. Г. Булаткина, В. А. Андрианов, А. Н. Бармин, Е. Г. Локтионова // Естественные науки 2015 - № 2. (51) С 15 – 20.
6. Зволинский, В. П. Процесс загрязнения общей ртутью кроны деревьев и оценка её сезонного накопления на условно-чистой и урбанизированной территориях [Текст] / В. П. Зволинский., В. А. Андрианов, Л. И. Ермакова, Е. Г. Булаткина // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса, № 3 (39), 2015. С. 26 - 29.
7. Плакитин, В. А. Содержание кадмия, цинка, меди, свинца, ртути в почве и листьях полыни земледельческих полей орошения Астраханского газового комплекса [Текст] / В. А. Плакитин, Е. Г. Булаткина., В. А. Андрианов // Естественные науки 2014 - № 2. (47) С. 14 – 18.
8. Степанова, И. К. Ртуть в биотических компонентах озер Северо-Запада России [Текст] / И. К. Степанова, В. Т. Комов // Экология, 1996, № 3. – С. 198 - 203.
9. Andrianov, Vladimir A. Heavy Metal Compounds in the Soils of Anthropogenic Landscape of Volga-Akhtubinsk Floodplain [Text] / Vladimir A. Andrianov, Lyudmila V. Yakovleva, Elena G. Loktionova, Michael U. Puchkov // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). Volume 10, Number 21, pp 42758-42760, 2015.
10. Cobata-Pendias A. Mikroelementy in soil and plants [Text] / A. Cobata-Pendias, K.H. Pendias. - M.: Mir, 1988. - 440 page.
11. Cavallini, L. Mercury uptake, distribution and DNA affinity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) plants [Text] / Cavallini, L. Natali, M. Durante, и В. Maserti // Science of the Total Environment, vol. 243-244, pp. 119 - 127, 1999.
12. Cargnelutti, D. Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings [Text] / D. Cargnelutti, L. A. Tabaldi, R. M. Spanevello et al. // Chemosphere, vol. 65, no. 6, pp. 999 - 1006, 2006.
13. Clarkson, T. W. The toxicology of mercury and its chemical compounds [Text] / T. W. Clarkson и L. Magos // Critical Reviews in Toxicology, vol. 36, no. 8, pp. 609 - 662, 2006.
14. Clarkson, T. W. Mechanisms of mercury disposition in the body [Text] / T. W. Clarkson, J. B. Vyas and N. Ballatori // American Journal of Industrial Medicine, vol. 50, no. 10, pp. 757 - 764, 2007.
15. Pheng, S. R. Sensitivity to methylmercury-induced autoimmune disease in mice correlates with resistance to apoptosis of activated CD4+ lymphocytes [Text] / S. R. Pheng, C. Auger, S.

Chakrabarti, E. Massicotte, and L. Lamontagne // Journal of Autoimmunity, vol. 20, no. 2, pp. 147 - 160, 2003.

16. Patra M. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance [Text] / M. Patra, N. Bhowmik, B. Bandyopadhyay and A. Sharma // Environmental and Experimental Botany, vol. 52, no. 3, pp. 199 - 223, 2004.

17. Rodriguez, E. Chromium (VI) induces toxicity at different photosynthetic levels in pea [Text] / E. Rodriguez, R. Azevedo, P. Fernandes, and C. Santos // Plant Physiology and Biochemistry, vol. 53, pp. 94 - 100, 2012.

18. Yang, D. Y. Selenium and mercury in organisms: interactions and mechanisms [Text] / D. Y. Ян, Y. W. Chen, J. M. Gunn, и N. Belzile // Environmental Reviews, vol. 16, pp. 71 - 92, 2008.

#### References

1. Andrianov V. A., Bulatkina E. G., Sokirko G. I., Plakitin V. A. Ocenka kachestvennogo sostojanija landshaftov Severnogo Prikaspija s ispol'zovaniem spektral'nyh metodov analiza [Assessment of the qualitative state of the Northern Caspian landscapes using spectral methods of analysis]: *Monografija*. Astrahan': Izdatel': Sorokin Roman Vasil'evich, 2012. – 240 p.

2. Andrianov V. A., Bulatkina E. G., Sokirko G. I. Snezhnyj pokrov kak indikator zagriznenija landshaftov Severnogo Prikaspija [Snow cover as an indicator of contamination of the landscapes of the Northern Caspian]. *Geologija, geografija i global'naja jenergija* [Geology, geography and global energy], 2012. –n. 1 (44) – pp. 114 – 123.

3. Andrianov, V. A., Bulatkina E. G., Morozova L. A. Metally v ob'ektah okruzhayushchej sredy i metody ih obnaruzheniya [Metals in the environment and methods for their detection] *Uchebnoe posobie*. Astrahan': Izdatel': Sorokin Roman Vasil'evich, 2017. – 104 p.

