

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет

Ч48
Н34

НАУКА ЮУрГУ

Материалы 69-й научной конференции

СЕКЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ
2017

ББК Ч481.46.я43 + Ч215.1.я43
Н34

Оргкомитет 69-й научной конференции

Дьяконов А.А. (председатель), Ульрих Д.В., Козочкин Д.А., Савельева И.П., Радченко Г.И., Келлер А.В., Хомутова Т.Н., Демин А.А., Волошина И.А., Пономарева Е.В., Эрлих В.В., Ваулин С.Д., Классен А.Н., Шабиев С.Г., Салич В.Л., Карпов Н.А., Иванов М.А., Рождественский Ю.В., Гузеев В.И., Ганджа С.А., Шестеркина Л.П., Сибиряков И.В., Солдатова Е.Л., Кундикова Н.Д., Авдин В.В., Чуманов В.И., Войнов И.В., Борщенко В.Н., Кравцов А.И., Орлова Е.Ю.

Ответственный за выпуск Дьяконов А.А.

Н 34 **Наука ЮУрГУ** [Электронный ресурс]: материалы 69-й научной конференции. Секции естественных наук. – Электрон. текст. дан. (3,12 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (DVD); 12 см. – Системные требования: PC не ниже класса Pentium I; ОЗУ 512 Mb; ОС Windows 2000/XP/Vista/7/8; Adobe Acrobat Reader; DVD-ROM дисковод. – Загл. с экрана.

Представлены материалы 69-й научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и сотрудников, которая состоялась в апреле 2017 года.

Отпечатано с авторских оригиналов.

ББК Ч481.46.я43 + Ч215.1.я43

СОДЕРЖАНИЕ

ИНСТИТУТ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТОЧНЫХ НАУК

<u>Толипов Х.Б., Клещев Д.Г., Березин В.М. О новой методике определения толщины тонких металлических пленок акустическим методом.....</u>	5
<u>Шафранов Д.Е., Мхавес Т.Н. О свойствах одного псевдодифференциального оператора в пространстве гладких дифференциальных k-форм, определенных на римановом многообразии без края.....</u>	9
<u>Шульгинов А.А., Стадник О.С. Контурный анализ элементов биоэлектрограмм.....</u>	13

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<u>Дыскина Б.Ш., Мордухович В.Э., Лесюк В.С. Влияние содержания масла в промасленной окалине на выход железокосса.....</u>	19
<u>Ленская О.Ю., Абдуллаев С.М. Некоторые характеристики городского острова тепла в дни с экстремальным уровнем загрязнения....</u>	24

ВЫСШАЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА

<u>Апалькова Г.Д. К вопросу о современных направлениях в области национальной стандартизации промышленного производства в условиях импортозамещения.....</u>	32
--	----

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

<u>Усиевич Т.Н. Деградация земель – современная экологическая проблема планеты.....</u>	36
---	----

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ В г. МИАСС

<u>Кабанова Л.Я. Особенности проявления девонского вулканизма в северном окончании Магнитогорской зоны (Южный Урал).....</u>	39
<u>Макагонов Е.П. Взаимоотношение коллективных и индивидуальных свойств химических элементов при образовании структур кристаллов.....</u>	45

<u>Юминов А.М., Зайков В.В., Жеребцов Д.А. Взаимодействие микровключений платиноидов с золотым расплавом в древних ювелирных изделиях</u>	52
<u>Анкушева Н.Н., Кужугет Р.В. Условия формирования руд с золотом Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Восточная Тува) по данным флюидных включений</u>	57
<u>Аминов П.Г., Филиппова К.А., Удачин В.Н. Накопление тяжелых металлов корой <i>Pinus Sylvestris</i> в градиентном поле рассеяния элементов (Карабашская геотехническая система, Южный Урал)</u>	62
<u>Муфтахов В.А. Редкая минерализация щелочного массива Дарай-Пиез (Таджикистан)</u>	70

ФИЛИАЛ В г. УСТЬ-КАТАВ

<u>Чернова Т.С. Решение экономических задач методами линейной алгебры</u>	75
---	----

ИНСТИТУТ ЕСТЕСТВЕННЫХ И ТОЧНЫХ НАУК

УДК 534.2: 535.4

О НОВОЙ МЕТОДИКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ТОНКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПЛЕНОК АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Х.Б. Толипов, Д.Г. Клещев, В.М. Березин

Описана экспериментальная установка, позволяющая определять микрометровую толщину тонких металлических пленок с использованием пьезодатчиков. Предложенный метод основан на зависимости фазовой скорости распространяющихся вдоль пленки гармонических антисимметричных волн Лэмба от ее толщины.

Ключевые слова: волны Лэмба, акустические методы, пьезодатчики, усилитель сигналов.

Одной из актуальных проблем современного приборо- и машиностроения является проблема экспрессного определения толщины ультратонких металлических пленок. Широко используемые акустические методы, основанные на возбуждении объемных волн, например, эхоимпульсный способ [1], применяются в основном для контроля массивных изделий, толщина которых значительно больше длины акустической волны.

В данной работе разработана методика и описана лабораторная установка для определения толщины тонких металлических пленок микрометрового размера, позволяющая быстро и с достаточной точностью проводить измерения.

В установке были использованы акустические антисимметричные волны Лэмба [2], скорость распространения которых вдоль пленки зависит от ее толщины (рис. 1).

Общепринято, что скорость распространения волны определяется временем ее прохождения между двумя пьезодатчиками, расположенными на определенном расстоянии L друг от друга (L – база измерения). Нами установлено, что вследствие явления дисперсии импульсный метод измерения скорости дает большую погрешность. Это связано с тем, что импульс волны, представляющий собой по сути волновой пакет, по ходу движения существенно изменяется по форме, что приводит к неопределенности измерения времени между исходным и пришедшим импульсами. Для исключения этой неопределенности был использован непрерывный режим возбуждения гармонических акустических волн строго определенной частоты, позволяющий непосредственно определять фазовую скорость волны [3].

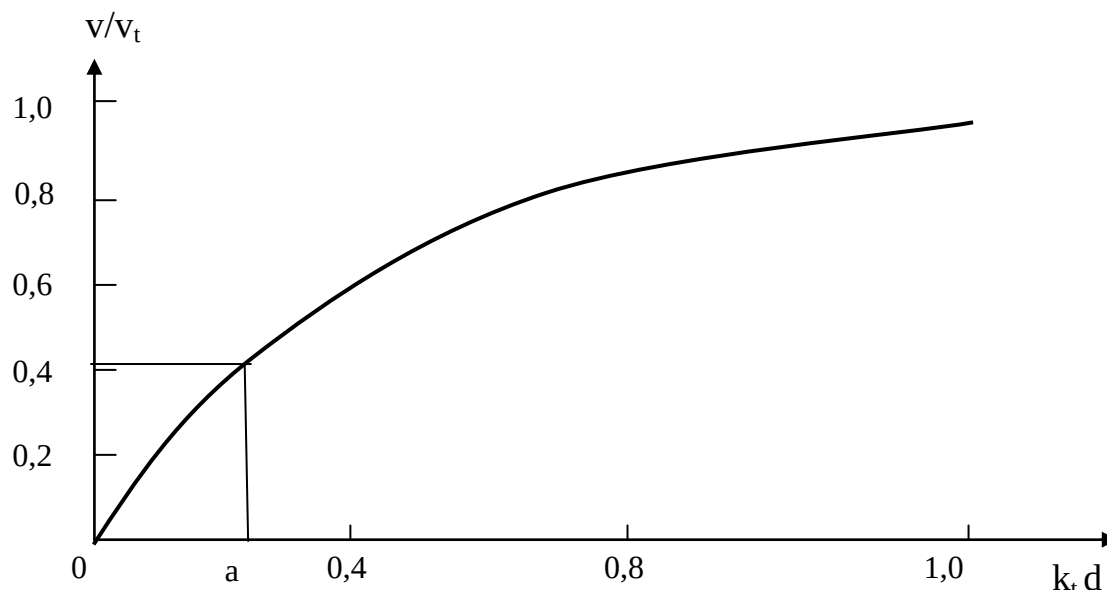


Рис. 1. Зависимость относительной скорости ультразвуковой антисимметричной волны Лэмба от толщины металлических пленок

Лабораторная установка состоит из генератора стандартных сигналов ГСС Г4–18А, высоковольтного усилителя, излучающего и приемного пьезодатчиков марки П-121 и двухлучевого осциллографа TDS-2202 (рис. 2).

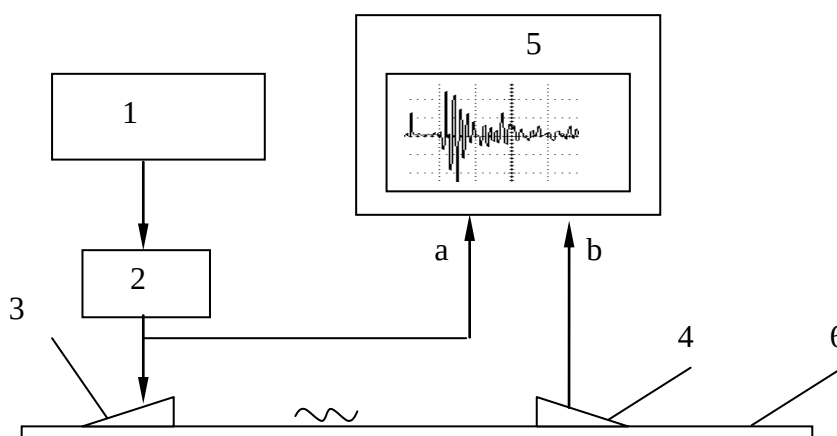


Рис. 2. Блок-схема лабораторной установки. 1 – генератор стандартных сигналов Г4 – 18А, 2 – высоковольтный усилитель, 3, 4 – излучатель и приемник ультразвуковых волн, 5 – осциллограф TDS-2202С, 6 – алюминиевая пленка. Расстояние между датчиками – 50 мм

Монохроматическая волна с фиксированной частотой возбуждается излучающим пьезодатчиком 3, распространяется вдоль тонкой пленки и фиксируется приемным пьезодатчиком 4. Сигналы от этих пьезодатчиков

поступают на различные входы двухлучевого осциллографа, что позволяет определить время t_1 прохождения волны.

На рис. 3 приведена осциллограмма, полученная при прохождении волны Лэмба вдоль алюминиевой пленки толщиной 53 мкм. Частота колебаний волны составила 1,8 МГц, а база измерения L – 50 мм. Ошибка в определении скорости v составляет 4 %.

