

μ va λ parametrlari bo'yicha teskari Fure almashtirishini qo'llab quyidagi natijani olamiz:

$$u(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sqrt{2} \tilde{f}(\lambda, \mu)}{\left(\frac{i a_0 \mu}{\lambda^2 \tau^2 - \mu^2} - a_1 \frac{\mu^2 + \lambda^2 \tau^2}{(\lambda^2 \tau^2 - \mu^2)^2} + a_2 \frac{2i\mu(-\mu^2 - 3\lambda^2 \tau^2)}{(\lambda^2 \tau^2 - \mu^2)^3} \right)} d\mu d\lambda$$

Keltirilgan formulani analitik yo'l bilan hisoblash ancha qiyin jarayon hisoblanadi. Birinchi sabab, $(\lambda^2 \tau^2 - \mu^2)^k$ ifodasi maxsus nuqtalarga ega bo'lib, ular uchinchi tartibgacha polyuslarni vujudga keltiradi. Bu holat integralni hisoblashda maxsus regularizatsiya usullarini joriy etish yoki kontur integrallari yo'lini tanlash zarurligini taqozo etadi.

Ikkinchi sabab, Fure o'zgarishlari yadrolarining ossillyatsiyasi bilan bog'liq. Ushbu tebranish xususiyati tufayli hatto nisbatan sodda $f(x, y)$ uchun ham integrallar yopiq analitik shaklga keltirilmaydi.

Shuning natijasida ratsional yadroli ikki karrali integral amalda analitik tarzda yechilmaydi. Real eksperimental ma'lumotlar uchun esa bunday usulning qo'llanilishi amaliy ahamiyat kasb etmaydi. Bundan tashqari, natijalar maxsus nuqtalar yaqinida integralni qanday talqin qilishga bog'liq bo'lib, ifoda barqarorligini shovqin ta'sirida tahlil qilish rezonans ko'paytirgichlar sabab yanada murakkablashadi. Shu sababli, mazkur formula asosan sonli usullar orqali echiladi va barqaror yechim olish uchun turli xil regularizatsiya yondashuvlari qo'llaniladi.

Adabiyotlar

1. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решение некорректных задач. – Москва: «Наука», 1979.
2. Ralston T.S. et al Inverse scattering for high-resolution interferometric microscopy. // Optics letters . 2006. V. 31, №24.
3. Бегматов А.Х., Очилов З.Х. Задача интегральной геометрии с разрывной весовой функции. // Доклады Академии наук. – Федеральное государственное бюджетное учреждение "Российская академия наук", 2009. Т. 429, №3. – С. 295-297.
4. Ambartsoumian G., Moon S. A series formula for inversion of the V-line Radon transform in a disc. // Computers & Mathematics with Applications. 2013. Т. 66, №9. – P. 1567-1572.
5. Бухгейм А.Л. О некоторых задачах интегральной геометрии. // Сибирский математический журнал. 1972. Т. 13. №1. – С. 34-42.
6. Gouia R. Some problems of integral geometry in advanced imaging. 2011.
7. Ambartsoumian G., Moon S. A series formula for inversion of the V-line Radon transform in a disc. // Computers & Mathematics with Applications. 2013. Т. 66. №. 9. – С. 1567-1572.
8. Florescu L., Markel V. A., Schotland J. C. Inversion formulas for the broken-ray Radon transform. // Inverse Problems. 2011. Т. 27, №2.

REZYUME. Maqolada integral tenglamalar asosida funksiyani tiklash masalasi ko'rib chiqilgan. Masalada berilgan ma'lumotlardan foydalanib, funksiyani qayta tiklash uchun Fur'e o'zgarishlari va ularning teskari ko'rinishlari qo'llaniladi. Olingan yechimning analitik hisoblanishi qiyinligi ta'kidlangan, chunki yadro tarkibidagi polyuslar va ossillyasiyalovchi funksiyalar natijada integralning yopiq ko'rinishda ifodalanishiga to'sqinlik qiladi. Shuningdek ma'lumotlardagi shovqinga sezgirliги masalani faqat sonli usullar yordamida yechish zarurligini ko'rsatadi.

