

**О СВЯЗИ СОДЕРЖАНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ  
В СЫРЬЕ С ТЕМПЕРАТУРОЙ ДЕБАЯ**

---

*Хентов В.Я., доктор химических наук, профессор,  
Шачнева Е.Ю., кандидат химических наук,  
Семченко В.В., кандидат химических наук, доцент,  
Южно-Российский государственный политехнический университет*

---

**Аннотация:** рассмотрена связь содержания тяжелых металлов в растительном сырье с таким важным интегральным физическим параметром как температура Дебая металлического элемента. Это находит подтверждение в высоких значениях коэффициента корреляции. Данный параметр рассчитан для ионов кадмия, свинца, меди, марганца, никеля, хрома и цинка.

Приведена графическая зависимость коэффициента накопления  $k$  тяжелых металлов из почвы представлена для дикорастущих травянистых растений Нижнего Дона. Рассмотрена амброзия полыннолистая (*Ambrosia artemisiifolia* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Pall. ex Willd.), пырей ползучий (*Elytrigia repens* (L.)). Пробы были взяты на расстоянии 1 км от Новочеркасской ГРЭС.

Описано значение фактора мобилизации (фактор техногенного обогащения)  $EF$ , как отношения техногенного потока химического элемента к природному, в переносе металлических элементов. Представлены зависимости фактора мобилизации ( $EF$ ) от температуры Дебая металла.

Охарактеризована зависимость содержания тяжелых металлов в системе «почва-растительность-беспозвоночные животные» в степных биогеоценозах от температуры Дебая металла. Это позволит спрогнозировать возможный механизм переноса тяжелых металлов в природе.

**Ключевые слова:** температура Дебая, коэффициент накопления металлов, содержание тяжелых металлов в растениях, фактор накопления  $EF$ , коэффициент корреляции

## ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE CONTENT OF CHEMICAL ELEMENTS IN RAW MATERIALS WITH DEBYE TEMPERATURE

*Khentov V. Ya., Doctor of Chemical Sciences (Advanced Doctor), Professor,  
Shachneva E. Yu., Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.),  
Semchenko V. V., Candidate of Chemical Sciences (Ph.D.), Associate Professor,  
Southern Russian State Polytechnical University*

**Abstract:** *the relationship between the content of heavy metals in plant raw material with such an important integral physical parameter as the Debye temperature of a metallic element is considered. This is confirmed by the high values of the correlation coefficient. This parameter is calculated for cadmium, lead, copper, manganese, nickel, chromium and zinc ions.*

*The graphical dependence of the accumulation coefficient  $k$  of heavy metals from the soil is presented for the wild grassy plants of the Lower Don. Wetweed ambrosia (*Ambrosia artemisiifolia* L.), tansy (*Tanacetum vulgare* L.), Austrian wormwood (*Artemisia austriaca* Pall. ExWilld.), Cedar grass (*Elytrigia repens* (L.)) are considered. Samples were taken at a distance of 1 km from Novocherkasskaya SDPP.*

*The value of the mobilization factor (the factor of technogenic enrichment) of EF is described as the ratio of the technogenic flow of a chemical element to a natural element, in the transfer of metallic elements. Dependences of the mobilization factor (EF) on the Debye temperature of the metal are presented.*

*The dependence of the heavy metals content in the soil-vegetation-invertebrate animals system in steppe biogeocoenoses on the Debye temperature of the metal is characterized. This will allow us to predict the possible mechanism for the transport of heavy metals in nature.*

**Keywords:** *Debye's temperature, coefficient of accumulation of metals, content of heavy metals in plants, EF accumulation factor, correlation coefficient*

### **Введение**

Накопление тяжелых металлов растениями является серьезной проблемой для экологии. Это один из возможных механизмов переноса тяжелых металлов в природе. Накопление элементов растением рассматривается в качестве многофакторного процесса, за это ответственны процессы сорбции стенками клеток. Не маловажную роль играет содержание элементов в почве. Накопление элементов в растениях может происходить из атмосферы через поверхность листьев и из почвы через корневую систему.