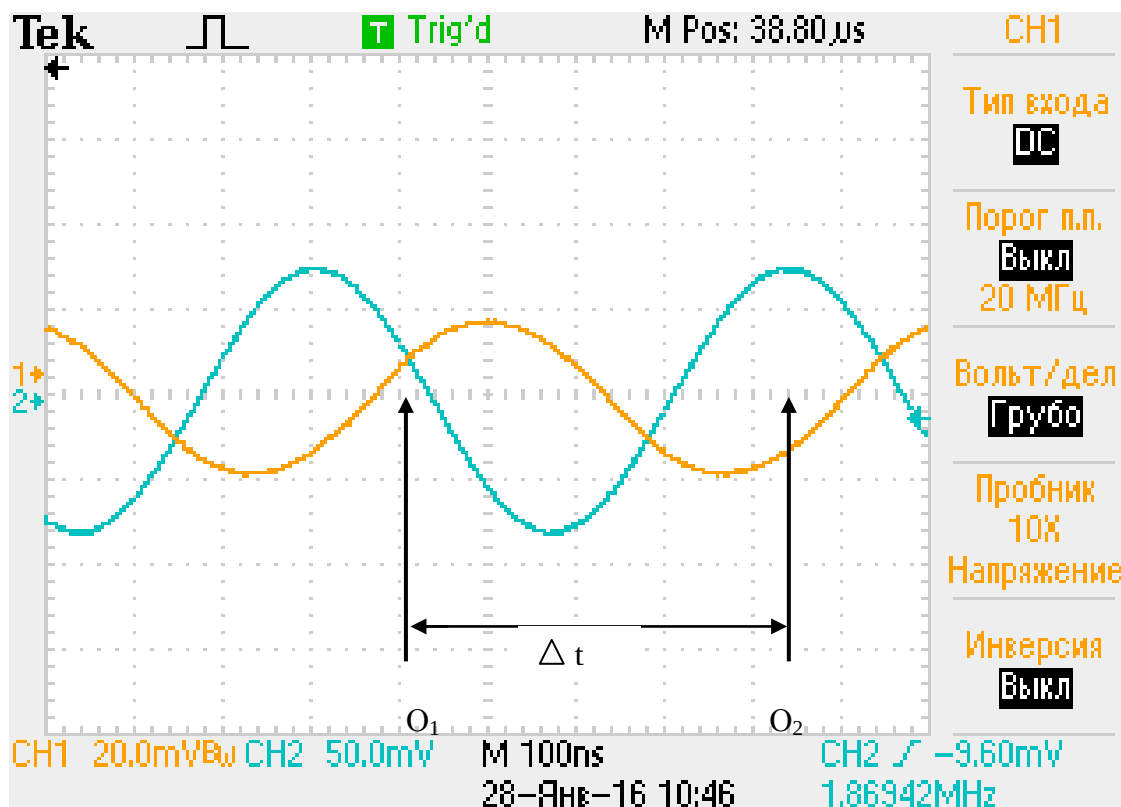


Рис. 3. Осциллограмма сигналов от двух пьезодатчиков.
Развертка 100 нс/дел., время между импульсами 1 и 2 составляет $\Delta t = 3,5$ мкс

Для определения погрешности толщины дисперсионную зависимость скорости от толщины пленки d аппроксимируем в виде:

$$v = 1 - \exp(-0,5 k_t d), \quad (1)$$

где $k_t = \omega/v_t$ – волновое число, ω – круговая частота, v_t – скорость распространения волны в пленке.

Тогда относительная погрешность в определении толщины пленки равна:

$$\frac{\Delta d}{d} = \Delta v \frac{\left(e^{-0,5 k_t d} \right)}{0,5 v_t \left(-\ln \left(1 - \frac{v}{v_t} \right) \right)}. \quad (2)$$

Точность измерения толщины пленки при этих параметрах составляет 8 %. Из (2) следует, что основной вклад в ошибку измерения толщины вносит погрешность в измерении скорости v . Также на точность измерения величины d влияет сама толщина пленки d , что обусловлено нелинейным характером изменения скорости волны v в пленке от ее толщины (сравните точки a и b на рис.1). Будем считать, что погрешность изменения частоты генератора пренебрежимо мала. Тогда увеличить точность в определении скорости v можно путем увеличения базы измерения L , что ведет к увеличению времени прохождения волны t_1 и, соответственно, к более точному его измерению.

Из (2) также следует, что если при уменьшении толщины пленки d увеличивать частоту генератора f так, чтобы произведение $k_t d = \omega d/v_t$ оставалось неизменным, относительная погрешность измерения практически не будет зависеть от толщины пленки.

Заключение. Таким образом, разработана и испытана установка для определения толщины тонких металлических пленок микрометрового диапазона. Методика основана на использовании зависимости скорости гармонических антисимметричных акустических волн в непрерывном режиме Лэмба от толщины пленки. Главными преимуществами данной методики является отсутствие дисперсии скорости, что позволило поднять точность измерения, достаточную для технических потребностей, а также его экспрессность.

Следует отметить, что предложенный метод в принципе применим и к измерению толщины наноразмерных металлических пленок. В этом случае при малых толщинах значительно уменьшается скорость распространения волны Лэмба. Поэтому база измерения L , которая из-за сильного затухания волны должна составлять порядка десяти длин волн, уменьшается до микронных размеров. Это возможно при замене пьезодатчиков на бесконтактный метод возбуждения и приема акустических колебаний, позволяющий измерять скорость на малых базах, что требует проведения дальнейших дополнительных исследований.

Библиографический список

1. Королев, М.В. Эхо-импульсные толщиномеры / М.В. Королев. – М.: Машиностроение, 1980.
2. Викторов, И.А. Физические основы применения ультразвуковых волн Рэлея и Лэмба в технике / И.А. Викторов. – М.: Наука, 1966.
3. Толипов, Х.Б. Ультразвуковой способ измерения толщины тонких пленок / Х.Б. Толипов, Д.Г. Клещев. – Заявка № 2016100979 от 13.01.2016.

[К содержанию](#)

УДК 517.9

О СВОЙСТВАХ ОДНОГО ПСЕВДОДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ОПЕРАТОРА В ПРОСТРАНСТВЕ ГЛАДКИХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ К-ФОРМ, ОПРЕДЕЛЕННЫХ НА РИМАНОВОМ МНОГООБРАЗИИ БЕЗ КРАЯ

Д.Е. Шафранов, Т.Н. Мхавес

Получен результат о расщеплении области определения одного эллиптического самосопряженного псевдодифференциального оператора, в пространстве гладких дифференциальных k -форм, определенных на гладком ориентированном компактном римановом многообразии без края. Для простоты понимания описана редукция уравнений с псевдодифференциальными операторами к уравнениям с абстрактными операторами. Данный результат можно использовать для развития теории уравнений и моделей соболевского типа.

Ключевые слова: дифференциальные k -формы, риманово многообразие без края, модели соболевского типа, расщепление в прямую сумму подпространств.

Введение

В настоящее время широко исследуются различные математические модели на основе уравнений соболевского типа вида:

$$L\dot{u} = Mu, \quad (1)$$

с необратимым оператором L при производной [1]. Стоит отметить, что исследования ведутся как для абстрактных уравнений, так и по конкретным приложениям такого вида [2]. Имеются качественные и численные исследования решений данных уравнений в самых различных постановках. Нас будет интересовать один из аспектов разрешимости задачи Коши в пространстве дифференциальных k -форм, определенных на римановом многообразии без края:

$$u(0) = u_0, \quad (2)$$

для уравнений вида (1), а именно требующееся в теории относительных операторов расщепление области определения оператора $L \in \mathcal{L}(U, F)$ в прямую сумму подпространств:

$$U = U^0 \oplus U^1. \quad (3)$$

Во введении формулируется задача и описывается ее связь с математическими моделями соболевского типа. В первом пункте (предварительные сведения) вводятся пространства дифференциальных k -форм, определенных на многообразии без края и сведения из теории относительно

ограниченных операторов Свиридюка [1] и теории Ходжа–Кодаиры [3] о расщеплении таких пространств. Во втором пункте (основные результаты) приведены: основной результат о расщеплении области определения линейного ограниченного оператора $L = (\lambda + \Delta)$.

Предварительные сведения

Пусть U и F банаховы пространства и операторы $L, M \in \mathcal{L}(U, F)$ (т.е. линейные и ограниченные из U в F). Определим L -резольвентное множество $\rho^L(M) = \{\mu \in \mathbb{C} : (\mu L - M)^{-1} \in \mathcal{L}(F, U)\}$ и L -спектр $\sigma^L(M) = \mathbb{C} \setminus \rho^L(M)$ оператора M . Оператор-функцию $(\mu L - M)^{-1}$ назовем L -резольвентой оператора M , а оператор-функции $R_\mu^L(M) = (\mu L - M)^{-1} L$ и $L_\mu^L(M) = L(\mu L - M)^{-1}$ правой и левой L -резольвентой оператора M соответственно.

Определение 1. Оператор M называется ограниченным относительно оператора L (короче, (L, σ) -ограниченным), если $\exists a \in \mathbb{R}_+ \forall \mu \in \mathbb{C} (|\mu| > a)$. Оператор M называется (L, p) -ограниченным, если он является (L, σ) -ограниченным и точка ∞ – полюс порядка $p \in \{0\} \cup \mathbb{N}$ L -резольвенты оператора M .

Пусть $\rho^L(M) \neq \emptyset$. Уравнение (1) редуцируется [1] к паре эквивалентных ему уравнений:

$$R_{\delta_1}^L(M) \dot{u} = (\delta_1 L - M)^{-1} M u, \quad (4)$$

$$L_{\delta_1}^L(M) \dot{f} = M (\delta_1 L - M)^{-1} f, \quad (5)$$

где $\delta_1 \in \rho^L(M)$.

Оба уравнения можно понимать согласно [1] как конкретные интерпретации уравнения:

$$A \dot{v} = B v, \quad (6)$$

где операторы $A, B \in \mathcal{L}(W)$, а W – некоторое банахово пространство. Решением уравнения (6) называется вектор-функция $v \in C^\infty(\mathbb{R}, W)$, удовлетворяющая уравнению (6).

Определение 2. Отображение $V \in C^\infty(\mathbb{R}, \mathcal{L}(W))$ называется разрешающей группой уравнения (6), если

(i) $V^s V^t = V^{s+t}$ для любых $s, t \in \mathbb{R}$;

(ii) для любого $v_0 \in W$ вектор-функция $v(t) = V^t v_0$ является решением уравнения (6).

Теорема 1. [1] Пусть оператор M (L, p) -ограничен. Тогда существуют аналитические разрешающие группы уравнений (4) и (5), представленные интегралами Данфорда – Тейлора:

$$U^t = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} R_{\mu}^L(M) e^{\mu t} d\mu, \quad (7)$$

$$F^t = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} L_{\mu}^L(M) e^{\mu t} d\mu, \quad (8)$$

где контур Γ – ограничивает область, содержащую $\sigma^L(M)$.

Группы (7), (8) имеют единицы:

$$U^0 = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} R_{\mu}^L(M) d\mu = P, \quad F^0 = \frac{1}{2\pi i} \int_{\Gamma} L_{\mu}^L(M) d\mu = Q, \quad (9)$$

Обозначим ядра и образы этих полугрупп $\ker P = U^0, \operatorname{im} P = U^1, \ker Q = F^0, \operatorname{im} Q = F^1$.

Пусть Ω_n является гладким компактным ориентированным римановым многообразием без края. Пространства гладких дифференциальных k -форм, определенных на многообразии Ω_n обозначим $H_k = H_k(\Omega_n), k = 0, 1, \dots, n$. В пространствах H_k определен оператор Лапласа – Бельтрами $\Delta = +d\delta + \delta d$, где d – оператор внешнего дифференцирования k -форм, $\delta = (-1)^{n(k+1)+1} * d *$ – сопряженный к оператору d , а $*$ – оператор Ходжа. Положим $H_{kd} = d\delta[H_k], H_{k\delta} = \delta d[H_k], H_{k\Delta} = \ker \Delta, k = 0, 1, \dots, n$.

Определим формулой:

$$(\xi, \eta)_0 = \int \xi \wedge * \eta, \text{ где } \xi, \eta \in H_k \quad (10)$$

скалярное произведение в пространстве $H_k, k = 0, 1, \dots, n$, а соответствующую норму обозначим $\|\circ\|_0$. Пополнение пространства H_k по этой норме обозначим H_k^0 . Пополнение линейных оболочек $H_{kd}, H_{k\delta}, H_{k\Delta}$ по ней обозначим соответственно через $H_{kd}^0, H_{k\delta}^0, H_{k\Delta}^0$.

Теорема 2. [3] (Теорема Ходжа – Кодайры). Для любого $k = 0, 1, \dots, n$ существует расщепление пространства H_k^0 в прямую ортогональную сумму:

$$H_k^0 = H_{kd}^0 \oplus H_{k\delta}^0 \oplus H_{k\Delta}^0, \quad (11)$$

причем пространство $H_{k\Delta}^0$ конечномерно.

Введем следующими формулами:

$$\begin{aligned} (\xi, \eta)_1 &= (-\Delta \xi, \eta)_0 + (\xi, \eta)_0, \\ (\xi, \eta)_2 &= (\Delta \xi, \Delta \eta)_0 + (\xi, \eta)_1, \end{aligned} \quad (12)$$

еще два скалярных произведения в пространстве $H_k, k=0,1,\dots,n$, а соответствующие нормы обозначим $\|\circ\|_1$ и $\|\circ\|_2$ соответственно. Пополнение пространства H_k по этим нормам обозначим H_k^1, H_k^2 .

Рассмотрим в $H_{k\Delta}^0$ ортопроектор P_Δ , $\ker P_\Delta = H_{k\Delta}^0$. Он будет ортопроектором и в H_k^1, H_k^2 , причем в силу конечномерности их ядра совпадут и $H_{k\Delta}^0 = H_k^1 = H_{k\Delta}^2$.