РЕЗЮМЕ. В статье рассматривается задача восстановления функции на основе интегральных уравнений. Для решения задачи используется преобразование Фурье и его обратная форма, позволяющие восстановить функцию по заданным данным. Отмечается, что аналитическое вычисление полученного решения крайне затруднено из-за наличия полюсов в ядре и осциллирующих функций, препятствующих получению замкнутого вида интеграла. Кроме того, высокая чувствительность к шумам в данных указывает на необходимость применения численных методов решения. В статье анализируется эффективность используемых подходов и подчёркивается важность регуляризации в процессе восстановления.

SUMMARY. The paper addresses the problem of function reconstruction based on integral equations. The approach relies on Fourier transforms and their inverses to recover the function from given data. It is emphasized that the analytical evaluation of the obtained solution is highly challenging due to the presence of poles in the kernel and oscillatory functions, which prevent the integral from being expressed in a closed form. Moreover, the strong sensitivity to noise in the data highlights the necessity of numerical methods. The article analyzes the efficiency of the applied methods and underlines the importance of regularization in the reconstruction process.

УДК 538.91; 5038.945

МЕТАЛЛ-ДИЭЛЕКТРИК ПЕРЕХОДЫ В ЛЕГИРОВАННЫХ ЛАНТАНОВЫХ СВЕРХПРОВОДНИКАХ С ПРИМЕСЯМИ МАЛОГО РАДИУСА

Г.К.Жумабаева – доктор философии физико-математических наук

Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: La асосли купратлар, ковакли ташувчилар, металл/ўрта ўтказгич-диэлектрик ўтишлар, кучсиз легирланган режим, ўрта легирланган режим, ток ташувчилар концентрацияси.

Ключевые слова: купраты на основе La, дырочные носители, металл/сверхпроводник-диэлектрик переходы, слаболегированный режим, сверхлегированный режим, критическая концентрация носителей.

Key words: La-based cuprates, hole carriers, metal/superconductor-insulator transitions, lightly doped regime, overdoped regime, critical carrier concentration.

Введение. Механизмы локализации носителей заряда и металл-диэлектрик переходов в нелегированных и легированных материалах были предметами

многочисленных споров на протяжении многих десятилетий [1-10]. Металл-диэлектрик переходы в легированных полупроводниках и купратных соединениях

(оксидах меди) ранее изучались для случая существования одного типа носителей заряда [3, 6, 7, 9, 11]. Однако, в легированных материалах носители заряда могут находиться вблизи легирующих примесей как связанные носители и в бездефектных областях кристаллической решетки как поляронные носители. Следовательно, такие два типа носителей заряда могут сосуществовать в легированных полупроводниках и купратных высокотемпературных сверхпроводниках (ВТСП), в которых критерий металл-диэлектрик перехода в случае двух сосуществующих носителей заряда будет отличаться от критерия металл-диэлектрик перехода, полученного в модели ВТСП-купратов с одним носителем [12]. Эти обстоятельства ранее не учитывались при изучении металл-диэлектрик перехода в легированных материалах. В этой работе мы рассмотрим возможность реализации двух различных механизмов металл-диэлектрик переходов, происходящих одновременно в дырочно-легированных лантановых купратных сверхпроводниках с легирующими примесями малого радиуса, где два типа носителей заряда находятся в примесной и поляронной зонах.

Критерии металл-диэлектрик переходов в легированных лантановых купратах.

Интересный вопрос заключается в том, как легирующие примеси малого радиуса в легированных купратах влияют на локализацию носителей и связанный с этим металл-диэлектрик переходу. Знаки деформационных потенциалов дырок и легирующих примесей малого радиуса положительны в $La_{2-x}Ba_{x-y}M_yCuO_4$ (где $M=Ca^{2+}$) и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$, где носитель-примесью-фононные взаимодействия является притягательным вблизи легирующих примесей малого радиуса (например, вблизи ионов Ca^{2+} и Nd^{3+}). Следовательно, дырочные носители в этих лантановых купратах автолокализуются вблизи таких примесей с образованием неводородоподобных локализованных примесных состояний, которые могут образовывать примесную зону при высоких уровнях легирования. Можно предполагать, что некоторая часть дырочных носителей будет локализован вблизи легирующих примесей малого радиуса, а другая часть дырочных носителей автолокализуются в деформируемой решетке с образованием больших поляронов. Теперь мы учитываем эти обстоятельства при изучении металл-диэлектрик переходов, связанных сильными носитель-примесью-фононными и носитель-фононными взаимодействиями в лантановых купратах с легирующими примесями малого радиуса (Ca^{2+} и Nd^{3+}). Когда дырочные носители будут локализованы вблизи примесей и в деформируемой решетке с образованием примесных центров и поляронов, как это наблюдается в лантановых купратах [13, 14], условия локализации носителей или критерии металл-диэлектрик переходов будут совершенно разными. Теперь мы определим эти новые критерии для металл-диэлектрик переходов в модели двух носительного купратного сверхпроводника, которая лучше применима к легированным лантановым купратам с примесями малого радиуса, чем к другим лантановым купратам с примесями большого радиуса.