Для понимания механизма накопления металлов в растениях важно выделить физический параметр, несущий ответственность за накопление элементов. Таким интегральным параметром может служить температура Дебая металла [1-8].

### **Экспериментальная часть**

#### **Методы исследования**

Образцы растений отбирались вместе с корневой частью, выкапываясь из земли в различных точках мониторинговых площадок (ГОСТ 27262-87). Из растений, принадлежащих к одному виду, формировалась объединенная проба. Объединен-

ная проба растений весом 1,5 кг состояла из 8-10 точечных проб. После отбора растения высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались. Корневая часть перед измельчением предварительно очищалась от частиц почвы, во избежание попадания их в образец [9].

Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления (ГОСТ 26657-85). Для определения тяжелых металлов брался 1 г измельченной воздушно-сухой навески растений, взвешенной на аналитических весах. Навеска предварительно озолялась на электроплитке в течение 10-15 минут вплоть до прекращения выделения дыма. Тигли с навесками накрывались часовым стеклом, чтобы предотвратить горение и сопряженную с ним потерю части соединений, учитываемых при анализе. Затем навески в течение 3 часов озолялись в муфельной печи при температуре 450°C, охлаждались в эксикаторе и взвешивались для определения зольности [10]. Кислотная экстракция тяжелых металлов из золы осуществлялась растворением в 20%-ном растворе соляной

кислоты с последующим определением на атомно-абсорбционном спектрофотометре. Все вышеперечисленные анализы были выполнены на базе лабораторий кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов, лаборатории специальных анализов ФГУ ГЦАС «Ростовский» и ОАО «Южгеология». Экспериментальный материал обработан методом дисперсионного, корреляционного и множественного регрессионного анализа с исключением незначимых членов уравнений регрессии [11]. Достоверность параметров уравнений множественной регрессии проверяли дисперсионным анализом и критерием Стьюдента.

### Обсуждение результатов

В доказательство указанной в заглавии связи приведем зависимость коэффициента накопления  $k$  тяжелых металлов амброзией полыннолистной из почвы [8] в функции температуры Дебая металлов [12] (рис. 1). Как и описывалось ранее, пробы для исследования были взяты на расстоянии 1 км от Новочеркасской ГРЭС [7, 8].

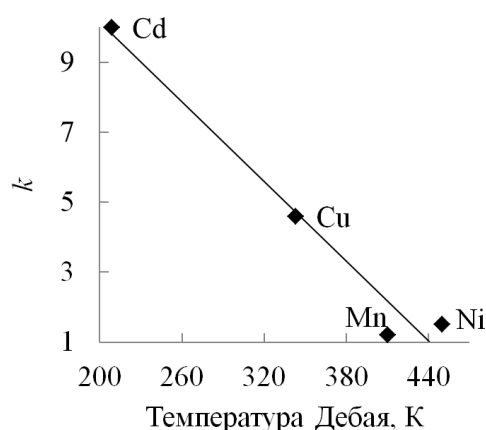


Рис. 1. Зависимость коэффициента накопления  $k$  тяжелых металлов из почвы амброзией полыннолистной в функции температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,983

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента накопления тяжелых металлов  $k$  из почвы растениями пижмы обыкновенной [8] в функции температуры Дебая. Пробы были взяты на расстоянии 1 км от Новочеркасской ГРЭС.

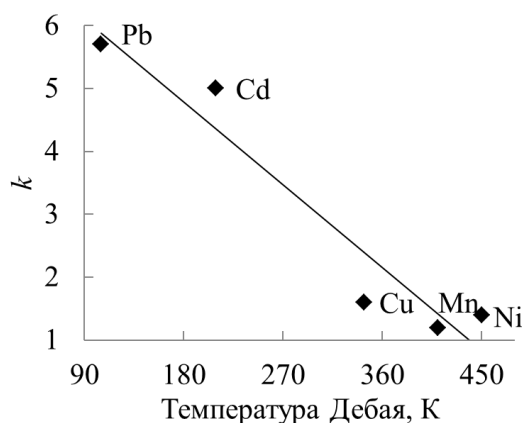


Рис. 2. Зависимость коэффициента накопления тяжелых металлов  $k$  растениями пижмы обыкновенной из почвы в функции температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,961

На рис. 3 приведена зависимость коэффициента накопления  $k$  тяжелых металлов растениями полыни австрийской из почвы [8] от температуры Дебая.