Положим пространства $H_k^l = (H_{k\Delta}^l)^\perp, l=0,1,2$ (т.е. ортогональное дополнение к гармоническим k -формам). Пространства $H_k^l, i=1,2$ – банаховы, причем в силу непрерывности и плотности вложений $H_k^0 \subset H_k^1 \subset H_k^2$, а также конечности ранга оператора $P_{k\Delta}$ и $k=0,1,\dots,n$ справедливо следующее.

Следствие. [4] Для любого $k=0,1,\dots,n$ существуют расщепления пространств:

$$H_k^i = H_{k\Delta}^{i1} \oplus H_{k\Delta}, \quad (13)$$

где $H_{k\Delta}^{i1} = I - P_{k\Delta} H_{k\Delta}, i=1,2$.

Основные результаты

Пусть Ω_n – гладкое ориентированное компактное риманово многообразие без края. Используя приведенную выше теорию, определим пространства:

$$\tilde{U} = H_k^2, \tilde{F} = H_k^0. \quad (14)$$

Пространства $\tilde{U}$ и $\tilde{F}$ являются векторными расслоениями дифференциальных k -форм на многообразии Ω_n . Обозначим $U = C^\infty(\tilde{U}), F = C^\infty(\tilde{F})$ векторные пространства гладких сечений $\tilde{U}, \tilde{F}$ соответственно.

Определение 3. Линейный дифференциальный оператор L порядка l , действующий из $\tilde{U}$ в $\tilde{F}$, – это линейное отображение из U в F . Оператор L называется эллиптическим, если он эллиптический локально (в каждой тривиализации).

Рассмотрим оператор $L = (\lambda + \Delta)$. Очевидно, что это эллиптический самосопряженный оператор из U в F . Тогда справедлива следующая теорема.

Теорема 3. Оператор $(\lambda + \Delta)$ линейный непрерывный из U в F , а пространства U и F разлагаются в прямые суммы:

$$U = \text{im}(\lambda + \Delta)^* \oplus \ker(\lambda + \Delta), \quad (15)$$

$$F = \text{im}(\lambda + \Delta) \oplus \ker(\lambda + \Delta)^*. \quad (16)$$

Замечание. В Теореме 3 знак звездочка, означающий сопряженный оператор, в силу самосопряженности оператора $(\lambda + \Delta)$ можно не использовать, но это затруднило бы понимание результата.

Библиографический список

1. Sviridyuk, G.A. Linear Sobolev Type Equations and Degenerate Semigroups of Operators / G.A. Sviridyuk, V.E. Fedorov. – Utrecht etc.: VSP, 2003. – 268 p.
2. Свиридюк, Г.А. Неклассические модели математической физики / Г.А. Свиридюк, С.А. Загребина // Вестник ЮУрГУ. Сер.: «Мат. моделирование и программирование». – 2012. – № 40 (299). – Вып. 14. – С. 7–18.
3. Уорнер, Ф. Основы теории гладких многообразий и групп Ли /Ф. Уорнер. – М.: Мир, 1987. – 304 с.
4. Шафранов, Д.Е. Уравнение Хоффа как модель упругой оболочки / Д.Е. Шафранов, А.И. Шведчикова // Вестник ЮУрГУ. Сер. «Мат. Моделирование и программирование». – 2012. – № 18 (277). – Вып. 12. – С. 77–81.
5. Шафранов, Д.Е. О моделях соболевского типа в пространстве дифференциальных k-форм на сфере / Д.Е. Шафранов // Наука ЮУрГУ: мат-лы 66-й науч. конф. Секции естественных наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2014. – С. 234–238.

[К содержанию](#)

УДК 537.523 + 53.087.5 + 51-76

КОНТУРНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕМЕНТОВ БИОЭЛЕКТРОГРАММ

А.А. Шульгинов, О.С. Стадник

Приведены данные о результатах контурного анализа биоэлектrogramм. Разработан метод анализа биоэлектrogramм пальцев человека. Изображение разделяется на отдельные элементы, затем выделяются их контуры для последующей обработки и классификации.

Ключевые слова: эффект Кирлиан, биоэлектrogramма, контурный анализ.

Самая фундаментальная проблема современной науки – это исследование природы человека. Один из методов исследования был разработан С.Д. Кирлиан и В.Х. Кирлиан в конце 50-х годов XX века [1], получивший название в научной литературе как метод Кирлиан. Испытуемый ставит палец между двумя электродами. Один из электродов плоский, и на него помещают фотобумагу. На электроды дают высокое переменное высокочастотное напряжение. Вокруг пальца в момент разряда возникает

сиренево-фиолетовое свечение, которое фиксируется на фотобумаге. Это газовый разряд, поэтому метод Кирлиан ещё называется газоразрядной визуализацией (ГРВ). На фотобумаге после проявления виден ореол вокруг пальца, называемый биоэлектрограммой. При разряде тока испытуемый почти не ощущает этого, так как ток высокой частоты благодаря скин-эффекту протекает по поверхности пальца. Таким же способом можно получить, например, биоэлектрограмму растений или других предметов. Свечение пальцев человека носит индивидуальный характер. Поэтому возникла идея применить метод ГРВ для диагностики состояния человека. Любой объект окружён собственными эманациями (аурой). Газовый разряд, созданный высоким напряжением в воздухе, играет роль только визуализатора этой ауры. В работе Н.А. Колтового [2] описываются конструкции различных устройств для реализации метода Кирлиан, а также сделан обзор работ по применению метода Кирлиан в медицине для диагностики различных заболеваний. Исследуется физика процесса газоразрядной визуализации и её связь с результирующим изображением короны свечения. Аппарат Кирлиан является уникальным инструментом, позволяющим выявить процессы Невидимого Мира на основе фотодокументов и электрографических отпечатков. В работе [3] представлены аппаратно зарегистрированные явления, которые наука пока еще объяснить не может, несмотря на то, что они являются фактом. Проф. Погорельский исследовал излучения человека в конце XIX в. [4] и пришёл к выводу, что каждый человек обладает «полярной физиологической энергией». В его работе показаны фотографии пальцев и ладоней человека, выполненные с применением сильного электрического поля, которые очень похожи на кирлиановские биоэлектрограммы.

Для наблюдения и регистрации газового разряда мы применили традиционный метод. В качестве источника высокого напряжения был использован генератор «Аура-МТ» производства НПО «Тех-радио». Свечение фиксировалось с помощью чёрно-белой контрастной фотобумаги «Берёзка», которая помещалась между плоским электродом и пальцем испытуемого. Электроды позволяли фиксировать пальцы строго под определённым углом к фотобумаге. Все биоэлектрограммы (более 1000 шт.) были получены при одном и том же режиме работы генератора: экспозиция 3 с, частота биполярных импульсов 200 Гц, а частота колебаний напряжения около 10 кГц. После проявления они были отсканированы с разрешением 1200 dpi, которое достаточно для выделения и анализа даже мелких элементов изображения. Сама фотография даёт плоское изображение, но если выделить изолинии степени почернения, то получается «объёмная» картина, в которой можно выделить внутренние детали изображения, не видимые при её визуальном изучении. Этот метод позволяет выделить не только внешний контур, но рассмотреть внутреннюю структуру каждого элемента биоэлектрограммы.

С помощью этого генератора были получены фотографии некоторых предметов: монет, металлических цепочек и других. На рис. 1 показана биоэлектрограмма неживого объекта. Аура гладкая и бесформенная. Никаких деталей выделить невозможно. Контурный анализ также не даёт никаких замкнутых фигур.

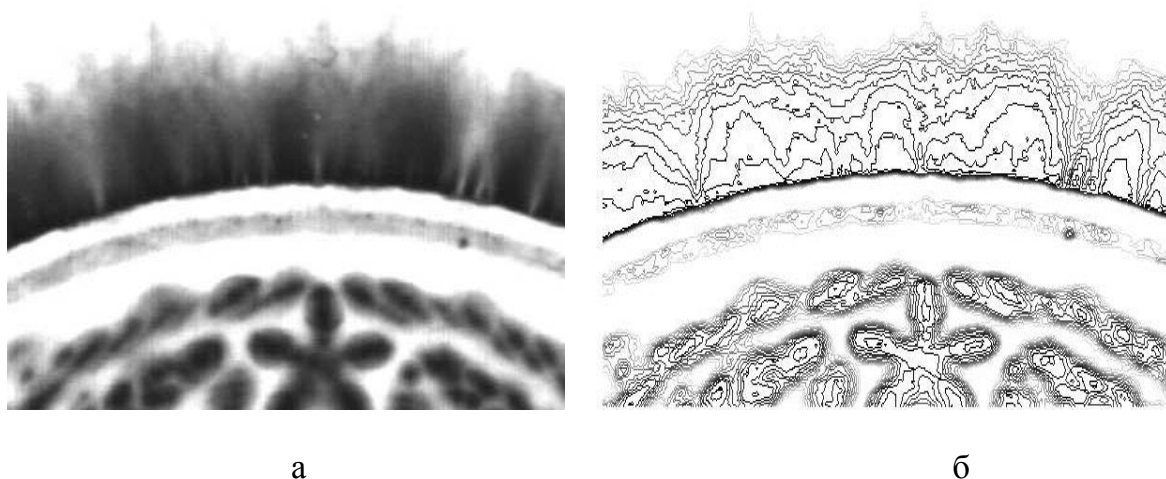


Рис. 1. Биоэлектрограмма неживого объекта (а) и изолинии изображения (б)

Биоэлектрограммы человеческих пальцев принципиально отличаются (рис. 2) и носят сугубо индивидуальный характер. Заметна существенная неоднородность излучений. У некоторых испытуемых внешний вид ауры пальцев значительно изменяется в течение суток, но были и такие, у которых она слабо изменяется в течение суток и даже лет. К.Г. Коротков предложил использовать секторный анализ биоэлектрограммы. Всё изображение разбивается на сектора. Поскольку каждый сектор каждого пальца связан с органами и системами организма [5], то по интенсивности свечения в соответствующих секторах можно определить состояние органов.

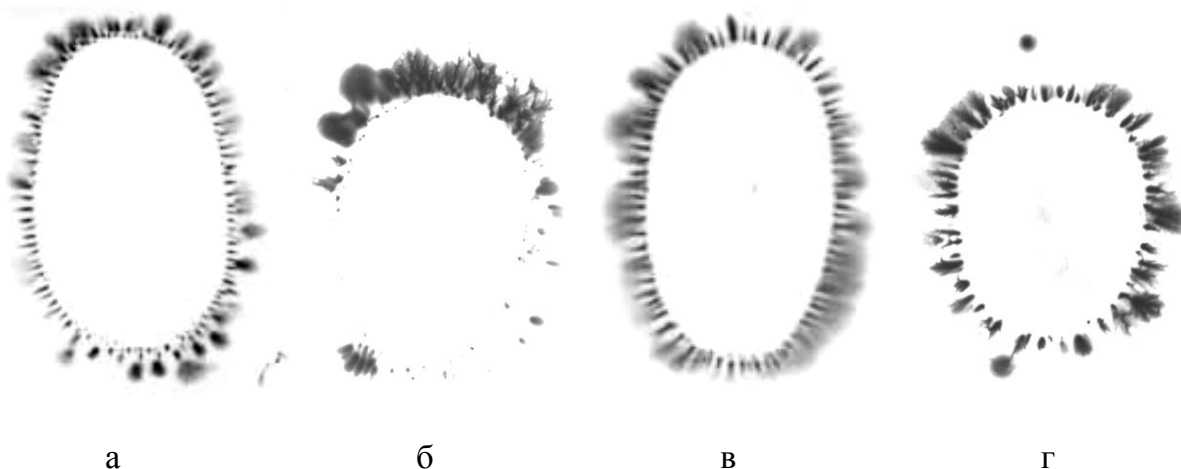


Рис. 2. Биоэлектрограммы указательного пальца левой руки разных людей

Наши исследования показали, что при увеличении фотоснимка можно выделить отдельные элементы. В отличие от ПЗС-матрицы фотоснимки дают высокое разрешение биоэлектrogramм. Это позволило рассмотреть и провести классификацию элементов. Несмотря на то, что каждое изображение биоэлектrogramмы носит индивидуальный характер, можно выделить несколько стандартных элементов в каждом изображении:

1) «Факел» (рис. 3) – элемент с чёткими границами и острой вершиной;

2) «Букет» (рис. 4) – элемент, похожий на «факел», но с расширяющейся вершиной;

3) «Выброс» (рис. 5) – элемент, отделённый от основной ауры, который может быть как гладким, так и фрактальным;

4) «Кусты» и «деревья» (рис. 6) – фрактальные структуры без чётких форм.