Естественно предположить, что примесные центры и поляроны могут образовывать сверхрешетки, а также примесные и поляронные зоны в легированных

купратах. Когда два сосуществующих типа носителей заряда в легированных материалах находятся в примесной и поляронной зонах, энергия Ферми ε_{FI} носителей заряда в примесной зоне и энергия Ферми ε_{FP} в поляронной зоне могут быть определены как

$$\varepsilon_{FI} = \hbar^2(3\pi^2 f_I n)^{2/3} / 2m_I \quad (1)$$

и

$$\varepsilon_{FP} = \hbar^2(3\pi^2(1-f_I)n)^{2/3} / 2m_P \quad (2)$$

где f_I - доля носителей заряда, находящихся в примесной зоне, m_I - масса таких носителей заряда, m_P - масса больших поляронов, n - концентрация легированных носителей заряда.

В модели двух носительного купратного сверхпроводника, условия локализации носителей или новые критерии для металл-диэлектрик переходов будут отличаться от критериев для металл-диэлектрик переходов, определенных в модели одно-носительного купратного сверхпроводника [12], и могут быть записаны как

$$x_{cl} = \frac{V_a}{3\pi^2 f_I \hbar^3} [2m_I E_I]^{3/2} \quad (3)$$

и

$$x_{cp} = \frac{V_a}{3\pi^2(1-f_I)\hbar^3} [2m_P E_P]^{3/2}. \quad (4)$$

В купратах при таких критических уровнях легирования, происходят переходы из диэлектрического состояния в металлическое состояние или из металлического состояния в диэлектрическое состояние. Величина как E_I , так и E_P зависит от высокочастотных ε_∞ и статических ε_0 диэлектрических постоянных, а также от отношения $\eta = \varepsilon_\infty / \varepsilon_0$.

Выражения (3) и (4) для x_{cl} и x_{cp} содержат две пары ключевых параметров (m_I , E_I и m_P , E_P), характеризующих эффективные массы носителей заряда в их локализованных примесных и поляронных состояниях. Используя критерии (3) и (4), можно определить возможность реализации различных механизмов металл-диэлектрик переходов в легированных лантановых купратных соединениях с примесями малого радиуса. В частности, эти выражения позволяют нам рассчитать критические уровни легирования x_{cl} и x_{cp} , при которых происходят металл-диэлектрик переходы в $La_{2-x}Ba_{x-y}Ca_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$. Объем V_a на формульную единицу CuO_2 в лантановых купратных сверхпроводниках равен $190 \text{ \AA}^3$.

Металл-диэлектрик переходы, вызванные сильными носитель-примесью-решеточными взаимодействиями в легированных купратных сверхпроводниках $La_{2-x}Ba_{x-y}Ca_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$ с примесями малого радиуса. Используя выражение (3), мы вычисляем критические уровни легирования x_{cl} , при которых металл-диэлектрик переходы, вызванные сильными носитель-примесью-решеточными взаимодействиями, происходят в $La_{2-x}Ba_{x-y}Ca_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$. Если $m_I = 2.0m_e$, $E_I = (0.0741-0.1240) \text{ эВ}$ (при $\varepsilon_\infty = 3.5-4.5$ и $\eta = 0.02$) [15] и $f_I = 0.5$, то находим следующие критические уровни легирования $x_{cl} = 0.098-0.213$ при которых металл-диэлектрик переходы происходят в $La_{2-x}Ba_{x-y}Ca_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$ в тех областях кристаллической решетки, в которых образуются неводородоподобные примесные центры. Результаты расчетов для x_{cl} при $\eta = 0.02$ и различных значениях E_I и ε_∞ приведены в таблице 1. Из этих

результатов следует, что при уменьшении ε_∞ металл-диэлектрик переходы происходят при более высоких уровнях легирования.