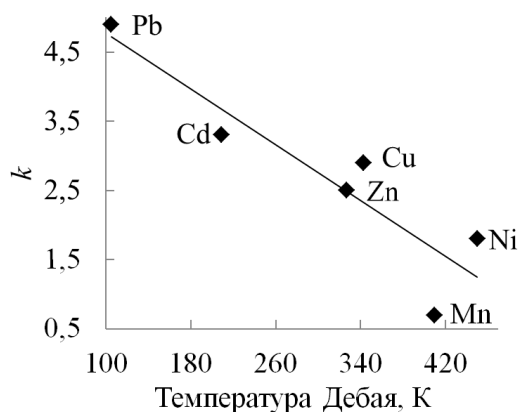


Рис. 3 Зависимость коэффициента накопления тяжелых металлов  $k$  от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,911

Надо отметить, что содержание тяжелых металлов в растениях пырея ползучего  $m$  [8] также связано с температурой Дебая (рис. 4).

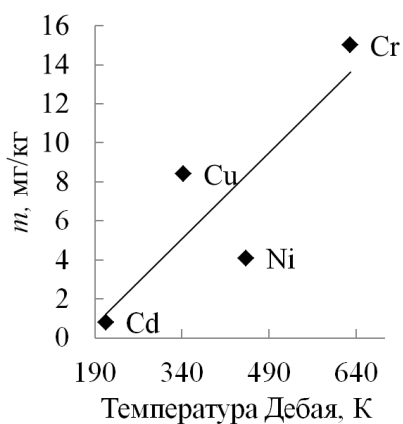


Рис. 4. Зависимость содержания тяжелых металлов в растениях пырея ползучего  $m$  от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,855

Важно отметить высокие значения коэффициентов корреляции, что указывает на надежность установленных зависимостей. Однако в каждом случае имеются металлы, не укладывающиеся на указанных зависимостей. Это может быть связано со специфическими особенностями накопления металлов в растениях и требуют специального рассмотрения.

В переносе металлических элементов важную роль играет фактор мобилизации (фактор техно-

генного обогащения) EF, под которым понимают отношение техногенного потока химического элемента к природному [13]. На рис. 5 и 6 приведены зависимости фактора мобилизации (EF) от температуры Дебая металла. Все приведенные элементы разбиваются на две зависимости. Это может быть связано с размерами частиц, участвующих в процессах переноса вещества. Частицы малых размеров, соизмеримые с размером молекул, могут находиться в растворенном состоянии.

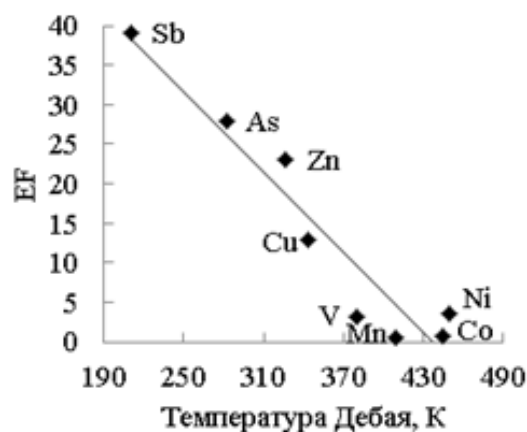


Рис. 5. Зависимость фактора накопления EF от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,957

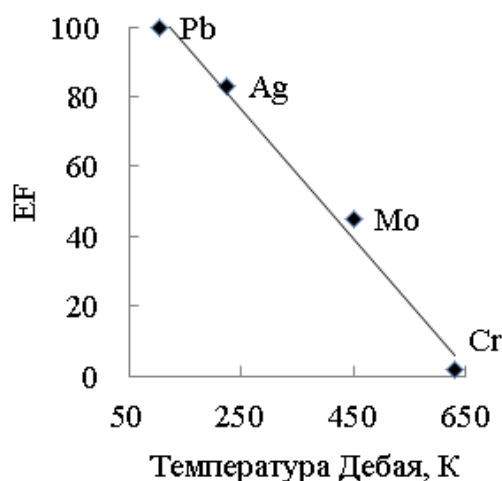


Рис. 6. Зависимость фактора накопления EF от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,994

Определенный интерес в связи с проблемой переноса тяжелых элементов в природе вызывает содержание тяжелых металлов в системе «почва – растительность – беспозвоночные животные» [14].