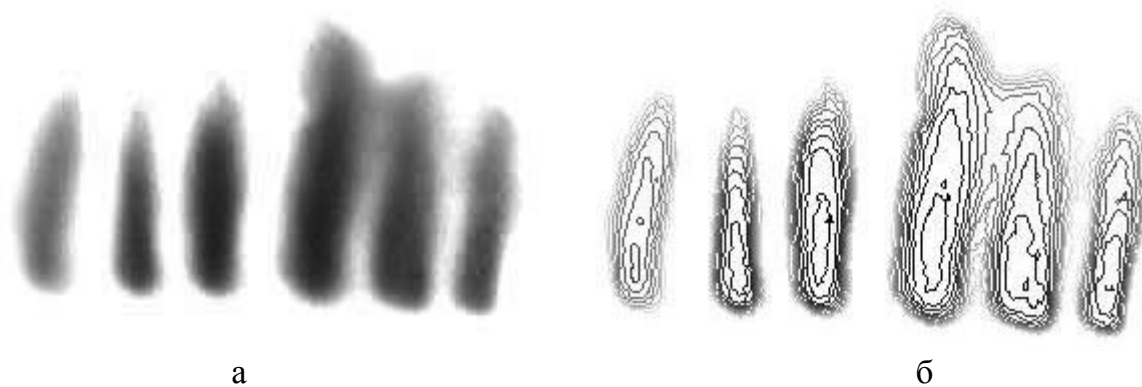


Рис. 3. «Факелы»

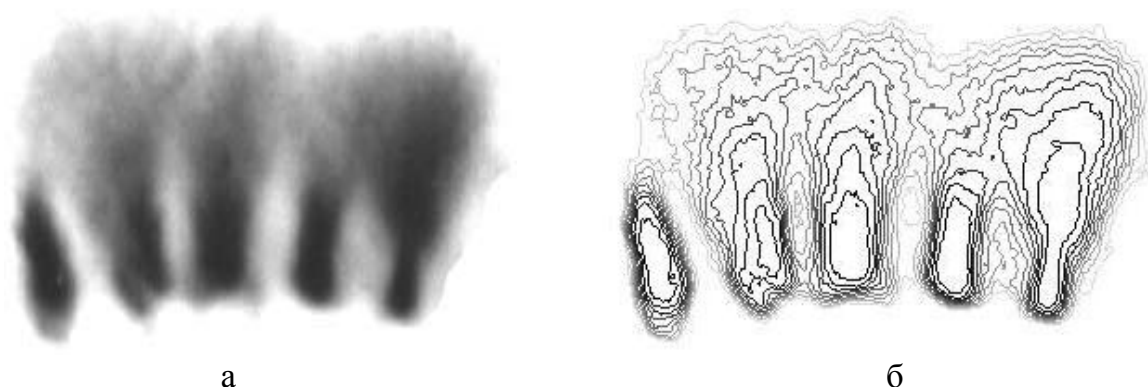


Рис. 4. «Букеты»

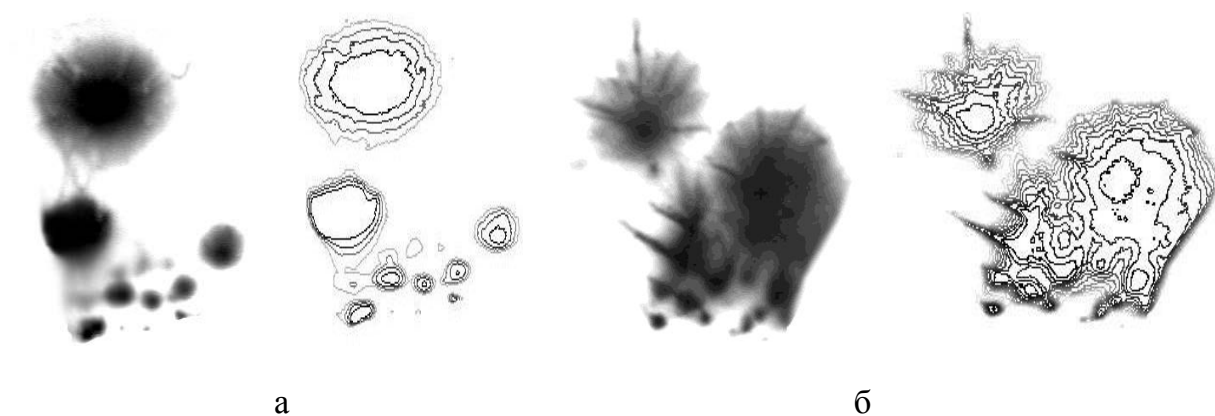


Рис. 5. «Выбросы»

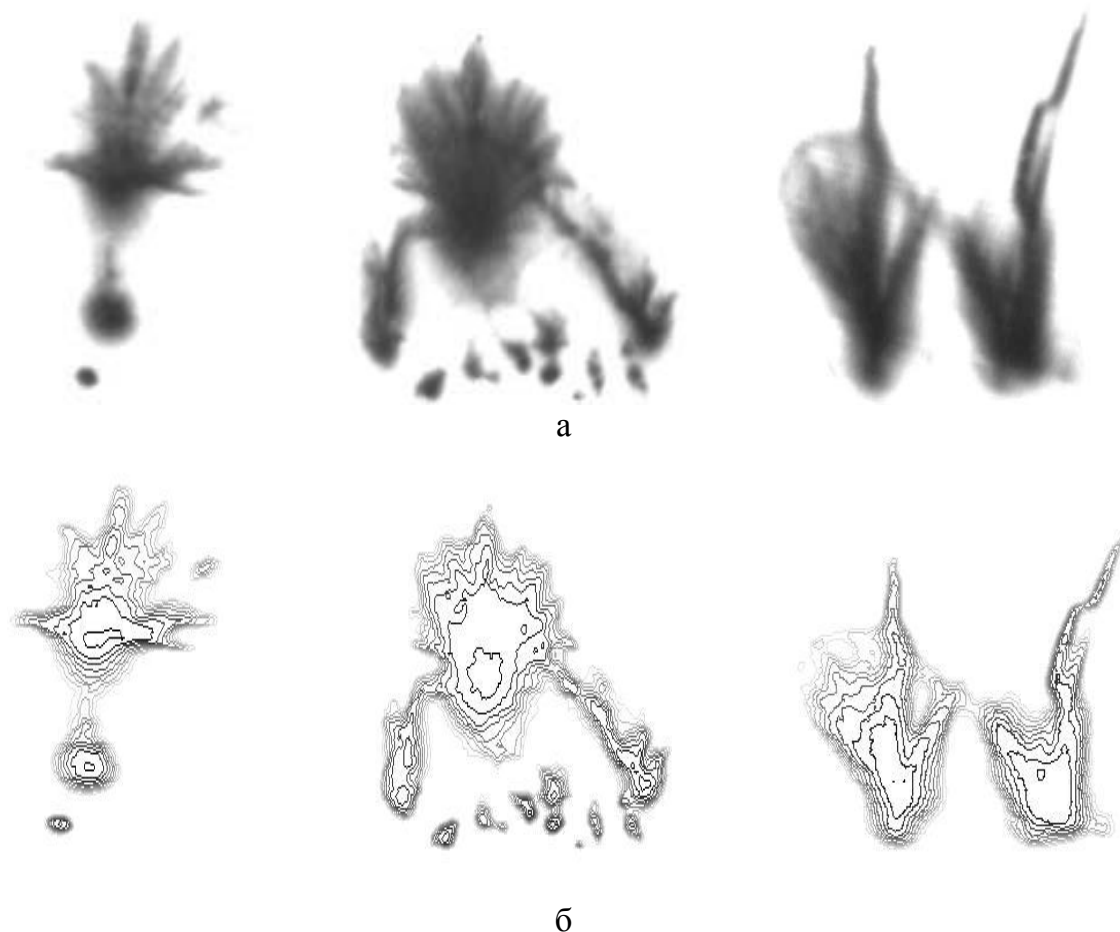


Рис. 6 «Кусты» и «деревья»

Такие типы элементов встречались у людей разного пола и возраста (от 3 до 60 лет). На основе этого нами был предложен элементный анализ биоэлектrogramм [6]. В работе профессора М. Погорельского [4] была сделана попытка провести подобную классификацию элементов изображений. Помимо «фульгурид» (*fulgur* (лат.) – молния) – искровых разрядов, были замечены стабильные элементы, которые автор называл:

- 1) «энергиды» – линии, разложенные правильными рядами;
- 2) «динамиды» – точки разной величины;

3) «булеты» – круглые шарики, имеющие внутреннюю структуру.

«Вот все три буквы алфавита, из коих слагаются все энергографические иероглифы» [4].

Заключение. Биоэлектрограмма живого объекта, например, пальца человека, существенно отличается от биоэлектрограммы неживого объекта тем, что она имеет структуру и состоит из отдельных элементов. Контурный анализ элементов биоэлектрограмм позволяет увидеть структуру каждого элемента. Если сопоставить исследования профессора М. Погорельского с нашими наблюдениями, то становится очевидной аналогия между «тремя буквами алфавита биоэлектрограмм» и нашей классификацией. «Энергиды» – это «факелы» и «букеты» (рис. 3, 4), «булеты» – это «выбросы» (рис. 5). «Динамиды» видны на рис. 5 и 6 как шарообразные или звёздчатые объекты. «Кусты» и «деревья» – это комбинации всех трёх элементов.

Таким образом, контурный анализ элементов биоэлектрограмм позволяет получить дополнительную полезную информацию для исследования излучений живых организмов.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Библиографический список

1. Кирлиан, С.Д. Фотографирование и визуальное наблюдение при посредстве токов высокой частоты / С.Д. Кирлиан, В.Х. Кирлиан // Журнал. научн. и прикл. фотографии и кинематографии. – 1961. – Т. 6, № 6. – С. 397–403.
2. Персональный сайт Колтового Н.А. – URL: <http://koltovoi.ru/>.
3. Бланк, С. Кирлианография в новой науке (Жизнь лучистой материи) / С. Бланк, Е. Смирнова (Дубова). – Краснодар: Новация, 2016. – 220 с.
4. Погорельский, М. Электрофотосфены и энергография как доказательство существования физиологической полярной энергии или так называемого животного магнетизма и их значение для медицины и естествознания / М. Погорельский. – СПб.: Тип. В. Демакова, 1899. – 105 с.
5. Коротков, К.Г. Принципы анализа ГРВ биоэлектрографии / К.Г. Коротков. – СПб.: «Реноме», 2007. – 286 с.
6. Шульгинов, А.А. Элементный анализ биоэлектрограмм / А.А. Шульгинов, О.С. Стадник // Вестник ЮУрГУ. Серия «Математика, физика, химия». – 2003. – № 8. – Вып. 4. – С. 37–40.

[К содержанию](#)

ХИМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 66.04

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ МАСЛА В ПРОМАСЛЕННОЙ ОКАЛИНЕ НА ВЫХОД ЖЕЛЕЗОКОКСА

Б.Ш. Дыскина, В.Э. Мордухович, В.С. Лесюк

Приведены результаты коксования каменного угля с введением промасленной окалины прокатного производства. Разработаны рецептура шихты коксования со связующим – каменно-угольным пеком. Предложен механизм влияния масла на термодеструктивные процессы коксования и выход кокса.

Ключевые слова: каменный уголь, промасленная окалина, коксование, железокс.