Таблица 1. Рассчитанные критические уровни легирования x_{cl} при $\eta=0.02$ и различных значениях E_I и ε_∞

$E_I=0.1240$ эВ, $\varepsilon_\infty=3.5$		$E_I=0.0943$ эВ, $\varepsilon_\infty=4$		$E_I=0.0741$ эВ, $\varepsilon_\infty=4.5$	
f_I	x_{cl}	f_I	x_{cl}	f_I	x_{cl}
0.5	0.213	0.5	0.141	0.5	0.098

Металл-диэлектрик переходы, вызванные сильными носитель-решеточными взаимодействиями в купратных сверхпроводниках $La_{2-x}Ba_xCa_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$ с легирующими примесями малого радиуса. Используя выражение (4), мы вычисляем критические уровни легирования x_{cp} , при которых в $La_{2-x}Ba_xCa_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$ происходят металл-диэлектрик переходы, вызванные сильными дырочно-решеточными взаимодействиями. Теперь в наших расчетах можно выбрать $m_p = 1.8m_e$ и $E_p=(0.0640 - 0.1063)$ эВ (при $\varepsilon_\infty=3.5-4.5$ и $\eta= 0.02$) [15]. Когда доля носителей заряда в поляронной зоне равна $f_p=1-f_I=0.5$, мы находим следующие критические уровни легирования $x_{cp}=0.067-0.144$, при которых происходят металл-диэлектрик переходы в $La_{2-x}Ba_xCa_yCuO_4$ и $La_{2-x-y}Nd_ySr_xCuO_4$ в беспримесных областях кристаллической решетки. Результаты расчетов для x_{cp} при $\eta= 0.02$ и различных значениях E_p и ε_∞ приведены в таблице 2.

Таблица 2. Рассчитанные критические уровни легирования x_{cp} при $\eta= 0.02$ и различных значениях E_p и ε_∞

$E_p=0.1063$ эВ, $\varepsilon_\infty=3.5$		$E_p=0.0811$ эВ, $\varepsilon_\infty=4$		$E_p=0.0640$ эВ, $\varepsilon_\infty=4.5$	
f_p	x_{cp}	f_p	x_{cp}	f_p	x_{cp}
0.5	0.144	0.5	0.096	0.5	0.067

Как видно из таблицы 2, металл-диэлектрик переходы происходят при более высоких уровнях легирования с уменьшением ε_∞ от 4.5 до 3.5.

Результаты и их обсуждение. Нами исследованы возможности реализации двух новых и фундаментально различных механизмов металл-диэлектрик переходов в лантановых купратных соединениях с примесями мало-

го радиуса в двух носительной модели легированного купратного ВТСП. Нами продемонстрировано, что предложенная модель более реалистична, чем ранее изученная модель этого сверхпроводника с одним носителем заряда, которая рассматривалась многими исследователями (см. [3,6,9,12]). Мы считаем, что ни одна из ранее предложенных теоретических моделей, рассматривающих только один тип локализованных носителей заряда в легированных купратах, не способна объяснить весь массив экспериментальных данных [6,9,16-19] и металл-диэлектрик переходы, наблюдаемые в широком диапазоне легирования от слабо легированного до сильно легированного режима в лантановых купратах с легирующими примесями малого радиуса. Научная значимость полученных нами результатов заключается в том, что металл-диэлектрик переходы в лантановых купратных соединениях происходят не только в недолегированном режиме в соответствии с экспериментальными результатами [16], но и в двух различных диапазонах легирования, а именно, от недолегированного до оптимально легированного ($0.06 \leq x \leq 0.15$) и от недолегированного до сильно сверхлегированного ($0.06 \leq x \leq 0.21$) режимов в полном соответствии с существующими экспериментальными результатами [16-19].