4. Bulatkina E. G., Lapaeva I. V., Andrianov V. A. Mikrojelementy v pochvenno-rastitel'nom pokrove Astrahanskogo i Alekseevskogo gazokondensatnyh mestorozhdenij [Microelements in the soil-vegetation cover of the Astrakhan and Alekseevsky gas condensate deposits]. *Estestvennye nauki* [Natural Sciences], 2013 – n. 1. (42) pp. 14 – 18.

5. Bulatkina E. G., Andrianov V. A., Barmin A. N., Loktionova E. G. Listovaja diagnostika processov zagriznenija obshhej rtut'ju i ocenka ee sezonnogo nakoplenija na tehnogennoj i urbanizirovannoj territorijah [Sheet diagnostics of the processes of pollution with common mercury and assessment of its seasonal accumulation in the technogenic and urbanized territories] *Estestvennye nauki* [Natural Sciences]. n, 2015, n. 2. (51) pp. 15 – 20.

6. Zvolinskij V. P., Andrianov B. A., Ermakova L. I., Bulatkina E. G. Process zagriznenija obshhej rtut'ju krony derev'ev i ocenka ejo sezonnogo nakoplenija na uslovno-chistoj i urbanizirovannoj territorijah [Process of pollution by the general mercury of a crone of trees and an estimation of its seasonal accumulation in the is conditional-pure and urbanized territories] // Volgograd. *Izvestija Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa* [News Nignevolskiy complex]. - 2015. P. 43 - 50.

7. Plakitin V. A., Bulatkina E. G., Andrianov V. A. Soderzhanie kadmija, cinka, medi, svinca, rtuti v pochve i list'jah polyni zemledeľcheskih polej oroshenija Astrahanskogo gazovogo kompleksa [The content of cadmium, zinc, copper, lead, mercury in soil and wormwood leaves of agricultural irrigation fields of the Astrakhan gas complex]. *Estestvennye nauki* [Natural Sciences], 2014 - n 2. (47). Pp. 14 – 18.

8. Stepanova I. K., Komov V. T. Rtut' v abioticheskij i bioticheskij komponentah ozer Severo-Zapada Rossii [Mercury in the abiotic and biotic components of the lakes of the North-West of Russia]. *Jekologija* [Ecology], n. 3, 1996. - P. 198-203.

9. Andrianov, Vladimir A. Heavy Metal Compounds in the Soils of Anthropogenic Landscape of Volga-Akhtubinsk Floodplain [Text] / Vladimir A. Andrianov, Lyudmila V. Yakovleva, Elena G. Loktionova, Michael U. Puchkov // International Journal of Applied Engineering Research (IJAER). Volume 10, Number 21, pp 42758-42760, 2015.

10. Cobata-Pendias A., Pendias K. H. Mikrojelementy in soil and plants. -M.: Mir, 1988.- 440 page.

11. Cavallini A., Natali L., Durante M., and Maserti B. Mercury uptake, distribution and DNA affinity in durum wheat (*Triticum durum* Desf.) plants. *Science of the Total Environment*, vol. 243-244, pp. 119-127, 1999.

12. Cargnelutti D., Tabaldi L. A., Spanevello R. M. et al. Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere*, vol. 65, no. 6, pp. 999-1006, 2006.

13. Clarkson T. W. and Magos L. The toxicology of mercury and its chemical compounds. *Critical Reviews in Toxicology*, vol. 36, no. 8, pp. 609-662, 2006.

14. Clarkson T. W., Vyas J. B., and Ballatori N., Mechanisms of mercury disposition in the body, "American Journal of Industrial Medicine, vol. 50, no. 10, pp. 757-764, 2007.

15. Pheng S. R., Auger C., Chakrabarti S., Massicotte E., and Lamontagne L. Sensitivity to methylmercury-induced autoimmune disease in mice correlates with resistance to apoptosis of activated CD4+ lymphocytes. *Journal of Autoimmunity*, vol. 20, no. 2, pp. 147-160, 2003.

16. Patra M., Bhowmik N., Bandopadhyay B. and Sharma A. Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, vol. 52, no. 3, pp. 199-223, 2004.

17. Rodriguez E., Santos C., Azevedo R., Moutinho-Pereira J., Correia C., and Dias M. C. Chromium (VI) induces toxicity at different photosynthetic levels in pea. *Plant Physiology and Biochemistry*, vol. 53, pp. 94-100, 2012.

18. Yang D. Y., Chen Y. W., Gunn J. M., and Belzile N. Selenium and mercury in organisms: interactions and mechanisms. *Environmental Reviews*, vol. 16, pp. 71-92, 2008.