Каменноугольный кокс – продукт коксования каменных углей, основным потребителем которого является черная металлургия. Показано [1], что в общем балансе производства доменный кокс составляет 80 %, 10 % – литейный, остальные 10 % – для электротермических и других производств. При этом не все угли однозначно пригодны для получения доменного кокса. Угли марок КЖ, К, Ж, ГЖ, КО, ОС, определяемых ГОСТ 25543-88 [2], – особо ценные марки для коксования. Коксующиеся угли составляют 10–65 % общих запасов углей, их выработка осуществляется наиболее интенсивно, что в конечном итоге приводит к истощению месторождений именно этими углями. Отсутствие на рынке по приемлемым ценам необходимого количества ценных марок угля вынуждает коксохимические производства искать приемлемое включение в шихту коксования отощающих добавок, в качестве которых могут быть использованы как остальные марки углей, так и железосодержащие компоненты. Поскольку основные компоненты доменного производства представлены железорудными материалами с содержанием железа 54–55 % (агломерат, окатыши) и доменным коксом, представляет научный и практический интерес использовать в доменном производстве железокс, полученный коксованием шихты углей с железосодержащими добавками.

В России первые заводские работы по добавлению железных руд в шихты коксования были проведены в 1905 году [3]. Для улучшения смешивания пылевидной руды в шихту добавляли небольшое количество минеральных масел [4]. Состав шихты: 80 % газовых углей с размером частиц менее 2 мм 80 %; 20 % молотой руды с размером частиц менее 1 мм. К смеси добавляли 1,0–1,5 % нефти. Получен крупнокусовой кокс однородной структуры.

В настоящее время прокатное производство металлургических предприятий продуцирует значительное количество замасленной окалины. В шламонакопителях заводов ее находится порядка миллиона тонн. Шламы неоднородны по составу, содержат от 10 до 95 % окалины, от 10 до 50 % масел и от 3 до 80 % воды [5]. Окалина прокатная – чешуйчатые частицы различной толщины, состоящие из оксидов железа, образуется на поверхности заготовок, слабов, слитков и других изделий. Выход окалины в среднем 1,0–3,0 % от массы готового проката. По химическому составу окалина близка к чистому магнетиту, гранулометрический состав – фракции менее 0,2 мм. Утилизация замасленной окалины из вторичных отстойников, особенно мелкой с размерами частиц до 100 мкм, содержащей до 20–30 % масел, связана с большими трудностями. Химическое и термическое обезмасливание – дорогостоящие процессы, создающие дополнительные экологические проблемы.

Цель данной работы – провести опробование замасленной окалины прокатного производства с разным содержанием масла в технологии получения железокоса.

Для опытного коксования использовали кузнецкий уголь марки ГЖО и томусинский – марки КО, максимальный размер частиц угля в шихте – 4 мм. В качестве добавок опробовали сухую руду Fe_3O_4 с размером частиц менее 0,071 мм и замасленную окалину с различным содержанием масла. Исходная проба замасленной окалины представляла собой суспензию частиц окалины в масле. С целью увеличения концентрации окалины суспензию поместили на сито с размером ячейки 1 мм для свободного стекания масла. Выдержали на сите трое суток. Затем надситный концентрат отжали между двумя слоями фильтров. Массовая доля масла в подготовленном таким образом концентрате составляла примерно 10 %. В качестве связующего использовали среднетемпературный каменноугольный пек с температурой размягчения 70 °С (ГОСТ 10200-83) [6]. В шихту коксования пек вводили в виде твердых частиц размером менее 1 мм. Компонентный и гранулометрический состав шихт для коксования представлен в табл. 1. Коксование проводили в муфельной печи МИМП-6УЭ с программным управлением. Режим коксования: скорость нагрева 10 °С в минуту, выдержка при температуре 900 °С – 1 час.

Из табл. 1 видно, что из кузнецкого угля ГЖО получено 68,8 % кокса, с добавкой 15 % Fe_3O_4 – выход кокса возрос на 9 %, но оба кокса мелкие, содержание спекшихся частиц (более 4 мм) всего 11,4–17,4 %. Кусковой кокс получен при введении спекающего связующего – 15 % каменноугольного пека. Выход кокса в расчете на уголь 70,0–72,6 % выше, чем при коксовании без добавок. Для расчетов приняли следующие допущения:

– в процессах коксования (900 °С) происходит восстановление оксидов до железа (Fe в Fe_3O_4 – 72,4 %);

– масла – очищенный дистиллят вакуумной перегонки – ценное сырье для получения игольчатого кокса. Масло на поверхности окалины при температурах 450–500 °С претерпевает крекинг с образованием летучих продуктов и крекинг-остатка и коксование последнего при температурах 500–550 °С с получением игольчатого кокса (выход ~10 % от масла);

– в рецептах с пеком доля пекового кокса в составе железококса или кокса – 50 % от введенного пека.

Затем из общего выхода кокса вычитается расчетное количество Fe, нефтяного и пекового кокса; разность относится к исходному количеству взятого угля.

Томусинский уголь коксуется с большим выходом (79,9 %) и более крупного кокса, с выходом 76 % спекшихся частиц кокса более 4 мм. Выход кокса (77,7 %) получен при введении 18 % замасленной окалины, сравнимый с выходом кокса (77,8 %) из кузнецкого ГЖО с 15 % Fe₃O₄. Введение возрастающего количества подготовленной замасленной окалины с шагом в 10 % закономерного влияния не выявило.

Таблица 1

Влияние марки угля и состава шихты на выход кокса

Уголь, марка	Состав шихты, масс. %				Общий выход кокса, %	Расчетный выход кокса из угля, %	Кокс, +4 мм
	Уголь, –4 мм	Fe ₃ O ₄	Пек	Масло			
Кузнецкий ГЖО	100	0	0	0	68,8	68,8	11,4
	85	15	0	0	77,8	78,8	17,4
	85	0	15	0	67,0	70,0	кусковой
	70	15	15	0	69,2	72,6	кусковой
Томусинский КО	100	0	0	0	79,9	79,9	76,0
	90	9	0	1	65,8	65,9	78,8
	80	18	0	2	77,7	80,6	65,0
	70	27	0	3	60,0	57,4	75,3

Эксперименты с разным содержанием замасленной окалины и разным содержанием масла в окалине проводили на шихте кузнецкого ГЖО крупностью менее 2 мм. Выход кокса без добавок составил 58,2 % (табл. 2), что примерно на 10 % меньше, чем из шихты до 4 мм (68,8 %, табл. 1).

Из табл. 2 видно, что введение 7–9 % окалины незначительно (до 2,5 %) повысило общий выход кокса и его крупность (на ~2,0 %); увеличение в шихте окалины до 18 % дало повышение выхода кокса еще на 2 %, выход спекшихся частиц возрос примерно в 2 раза.

Таблица 2

Влияние состава шихты из кузнецкого ГЖО
на выход железокоса и частиц коса более 4 мм

Состав исходной шихты, масс. %				Общий выход железокоса, %	Выход коса от угля, % (расчет)	Выход частиц коса, % более 4 мм
Кузнецкий ГЖО, –2 мм	Масленая окалина	Пек	Масло			
100	0	0	0	58,2	58,2	7,4
90	9	0	1	59,2	58,4	9,7
90	7	0	3	60,7	61,4	9,5
80	18	0	2	62,7	61,9	17,2
73	17	0	10	68,3	75,3	18,3
66	16	0	18	54,5	62,1	20,1
73	16	9	2	75,5	81,1	77,6*
66	16	17	2	66,4	70,0	93,8*
57	25	7	10	53,8	54,7	81,2

Примечание: * – доля кускового коса, %

Влияние масла: повышение в шихте от 2 до 10 % привело к заметному увеличению выхода коса до 68,3 %, против 62,7 %, не повлияло на количество спекшихся частиц. Увеличение масла до 18 % резко снизило выход коса, несколько (на 2 %) улучшилась спекаемость. Учитывая, что масло на поверхности окислы претерпевает процессы расщепления углеводородов с образованием газообразных и жидких насыщенных и ненасыщенных углеводородов, с последующим коксованием последних. Реакции газо- и коксообразования – вторичные по отношению к первичному расщеплению углеводородного сырья. Очевидно, что при увеличении степени превращения увеличивается выход газа и коса и уменьшается количество жидких продуктов. Следует предположить, что в присутствии масла до 10 % реакции коксообразования протекают интенсивнее реакций расщепления (крекинга). С увеличением количества масла скорость деструктивных процессов возрастает, при введении 18 % масла – превышает скорость коксообразования, что в свою очередь обуславливает снижение выхода коса и некоторое увеличение спекаемости.

Спекаемость шихты удалось повысить введением пека:

– 9 % пека – получен кусковой кос (+4 мм – 77,6 %), выход коса 75,5 % – максимальный из всех рецептов:

– 17 % пека – получен кусковой кос (+4 мм – 93,8 %), общий выход коса снизился до 66,4 %.

Из шихты с введением 25 % замасленной окислы, 7 % пека и 10 % масла получен минимальный выход коса (53,8 %, против 58,2 % без добавок) с высоким выходом спекшихся частиц (81,2 %) и максимальной долей выхода Fe – 18,1 % (табл. 3).

Таблица 3

Влияние состава шихты на основе кузнечного ГЖО
на расчетный выход составляющих железокоса

Состав исходной шихты, масс. %				Общий выход железо- коса, %	Выход составляющих железокоса и коса, %			
Кузнеч- кий ГЖО, –2 мм	Мас- ленная окалина	Пек	Масло		Кос угля	Кос пека	Кос масла	Fe
100	0	0	0	58,2	58,2	0	0	0
90	9	0	1	59,2	52,6	0	0,1	6,5
90	7	0	3	60,7	55,3	0	0,3	5,1
80	18	0	2	62,7	49,5	0	0,2	13,0
73	17	0	10	68,3	55,0	0	1,0	12,3
66	16	0	18	54,5	41,0	0	1,8	11,6
73	16	9	2	75,5	59,2	4,5	0,2	11,6
66	16	17	2	66,4	46,2	8,5	0,2	11,6
57	25	7	10	53,8	31,2	3,5	1,0	18,1

Расчет состава полученного железокоса показал, что содержание же-
леза в кусковых образцах составляет 15,3–33,6 % (табл. 4).

Таблица 4

Расчетный состав образцов железокоса

Состав исходной шихты, масс. %				Общий выход коса, %	Состав железокоса, %			
Кузнеч- кий ГЖО, –2 мм	Мас- ленная окалина	Пек	Масло		Кос угля	Кос пека	Кос масла	Fe
73	16	9	2	75,5	78,4	6,0	0,3	15,3
66	16	17	2	66,4	69,6	12,8	0,2	17,5
57	25	7	10	53,8	58,0	6,5	1,8	33,6

Показатели качества кусковых образцов железокоса, полученных с
введением 16 % окалина и 9–17 % пека, соответствуют требованиям к ка-
честву продукции ГОСТ 5.1261 «Кос доменный из углей Донецкого и
Кузнечного бассейнов и шихты Череповецкого металлургического завода».

Таким образом, установлена принципиальная возможность получения
железокоса с введением в угольную шихту 17–19 % замасленной окали-
ны с содержанием масла ~10 %.

Библиографический список

1. Харлампович, Г.Д. Технология коксохимического производства / Г.Д. Хар-
лампович, А.А. Кауфман. – М.: Металлургия, 1995. – 384 с.
2. ГОСТ 25543-88. Угли бурые, каменные и антрациты. Классификация по
генетическим и технологическим параметрам. – М.: ИПК Издательство стан-
дартов, 2002.

3. Агроскин, А.А. Расширение угольной базы коксования / А.А. Агроскин, А.К. Шелков. – М.: Металлургиздат, 1962. – 502 с.
4. Barking, H.J. // *Metalls*, 1958, V. 10, № 4, p. 274.
5. Долгий, А.А. Утилизация замасленной окалины прокатного производства в технологическом процессе / А.А. Долгий. – URL: <http://ea.donntu.org:8080/handle/123456789/26900>.

[К содержанию](#)

УДК 551.509

НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА В ДНИ С ЭКСТРЕМАЛЬНЫМ УРОВНЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

О.Ю. Ленская, С.М. Абдуллаев

Рассмотрены случаи экстремального загрязнения приземного слоя атмосферы г. Челябинска с использованием мезомасштабной модели WRF. Произведена оценка пространственно-временных характеристик городского острова тепла, рассматривается зависимость его интенсивности от времени суток и фоновых атмосферных условий.