Выводы. Нами показано, что критерии для металл-диэлектрик переходов, вызванных дырочный носитель-примесь-решеточными и дырочно-решеточными взаимодействиями сильно отличаются. Согласно предложенной нами двух носительной модели купратного сверхпроводника, металл-диэлектрик переходы происходят сначала в беспримесных областях при промежуточных уровнях легирования ($0.67 < x < 0.15$), а затем в областях с примесями малых радиусов при более высоких уровнях легирования, достигающих до $x \geq 0.21$. Таким образом, наши результаты показывают, что в лантановых купратных сверхпроводниках одновременно происходят два различных металл-диэлектрик перехода в широком диапазоне легирования, а именно, от слегка легированного режима до сильно сверхлегированному режиму, как наблюдалось в различных экспериментах [16-19].

Литература

1. Mott N. F. // Proc. Phys. Soc. London. 1949, Vol. A62. – P. 416-422.
2. Hubbard J. // Proc. Roy. Soc. London. 1964, Vol. A277, -P. 237-259; // Proc. Roy. Soc. London. 1964, Vol. A281. – P. 401-419.
3. Mott N. F. Metal-Insulator Transitions. Taylor and Francis, London, 1990. – P. 286.
4. Lavrov A.N., Gantmakher V.F. // Phys. Usp. 1998, Vol.41. – P. 223-226.
5. Abrikosov A.A. // Phys.Usp. 1998, Vol.41. – P. 605-616.
6. Imada M., et.al.// Rev. Mod. Phys. 1998, Vol. 70. – P. 1039-1263.
7. Walz F. // J. Phys.: Condens. Matter.2002, Vol.14. – P. R285-R340.
8. Vedenev S.I. // Usp. Fiz. Nauk, 2012, Vol.182. – P.669-676.
9. Dzhumanov S. Theory of Conventional and Unconventional Superconductivity in the High- T_c Cuprates and Other Systems. Nova Science Publishers. – New York: 2013. – P. 356.
10. Dzhumanov S. et al. // Phys. Lett. A. 2019, Vol. 383. – P.1330-1335.
11. Damascelli A. et.al.// Rev. Mod. Phys. 2003, Vol.75. – P. 473-541.
12. Dzhumanov S., et.al.// Superlattices and Microstructures, 2015, Vol.84. – P. 66-71.
13. Toyozawa Y. // Physica B, 1983, Vol.116. – P. 7-17.
14. Kastner M.A., et.al.// Rev. Mod. Phys.1998, Vol. 70. – P. 897-928.
15. Dzhumanov S., et al. // J. Phys. Chem. Solids. 2012, Vol.73. – P. 484- 494.
16. Ono S., et al. // Physica C. 2001, Vol.357-360. – P. 138-141.
17. Anshukova N.V., et al. // Zh. Eksp. Teor. Fiz. 2003, Vol. 123. – P. 1188-1199.
18. Sakita Sh., et al. // J. Phys. Soc. Jpn. 1999, Vol.68. – P. 2755-2761.
19. Koike Y., et al. // Physica C. 2001, Vol. 357-360. – P. 82-88.

РЕЗЮМЕ. Ушбу ишнинг мақсади лантан асосли купратларда тешикли ток ташувчиларнинг локаллашган ҳолатлари мавжудлигининг мезонларини (яъни шартларини) аниқлаш ва металл-диэлектрик ўтишлар муаммосини ҳал қилишдан иборат. Тешикли легирланган лантан асосли купрат бирикмаларда бир вақтда содир бўладиган иккита турли хил металл-диэлектрик ўтишларини ўрганиш учун янги икки ток ташувчили купратли ўтаўтказгич модели таклиф қилинди. Тешикли ток ташувчилар киришма ва полярон зоналарида жойлашганда кичик радиусли допантлар билан легирланган лантан асосли ўтаўтказгичларда бу металл-диэлектрик ўтишлари мос равишда кенг легирлаш диапазонида ва нисбатан пастроқ легирлаш даражаларида содир бўлишини кўрсатдик.

РЕЗЮМЕ. Целью данного исследования является определение критериев (т.е. условий) существования локализованных состояний дырочных носителей и решение проблемы металл-диэлектрик переходов в лантановых купратах. Нами предлагается новая модель купратного сверхпроводника с двумя носителями для изучения двух различных металл-диэлектрик переходов, происходящих одновременно в дырочно-легированных лантановых купратных соединениях. Показано, что, когда дырочные носители находятся в примесных и поляронных зонах, эти металл-диэлектрик переходы в лантановых сверхпроводниках с легирующими примесями малого радиуса происходят соответственно в широком диапазоне легирования и при относительно более низких уровнях легирования.