Рис. 7 демонстрирует зависимость содержания тяжелых металлов в системе «почва – растительность – беспозвоночные животные» в степных биогеоценозах от температуры Дебая металла.

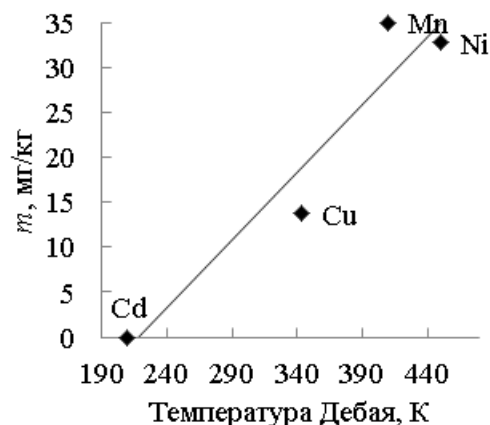


Рис. 7. Зависимость содержания тяжелых металлов  $m$  в системе «почва – растительность – беспозвоночные животные» от температуры Дебая. Коэффициент корреляции 0,956

### Обсуждение результатов

Таким образом, прослеживается связь содержания металлических элементов в растительном сырье с важным физическим параметром твердого тела – температурой Дебая химического элемента. Необходимо отметить, что различные виды дикорастущих травянистых растений различались по накоплению и распределению тяжелых металлов в надземной и корневой частях. Например, величины коэффициента накопления тяжелых металлов в естественной травянистой растительности в зави-

симости от температуры Дебая можно расположить в следующий ряд:  $Cd > Cr > Pb > Zn > Cu > Ni > Mn$ . Растениями, наиболее аккумулирующими в своем составе ионы кадмия и свинца, являются амброзия полыннолистная, полынь австрийская и пижма обыкновенная. Наименьшей величиной коэффициента накопления обладают ионы марганца и цинка. Такая высокая способность к фитомедиации говорит о том, что описываемые растения не требуют ухода, способны приспосабливаться к условиям окружающей среды.

### Литература

1. Шачнева Е.Ю. Воздействие тяжелых токсичных металлов на окружающую среду // «Научный потенциал регионов на службу модернизации»: Межвузовский сборник научных статей. Астрахань. ГАОУ АО ВПО «АИСИ». 2012. №2 (3). С. 127 – 134.
2. Чаплыгин В.А., Бурачевская М.В., Чернигина Н.В., Бауэр Т.В., Минкина Т.М. Накопление меди, свинца и цинка естественной травянистой растительностью в условиях воздушного загрязнения: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». СОЛ «Лиманчик». Ростов-на-Дону, 2010. С. 439 – 441.
3. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Чёрная книга флоры Средней России. Изд-во: ГЕОС, 2010. С. 118 – 126.
4. Лекарственные растения в быту. М.: Россельхозиздат, 1969. 220 с.
5. Атлас лекарственных растений СССР / Под ред. Цицин Н.В. М.: Государственное издательство медицинской литературы, 1962. 709 с.