Ключевые слова: неблагоприятные метеоусловия, приземный слой атмосферы города, мезомасштабная модель WRF.

1. Введение. Исследования характеристик приземного слоя атмосферы над крупным городом на примере Челябинска, начатые авторами несколько лет назад [1], показали, что, как и над другими мегаполисами, над Челябинском формируется характерная структура, которая называется городской остров тепла (ГОТ). Особенно ярко он проявляется в дни с антициклональным типом погоды, когда горизонтальный перенос и вертикальное турбулентное перемешивание ослаблены, и над городом сохраняется повышенный температурный режим по сравнению с пригородами. Помимо этого в таких же условиях в городской атмосфере формируется высокий уровень загрязнения. Продолжая предыдущие исследования с использованием мезомасштабной модели WRF, мы ставим в задачи данной работы определение параметров приземного слоя атмосферы, характерных для дней с экстремальным уровнем загрязнения. Предполагается, что интенсивность ГОТ в такие дни наивысшая, а его пространственные границы наиболее четко выражены. В данной статье рассматриваются пять случаев с экстремальным уровнем загрязнения (СЭЗ), определенных в соответствии с методикой, изложенной в [2].

2. Конфигурация модели и исходные данные. Численное моделирование осуществлялось на базе мезомасштабной модели WRF, установленной в Лаборатории суперкомпьютерного моделирования ЮУрГУ. Ос-

новые характеристики и возможности модели подробно изложены в наших предыдущих работах, например [1]. Конфигурация модели, необходимая для исследования приземного слоя в периоды СЭЗ, была обоснована в нашей предыдущей статье [3].

Модели городского острова тепла построены для пяти случаев с экстремальным уровнем загрязнения в холодный период 2009 года, отбор этих случаев также обоснован в нашей предыдущей работе [3]. На качество результатов моделирования влияет пространственное разрешение географических данных и учет особенностей строения подстилающей поверхности города. Для моделирования атмосферных процессов в холодный период года были выбраны следующие схемы параметризации: для микрофизических процессов – WRF single-moment 3-class scheme, включает взаимные превращения жидкой воды, снега и льда в атмосфере и эффективно работает в мезомасштабных сетках; для потоков длинноволновой радиации – RRTM; для потоков коротковолновой радиации – схема Dudhia; параметризация пограничного слоя – параметризация Меллора–Ямады–Янича, параметризация турбулентности в пограничном слое в свободной атмосфере; приземный слой – параметризация. Эта модель основывается на уравнениях теории подобия Момина–Обухова, масштабе термической неоднородности Зелинткевича и стандартными функциями подобия; для параметризации процессов в почве и на поверхности – схема Noah. Для задания параметров подстилающей поверхности в городской застройке использована параметризация BEP (Building Environment Parameterization) – многослойная модель, учитывающая вклад в потоки энергии зданий различной высотности.

В качестве начальных и граничных условий для моделирования атмосферных параметров использовались метеоданные анализа NCEP с пространственным разрешением 0,5 град. по широте и долготе.

Валидация результатов моделирования требует сравнения модельных и измеренных метеорологических величин в различных точках исследуемой территории. На территории г. Челябинска и его окрестностей регулярные метеорологические измерения производятся всего на двух метеостанциях: в п. Шершни каждые 6 часов и в аэропорту на метеостанции (АМСГ) Баландино, где приземные параметры измеряют каждый час для регулярной сводки погоды в коде METAR. На стационарных постах экологического мониторинга Челябинска некоторые приземные метеопараметры измеряются во время отбора проб воздуха в 7, 13 и 19 ч местного времени, кроме выходных дней. Таким образом, для валидации результатов моделирования в нашей работе использованы данные измерений приземной температуры (2 м) и скорости ветра на уровне флюгера (10 м) на метеостанции Шершни, АМСГ Баландино, на постах мониторинга № 22 (Металлургический р-н) и № 28 (Центральный р-н, Челябинский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды).

Область моделирования ограничена по широте $54^{\circ} \div 56^{\circ}$ с.ш. и по долготе $60 \div 63^{\circ}$ в.д. (домен 1), и включает г. Челябинск и окружающие его территории (домен 2) (рис. 1). Разрешение модели по горизонтали со-

ставляет 6000 м для внешнего домена (d1) и 1200 м для внутреннего (d2). Пространственно-временные характеристики всех вариантов расчета представлены в табл. По вертикали было задано 34 σ -уровня, 7 из которых находятся в нижнем приземном слое 1 км.

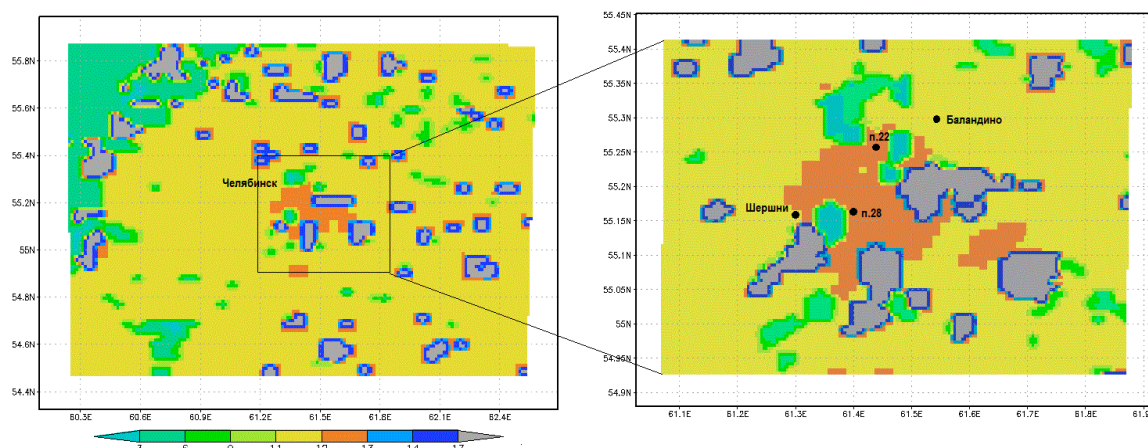


Рис. 1. Фрагмент области моделирования, содержащий территорию города, с указанием типов землепользования. Обозначения соответствуют принятым в модели WRF категориям: 13 – городская застройка; 12 – пашня, 6–7 – залежи, покрытые кустарником и т.п., 10–11 местности, занятые луговой растительностью, заболоченные земли; 1–2, 3–4, 5 – хвойный, лиственный и смешанный лес, 17 – водные объекты

Таблица

Характеристики случаев СЭЗ и результаты моделирования

1	Даты моделирования	28.01.09	11–12.02.09	18.02.09	21.02.09	25.02.09
2	период моделирования	28.01 00:00 – 29.01 05:00 30 ч	11.02 00:00 – 13.02 05:00 54 ч	18.02 00:00 – 19.02 05:00 30 ч	21.02 00:00 – 22.02 05:00 30 ч	24.02 05:00 – 26.02 23:00 66 ч
3	синоптика	МГП*	МГП, прямолинейные изобары	гребень	антициклон	гребень
4	сумма баллов СЭЗ [2]	16	23+14=37	14	16	12
5	пространственное разрешение (d1, d2)	6000, 1200	6000, 1200	6000, 1200	6000, 1200	6000, 2000
6	WRF vs. Баланд. коэфф. корр. $t_2 / ws10$	0,9 / 0,9	0,9 / 0,6	0,3 / 0,4	0,9 / 0,7	0,5 / 0,6
среднее за период изм. – WRF на пунктах наблюдения t_2 , °C / $ws10$, м/с (в скобках указано среднее модулей разности)						
7	п. 28(МТП)	3,4 / -2,3	2,5 / -2,7	2,3 (3,5) / -4,3	нет изм.	3,8 / -1,8
8	п. Шершни	-1,9 / -1	4,6 (4,9) / -0,7 (1,2)	3,0 (3,3) / -2,6	3,7 / -0,1 (0,8)	5,4 / -0,7 (1,4)
9	п. 22	3,0 / -1,6	5,1 / -1,8	2,9 (3,2) / -3	4,1 / -1,6	6,6 / -1,7 (2,1)
10	п. Баладино	-4,4 / 0,2	1,3 (3,1) / 0,3 (1,7)	-2,1 (4,3) / -1,7	2,4 / 0 (0,6)	3,8 (3,8) / -0,7 (1,2)
средняя приповерхностная температура за период по модели, °C						
11	Шершни	-11	-11,2	-12,1	-18,2	-14,5

* – малоградиентное поле повышенного давления.

3. Результаты и анализ. Результаты моделирования имеют временной шаг 1 час. Измерения на постах мониторинга производятся 3 раза в сутки в 7, 13 и 19 ч местного времени. В эти же часы взяты данные моделирования и составлены абсолютные разности между измеренными и рассчитанными метеопараметрами. Для метеостанции Шершни имеются данные измерений уже 4 раза в сутки, а на метеостанции Баландино данные измерений поступают раз в час.

Для оценки близости результатов вычисления метеорологических величин с помощью модели WRF и измерений на метеостанциях и постах были рассчитаны разности между прогнозируемыми приземной температурой и скоростью ветра и результатами наблюдений (табл. 1). В строках 6–10 курсивом выделены значения, относящиеся к скорости ветра. В скобках указаны средние значения абсолютной разности измеренных и рассчитанных величин, поскольку в некоторые сроки измерений величина по модели меньше рассчитанной, т.е. разность по измерениям и модели отрицательна.

В целом модель хорошо описывает основные тенденции изменения температуры и скорости ветра в течение указанного периода наблюдений. Однако воспроизводятся не все особенности их временного хода.

Для *валидации модели* были рассмотрены следующие характеристики:

1. Коэффициенты корреляции между измерениями температуры и ветра на метеостанции Баландино демонстрируют значимую связь между измерениями и расчетами. Для температуры воздуха корреляция для всех случаев выше, чем для скорости ветра. Коэффициенты имеют достаточно высокое значение (табл., строка 6), за исключением 18 февраля, что может быть связано с какими-то неучтенными для данного конкретного случая особенностями конфигурации модели.

2. Среднее за период моделирования значение разности приземной температуры воздуха и скорости ветра, измеренных на пунктах наблюдения и рассчитанных с помощью модели. В ряде случаев измеренные величины превышают смоделированные, в ряде случаев – наоборот, поэтому отдельно определялись средние значения модуля разности значений, которые указаны в табл., строки 7–10 в скобках. Средние значения разностей температуры в большинстве случаев положительны, а скорости ветра – отрицательны. Это означает, что при данной конфигурации модель занижает температуры приповерхностного слоя воздуха внутри города и завышает скорости ветра, рассчитанные на уровне флюгера. Из таблицы видно, что в пунктах измерения, расположенных в пригороде (Шершни, Баландино), встречаются случаи, когда модель завышает измеренные температуру и занижает скорость ветра.

Разность измеренной и рассчитанной температурой по пунктам города варьирует от -4,4 до 6,6 °С при среднем значении 3,1 °С, а скорости ветра от -4,3 до 2,1 м/с при среднем -0,8 м/с.

Для изучения острова тепла г. Челябинска в холодный период года были рассмотрены следующие характеристики.

1. *Интенсивность острова тепла*, т.е. разность температур в черте города и его пригородах. В качестве репрезентативной точки был выбран п. 22, расположенный в центре промышленного Metallургического района. Температура приповерхностного слоя воздуха, измеренная и рассчитанная в этой точке, сравнивалась с температурами в других точках, расположенных как в черте города, так и в его наветренной и подветренной части (в соответствии с розой господствующих ветров). Результаты нагляднее всего представить на графике, используемом в данной статье. На рис. 2 показан временной ход интенсивности ГОТ как разности температур между п. 22 и точками, где расположены метеостанция Шершни, п. 28 (Челябинский гидрометцентр, обозначенный на рисунке как МТП) и п. Баландино (аэропорт). Вертикальными линиями указана интенсивность ГОТ по данным измерений в тех же точках.