SUMMARY. The purpose of this research is to determine the criteria (i.e. conditions) for the existence of the localized states of hole carriers and solve the problem of metal-insulator transitions in *La*-based cuprates. We propose a new two-carrier cuprate superconductor model for studying two distinct metal-insulator transitions occurring simultaneously in hole-doped *La*-based cuprate compounds. We demonstrate that when hole carriers reside in impurity and polaron bands, these metal-insulator transitions in *La*-based superconductors with small-radius dopants occur accordingly in a wide doping range and relatively lower doping levels.

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ В РЕГИОНЕ РАЗРАБОТКИ ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СУРГИЛЬ

М.Б.Жоллыбеков – директор Каракалпакского филиала Центра государственной экологической экспертизы
Министерства экологии, охраны окружающей среды и изменения климата Республики Узбекистан

Б.С.Тлеумуратова – доктор физико-математических наук, профессор
Каракалпакский научно-исследовательский институт естественных наук ККО АН РУз

Э.П.Уразымбетова – доктор философии технических наук (PhD)
Каракалпакский государственный университет имени Бердаха

Таянч сўзлар: Орол денгизининг куриган туби, оғир металллар, тупроқ ифлосланиши, техноген таъсир, фазвий-вақт динамикаси, градиент индикацияси.

Ключевые слова: осушенное дно Арала, тяжелые металлы, загрязнение почв, техногенное воздействие, пространственно-временная динамика, градиентная индикация.

Key words: dried-up bottom of the Aral Sea, heavy metals, soil pollution, technogenic impact, spatio-temporal dynamics, gradient indication.

Введение. Освоение месторождений углеводородов связано с сильнейшей нагрузкой на природную среду. Негативные воздействия осуществляются как в пределах территорий самих месторождений, так и в ближайших населенных пунктах. Происходит загрязнение почв, поверхностных водоемов и водотоков, подземных вод, разрушение почвенного покрова и ухудшение экологических условий для биоты [1].

Газовые месторождения генерируют значительный объем пластовой воды, которая после переработки сбрасывается в непосредственной близости от газовых месторождений [2]. В составе сточных вод содержится множество опасных элементов, включая растворенные и диспергированные углеводородные компоненты, химические добавки, пластовые минералы, тяжелые металлы, природные радиоактивные минералы (NORM), растворенные вещества, ионы и так далее [3].

Загрязнение почв и подземных вод тяжёлыми металлами является одной из наиболее серьёзных экологических проблем, особенно в районах разработки газовых месторождений [2, 4]. Тяжёлые металлы, поступающие из геогенных и антропогенных источников, способны накапливаться в растениях и животных, попадая в пищевую цепочку человека. Они отличаются стойкостью и токсичностью, распространяясь в окружающей среде под воздействием воздуха и водных потоков. Почва служит основным хранилищем этих

элементов, где они могут мигрировать в результате геохимических процессов, таких как растворение и адсорбция [5, 6]. Всё это усложняет контроль загрязнения и создаёт угрозу для сельского хозяйства и здоровья населения.

Тяжелые металлы, попавшие в воздушную среду с газопылевыми выбросами, путем седиментации и с атмосферными осадками, осаждаются на рельеф местности, накапливаются и загрязняют почву [7]. Хорошо известно, что тяжелые металлы не поддаются химическому разложению и должны быть физически удалены или преобразованы в нетоксичные соединения. В мировой практике экологического мониторинга разработано множество методов и приемов уменьшения содержания тяжелых металлов в почвах. Оформились направления, основанные на использовании приоритетных групп микроорганизмов, водорослей, растений и животных [8]. К сожалению в условиях чрезмерной засоленности почвогрунтов ОДА этот метод неприменим.

Наиболее перспективным на наш взгляд является метод фиторемедиация – это совокупность технологий, использующих различные растения для локализации, уничтожения или извлечения загрязняющих веществ. Фиторемедиация – это новая технология, использующая различные растения для разложения, извлечения, локализации или иммобилизации загрязняющих веществ из почвы и воды [9].