6. Зозулин Г.М., Федяева В.В. / Ред. и сост. Флора Нижнего Дона. Ростов-на-Дону, 1985. Т. 2. 246 с.
7. Кизильштейн Л.Я., Соборникова И.Т. Влияние промышленного загрязнения на содержание тяжелых металлов в почвах окрестностей г. Новочеркасска. Р.: Изд-во Рост. ун-та, 1990. 11 с.
8. Чаплыгин В.А. Накопление и распределение тяжелых металлов в травянистой растительности техногенных ландшафтов нижнего Дона: дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2014. 193 с.
9. Ильин В.Б., Сысо А.И. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растение / РАН, Сибирское отделение, ин-т. Почвоведение и агрохимии. Н.: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
10. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
11. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. Москва: Изд-во «Агропромиздат», 1985. 350 с.
12. Киттель Ч. Введение в физику твердого тела: пер. с 4-го американ. издания А.А. Гусева, А.В. Пахнева. Под общей ред. А.А. Гусева. М.: Наука, 1978. 791 с.
13. Королёв А.Н., Панин М.С. Формы соединений марганца темно-каштановой почве при моно- и полиэлементном загрязнении тяжелыми металлами. Монография. О.: ОмЭИ, 2010. 192 с.
14. Современные достижения и разработки в области естественных и математических наук // Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. №1. Оренбург, 2016. 27 с.

### References

1. SHachneva E.YU. Vozdejstvie tyazhelyh toksichnyh metallov na okruzhayushchuyu sredu // «Nauchnyj potencial regionov na sluzhbu modernizacii»: Mezhvuzovskij sbornik nauchnyh statej. Astrahan'. GAOU AO VPO «AISI». 2012. №2 (3). S. 127 – 134.
2. SHaplygin V.A., Burachevskaya M.V., SHernigina N.V., Bauehr T.V., Minkina T.M. Nakoplenie medi, svinca i cinka estestvennoj travyanistoj rastitel'nost'yu v usloviyah vozdušnogo zagryazneniya: Sbornik trudov VI Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «EHkologicheskie problemy. Vzgl'yad v budushchee». SOL «Limanchik». Rostov-na-Donu, 2010. S. 439 – 441.
3. Vinogradova YU.K., Majorov S.R., Horun L.V. CHyornaya kniga flory Srednej Rossii. Izd-vo: GEOS, 2010. S. 118 – 126.
4. Lekarstvennyye rasteniya v bytu. M.: Rossel'hozizdat, 1969. 220 s.
5. Atlas lekarstvennyh rastenij SSSR / Pod red. Cicin N.V. M.: Gosudarstvennoe izdatel'stvo medicinskoj literatury, 1962. 709 s.
6. Zozulin G.M., Fedyaeva V.V. / Red. i sost. Flora Nizhnego Dona. Rostov-na-Donu, 1985. Т. 2. 246 с.
7. Kizil'shtejn L.YA., Sobornikova I.T. Vliyanie promyshlennogo zagryazneniya na sodержanie tyazhelyh metallov v pochvah okrestnostej g. Novoчеркасска. R.: Изд-во Рост. un-та, 1990. 11 с.
8. SHaplygin V.A. Nakoplenie i raspredelenie tyazhelyh metallov v travyanistoj rastitel'nosti tekhnogennyh landshaftov nizhnego Dona: дис. ... канд. биол. наук. Rostov-na-Donu, 2014. 193 с.
9. Il'in V.B., Syso A.I. Tyazhelye metally i nemetally v sisteme pochva – rastenie / РАН, Sibirskoe отделение, ин-т. Pochvovedenie i агрохимии. N.: Изд-во SO РАН, 2012. 220 с.

10. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu tyazhelyh metallov v pochvah sel'hozogodij i produkcii rastenievodstva. M.: CINAО, 1992. 61 s.
11. Dospel'kov B.A. Metodika polevogo opyta. Moskva: Izd-vo «Agropromizdat», 1985. 350 s.
12. Kittel' CH. Vvedenie v fiziku tverdogo tela: per. s 4-go amerikan. izdaniya A.A. Guseva, A.V. Pahneva. Pod obshchej red. A.A. Guseva. M.: Nauka, 1978. 791 s.
13. Korolyov A.N., Panin M.S. Formy soedinenij marganca temno-kashtanovoj pochve pri mono- i poliehlementnom zagryaznenii tyazhelymi metallami. Monografiya. O.: OmEHI, 2010. 192 s.
14. Sovremennye dostizheniya i razrabotki v oblasti estestvennyh i matematicheskikh nauk // Sbornik nauchnyh trudov po itogam mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. №1. Orenburg, 2016. 27 s.