На рис. 2 сведены все случаи моделирования ГОТ холодного периода. Максимальной интенсивности ГОТ достигал в периоды с минимальными скоростями ветра, отсутствием вертикального и горизонтального перемешивания воздуха и составил $6,6^{\circ}\text{C}$ 12 февраля в 01:00 и $7,1^{\circ}\text{C}$ 18 февраля в 08:00 местного времени. В первую очередь отметим, что как по данным измерений, так и по данными моделирования, хорошо выделяется суточный ход ГОТ. Он достигает максимальных значений, как правило, во второй половине дня, в вечерние часы и ослабевает в середине ночи. Очевидно, в холодный период года это связано в первую очередь не с притоком солнечной радиации, а с усилением хозяйственной деятельности и транспортной активности в течение рабочего дня и вечера, т.е. с антропогенными источниками тепла. Напомним, что в статье рассматриваются дни и периоды с экстремальным загрязнением воздуха, когда максимум загрязнения приходится на последнюю часть застойного периода в приземном слое воздуха. Поэтому в конце каждого периода, как видно на рис. 2, как правило, ГОТ ослабевает в связи с изменением синоптической ситуации, усилением ветра и т.п.

Если сравнивать интенсивность ГОТ по наблюдениям и модели, то можно увидеть, как отмечалось выше, что модель склонна занижать приземную температуру воздуха, и по измерениям интенсивность ГОТ выше, чем по модели. При этом и по измерениям, и по модели интенсивность ГОТ имеет положительный знак в сравнении с метеостанцией Шершни, расположенной в наветренной части города, в нескольких километрах к юго-западу от Metallургического района. В то же время сравнение с метеостанцией Баландино, которая находится ближе к п. 22 и с «подветренной» стороны города, дает отрицательные величины, т.е. модель «смещает» остров тепла на северо-восток, в сторону Баландино, что хорошо видно на рис. 3.

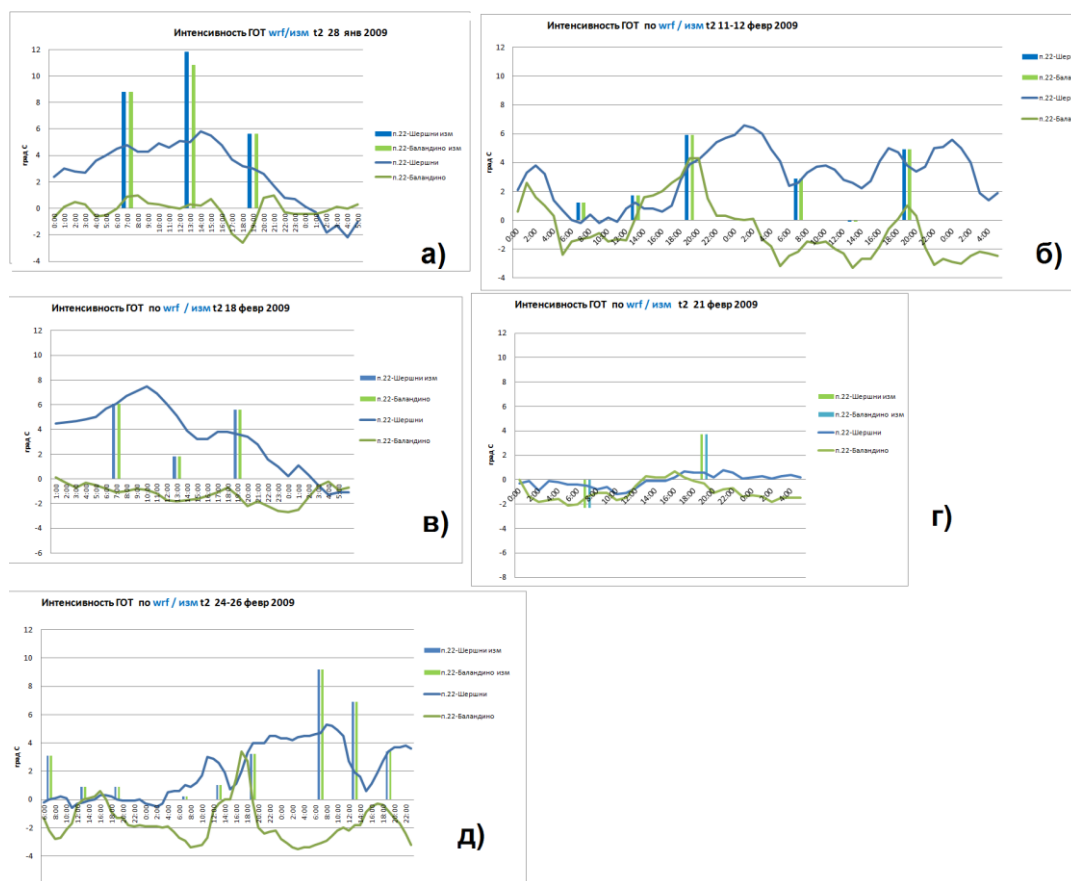


Рис. 2. Временной ход интенсивности острова тепла по расчетам для п. 22 и Шершни (синий) и Бalandино (зеленый). Столбцы – по данным измерений. Даты моделирования а) 28.01.2009; б) 11–12.02.2009; в) 18.02.2009; г) 21.02.2009; д) 25.02.2009

Абсолютные значения величины ГОТ отличаются от одного случая к другому. Например, для более низких фоновых температур воздуха, интенсивность ГОТ небольшая, не превышает 3,7 °C по измерениям и 0,6 °C по модели (21 февраля).

2) *Пространственная конфигурация ГОТ.* На рис. 3 приведен пример пространственного распределения области повышенных приземных температур, связанных с г. Челябинском т.н. температурная аномалия. На рис. 3 визуализирована разность температуры в каждой точке области моделирования и среднего значения по этой области. Таким образом, можно увидеть, как меняется положение и интенсивность острова тепла во времени и в зависимости от направления воздушных потоков. Например, в течение периода моделирования с 24 февраля 05:00 до 26 февраля 23:00 происходило изменение направления приземного ветра с северо-западного на западный и юго-западный, почти южный. Как видно на рис. 3а, 25 февраля в 10:00 местного времени остров тепла имеет конфигурацию, вытянутую с запада на восток, а уже через сутки (рис. 3б), 26 февраля в 08:00 изотермы вытянуты с юго-запада на северо-восток. Наибольший градиент температур находится на наветренной части ГОТ.

На рис. 3а, б показаны изолинии рельефа – изогипсы – которые указывают, на каких отметках высот расположен город и окружающие его водоемы, долина реки Миасс. Наибольшие контрасты температур связаны с центром, а также северной и юго-восточной частями города, где расположены основные промышленные предприятия.

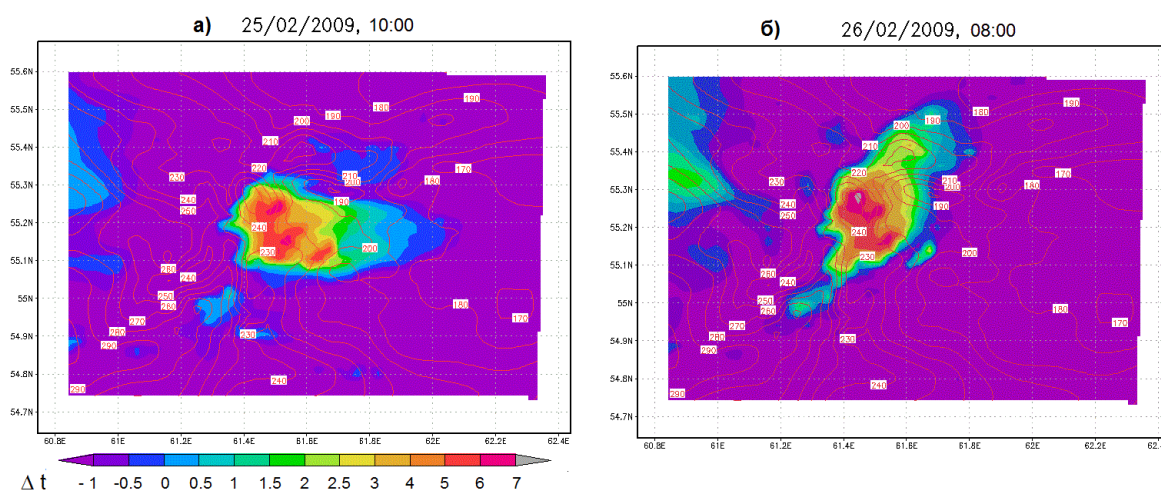


Рис. 3. Горизонтальная протяженность острова тепла г. Челябинска в различные периоды экстремального загрязнения. Конфигурация ГОТ меняется в зависимости от направления приземного ветра. Цветом выделены различная интенсивность ГОТ Δt , °C. Указаны изолинии рельефа в метрах над у.м.

Вместе с тем в модели подстилающей поверхности Noah LSM [4], которая используется для моделирования острова тепла среди различных типов поверхности, есть и тип «поверхность города», для которой используются единые значения шероховатости, альбедо, доля растительности и др. для всех городов, без учета географических особенностей. Однако только учета типа подстилающей поверхности недостаточно. Для этого мы дополнительно используем параметризацию приземного пограничного слоя BEP. Взаимодействие с моделью Noah LSM (а значит, WRF) происходит через процент городского покрытия ячейки сетки моделирования. Раздельно учитываются потоки тепла от поверхностей разного типа (стены, крыши, дороги). Для параметризации BEP при включении в модель WRF по умолчанию используются морфометрические параметры застройки, *единые для всех городов*. Таким образом, на результаты нашего моделирования для Челябинска влияют такие индивидуальные характеристики территории, которые включены в модель, как рельеф местности, категории землепользования и пространственное разрешение геоданных. При этом был использован набор геоданных MODIS-21 с 21 категорией землепользования, где на городскую поверхность отводится только 1 категория. Максимальное разрешение этих данных –

30 угловых секунд, что для территории Челябинска соответствует 500 м в направлении запад–восток и 900 м юг–север.

Моделью WRF предусмотрено использование данных о поверхности города более высокого разрешения: высота зданий, их распределение по районам города, типы застройки в разных частях города, ширина и ориентация улиц и т.д. При использовании такого уточненного набора данных возможно построение индивидуальных особенностей острова тепла Челябинска. А пока что на его конфигурацию основной отпечаток накладывают рельеф местности, общая площадь городского покрытия и использование стандартизированных морфометрических параметров застройки для параметризации ВЕР.

Получение данных более высокого разрешения можно поставить как цель будущей работы.

4. Заключение. В результате исследования пяти случаев экстремально высокого загрязнения приземного слоя воздуха над Челябинском в холодный период года получены количественные характеристики городского острова тепла, такие как его интенсивность, которая может достигать 7 °С. Ввиду ограничений пространственного разрешения модели температура приземного слоя воздуха оказывается заниженной в результате расчетов, а скорость ветра – завышенной. Конфигурация и пространственная протяженность ГОТ определяется размерами города и рельефом местности, по крайней мере, пока в качестве геоданных используется набор MODIS-21, куда не включены детализированные базы данных высокого разрешения.

Библиографический список

1. Ленская, О.Ю. Численное моделирование характеристик пограничного слоя атмосферы крупного промышленного города (на примере г. Челябинска) / О.Ю. Ленская., С.М. Абдуллаев., А.И. Приказчиков, Д.Н. Соболев // Вестник ЮУрГУ. Серия 2Вычислительная математика и информатика2. – 2013. – Т. 2. – № 2. – С. 65–82.
2. Абдуллаев, С.М. К вопросу объективного определения случаев экстремального загрязнения городской атмосферы (на примере Челябинска) / С.М. Абдуллаев, Е.А. Напольских, О.Ю. Ленская // Наука ЮУрГУ. Материалы 67-й научной конференции. Секция естественных наук. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2015. – URL: <http://dspace.susu.ac.ru/xmlui/handle/0001.74/5355>.
3. Ленская, О.Ю. Предварительные результаты валидации модели атмосферного приземного слоя г. Челябинска в дни с экстремальным уровнем загрязнения / О.Ю. Ленская, С.М. Абдуллаев // Наука ЮУрГУ [Электронный ресурс]. Материалы 68-й научной конференции. Секция естественных наук – Электрон. текст. дан. (7,66 Мб). – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2016. – С. 168–175.
4. The Community Noah Land-Surface Model (LSM): User's Guide. – URL: ftp://ftp.emc.ncep.noaa.gov/gcp/ldas/noahlsn/ver_2.7.1/.

[К содержанию](#)

ВЫСШАЯ МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКАЯ ШКОЛА

УДК 006.027 + 658.516

К ВОПРОСУ О СОВРЕМЕННЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ В ОБЛАСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ СТАНДАРТИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ

Г.Д. Аналькова

Выполнен анализ современных направлений в области национальной стандартизации промышленного производства, в том числе в условиях импортозамещения. Показано, что организационно-функциональная структура системы стандартизации нуждается в модернизации, одним из основных аспектов которой является содействие взаимопроникновению технологий, знаний и опыта, накопленных в различных отраслях экономики, установление единых требований к продукции на экспортных рынках. На примере Ассоциации «Объединение производителей, поставщиков и потребителей алюминия» и технического комитета Росстандарта ТК 099 «Алюминий» показаны тенденции многоуровневого системного подхода одного из основных элементов экономики качества – стандартизации. Показана целесообразность взаимодействия технических комитетов в сфере общих интересов при разработке документов в области национальной стандартизации.

Ключевые слова: стандартизация, экономика качества, сфера общих интересов.

В научном сообществе уделяется большое внимание направлению экономики качества. Речь идет о системном подходе, в котором элементами системы являются стандартизация, метрология и управление качеством, что предусматривает совершенствование всех производственных и управленческих решений, внедрение современных методов управления качеством, основанных на международных стандартах ИСО [1].

В этой системе стандартизация является регулятором процессов совершенствования технического и технологического производства [2].

Современные тенденции в технологии производства характеризуются интенсификацией процессов и существенным увеличением мощности модернизируемых и вновь проектируемых видов оборудования, что ведет к соответствующему повышению требований к качеству на всех этапах формирования продукции. Поиск многоуровневой системы управления качеством в современных условиях играет ключевую роль и становится актуальной проблемой [1–2].

Анализ взаимодействия науки и техники в современных научно-технических проектах выявляет особую роль организации и управления прикладных исследований и технических разработок проектов, когда от чистой науки осуществляется переход к управлению и организации различных типов деятельности: научной, проектной, технической [3].

Результаты такой деятельности отражаются в национальной системе стандартизации, включающей в себя технические стандарты общего назначения, стандарты по охране здоровья, другие системы стандартизации. Каждое направление ведет соответствующий технический комитет. Вместе с тем организационная и функциональная структуры системы стандартизации нуждаются в модернизации, направленной на содействие взаимопроникновению технологий, знаний и опыта, накопленных в различных отраслях науки, техники, экономики, формирование идентичных требований к продукции на внешнем и внутреннем рынках [2].

Анализ современных направлений развития экономики качества показывает наличие тенденций к укрупнению и многоуровневой системе оценки эффективности производства. Так, в пищевой промышленности одним из важных направлений обеспечения продуктовой безопасности и качества пищевых продуктов рассматривается создание эффективного оптового звена для оперативного сбыта продукции на внутреннем рынке, формирование экономических связей между предприятиями в сфере производства и обращения пищевых продуктов в современном техническом, технологическом и логистическом исполнении. В условиях экономических санкций и нестабильности на внешнем рынке особую роль приобретает эффективное взаимодействие органов государственного регулирования, бизнеса и науки [4].

Одним из направлений многоуровневой системы является взаимодействие технических комитетов при разработке документов в области национальной стандартизации в соответствии с Приказом Росстандарта от 22 мая 2015 г. № 601 [5]. Такое взаимодействие призвано обеспечить условия для осуществления согласованных решений при рассмотрении техническими комитетами нормативно-технических документов при разработке межотраслевых документов с учетом сложившейся международной практики организации работы по стандартизации

В качестве примера многоуровневой системы управления качеством в современных условиях целесообразно рассмотреть деятельность технического комитета по стандартизации Росстандарта ТК 099 «Алюминий», ведение секретариата которого поручено Объединению производителей, поставщиков и потребителей алюминия.

Ассоциация «Объединение производителей, поставщиков и потребителей алюминия» (Алюминиевая ассоциация) объединяет производителей, выпускающих алюминий и продукцию на его основе с целью расши-

рения потребления алюминия в России и повышения экспортного потенциала российских алюминиевых предприятий в условиях сложных рыночных отношений.

Основными путями достижения поставленных задач рассматривается инновационное развитие промышленности и расширение ассортимента выпускаемой продукции из алюминия, такой как кабельно-проводниковое производство, выпуск слитков малого диаметра для производства алюминиевого профиля, сплавы для дисков колес, фольга для аккумуляторов и двигателей и многое другое. В рамках новых направлений намечено совершенствование нормативно-правовой базы, регламентирующей применение алюминия в различных отраслях, совершенствование образовательных программ для подготовки специалистов алюминиевой отрасли. Развитие внутреннего рынка и импортозамещение изделий из алюминия являются приоритетным направлением стратегии отрасли [6].

В рамках этих направлений технический комитет по стандартизации Росстандарта ТК 099 «Алюминий», признавая необходимость консолидации усилий в сфере общих интересов и координации действий в области национальной и межгосударственной стандартизации, заключил Соглашения с техническими комитетами в сфере общих интересов с целью обеспечения координации, взаимодействия и сотрудничества технических комитетов в смежных областях стандартизации [6].

Одним из направлений работы технического комитета является разработка дорожной карты, включающей предложения по разработке и пересмотру действующих стандартов в части расширения применения алюминия в строительстве, транспорте, машиностроении, энергетике и других отраслях с учетом приоритетных направлений современной российской экономики [6].

Ожидаемая эффективность от выполнения разработанной Алюминиевой ассоциацией программы повышения спроса на алюминий оценивается соответствующими показателями увеличения ВВП, созданием новых рабочих мест, увеличением объемов налоговых поступлений. Еще одним из ключевых проектов ассоциации планируется создание «Алюминиевой долины» в Красноярске, в рамках которого прорабатываются варианты создания особой экономической зоны и индустриального парка [7].

Таким образом, реализация многоуровневой системы управления качеством в области стандартизации, одним из основных направлений которой является расширение взаимопроникновения опыта, знаний, технологий, в сфере общих интересов, накопленных в различных отраслях экономики, формирование единых требований к продукции на внутреннем и внешнем рынках, обеспечивает эффективность промышленного производства.

Статья выполнена при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Библиографический список

1. Окрепилов, В.В. Качество на академическом уровне / В.В. Окрепилов // Стандарты и качество. – 2017. – № 3. – С. 7–10.
2. Концепция развития национальной системы стандартизации Российской Федерации на период до 2020 года (одобрена распоряжением Правительства РФ от 24 сентября 2012 г. № 1762-р).
3. Липкин, А.И. Место и роль науки в контексте технических проектов XX века / А.И. Липкин, В.С. Федоров // Российский гуманитарный журнал. – 2015. – № 5. – С. 321–338.
4. Нуралиев, С.У. О роли оптовой торговли в обеспечении продуктовой безопасности и качества пищевых продуктов / С.У. Нуралиев // Пищевая промышленность. – 2016. – № 12. – С. 20–22.
5. Приказ Росстандарта от 22 мая 2015 г. № 601 «О взаимодействии технических комитетов при разработке документов в области национальной стандартизации».
6. Алюминиевая ассоциация. – URL: www.aluminas.ru.
7. Тематическое приложение к газете «Коммерсантъ» – 2016. – № 221. – URL: www.kommersant.ru.

[К содержанию](#)

ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

МЕХАНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УДК 502.5+504.12:502.5
У746

**ДЕГРАДАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ – СОВРЕМЕННАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ
ПРОБЛЕМА ПЛАНЕТЫ**

Т.Н. Усиевич

Рассмотрена проблема деградации почв и земель, виды техногенного воздействия на грунты, охарактеризованы основные типы деградации почв и земель, даны рекомендации для решения данной проблемы.

Ключевые слова: экологическая проблема, почва, деградация, причины ухудшения качества земли, антропогенное воздействие, засоление, опустынивание.

Количество плодородных земель на нашей планете ежегодно уменьшается – это доказано многочисленными исследованиями. Учеными ориентировочно подсчитано, что на протяжении последнего века порядка четверти земель, которые пригодны для обработки, вышли из строя.

Деградация земель является одной из современных экологических проблем планеты. Под понятием деградация земель представляют процессы, которые изменяют состояние почвы, ухудшают ее функции, изменяют ее качественный состав.

Актуальной проблема деградации земли стала в XX веке, так как земледелие и животноводство достигли высокого развития. Большое количество территорий стало отводиться для выращивания урожаев, для выпаса животных. Этому способствовала вырубка лесов, изменение водных бассейнов рек и др. Все это приведет к тому, что почва не сможет давать нам урожаи, начнут исчезать многие виды растений, возникнет нехватка продовольствия и вымирание значительной части населения планеты, погибнут многие виды животных и птиц.

Почва – это самостоятельное естественное историческое органоминеральное природное тело, которое возникло на поверхности земли за счет длительного воздействия биотических, абиотических и антропогенных факторов. Состоит из твердых минеральных и органических частиц, из воды и воздуха, имеет специфические гинетико-морфологические признаки, свойства, которые создают соответствующие условия для развития и роста растений. Еще почва является одним из важнейших и незамени-

мых источников пищевых ресурсов для человека. Почва – это основное средство сельскохозяйственного производства и лесоводства. Для зданий и сооружений почва и почвообразующие породы служат грунтовыми основаниями и соответственно испытывают различные виды нагрузок [1].

Деградация почв – это совокупность процессов, которые изменяют состояние почвы, ухудшают ее функции, что приводит к утрате плодородия, к снижению природно-хозяйственной значимости земель. Существует несколько типов деградации земель: эрозия, опустынивание, засоление, загрязнение, заболачивание, истощение земли в результате длительного ее использования. Самой высокой степенью деградации земель является полное уничтожение слоя почвы.

Один из важных факторов, оказывающих негативное воздействие, – эрозия почвы, т.е. разрушение верхнего плодородного слоя грунта под воздействием природных и антропогенных сил. К быстрому истощению грунта приводит нерациональное использование земли, в результате он становится непригодным для сельскохозяйственных нужд. Под опустыниванием подразумевается процесс деградации земель, который возникает в различных уголках планеты. Причинами опустынивания в первую очередь является человеческая деятельность и глобальные климатические изменения, что становится следствием возникновения зон, где условия внешней среды аналогичны пустынным. Засоление почв – это покрытие почвы слоем соли, которое вызвано орошением. В результате избыточного скопления электролитных солей в корнеобитаемом слое погибают сельскохозяйственные растения, снижается количество урожая и его качество [1].

Также существуют причины ухудшения качества земли, к которым относятся: активная сельскохозяйственная деятельность, засухи, наводнения, вырубка лесов, лесные пожары, использование агрохимии, захоронение химического, биологического и ядерного оружия, загрязнение бытовыми и промышленными отходами. Все причины деградации почвы вызваны антропогенной деятельностью и приводят к истощению и уничтожению земли.

Деградация почвы оказывает негативное воздействие и на здоровье человека. Потому что элементы, которые загрязняют почву, попадают в воду и в атмосферу, вызывая увеличение численности инфекционных заболеваний, достигающих масштабов эпидемий. А это приводит к преждевременной смерти и уменьшению численности населения [2].

Чтобы решить проблему, связанную с деградацией земель, нужно максимально объединить усилия большого количества людей. В первую очередь предотвращение деградации грунта регулируется международным законодательством. В каждом государстве существуют нормы и правила, регулирующие эксплуатацию земельных ресурсов [2].

Необходимо проводить мероприятия по защите против эрозии, опустыниванию и других проблем для сохранения почвы. Контролировать вырубку леса, использование почв для выращивания сельскохозяйственных культур. Применять технологии севооборота с размещением полос, находящихся по паром. Создавать участки с многолетними травами, чтобы восстановить землю.

Сохранение почв зависит от людей, которые выращивают различные культуры на земле. Состояние грунта зависит от того, какие технологии применяют.

Земля сильно загрязняется промышленными отходами, поэтому нужно сокращать количество вредных веществ, выбрасываемых в окружающую среду. Осуществлять контроль использования химических средств защиты растений и минеральных удобрений [2].

Библиографический список

1. Вальков, В.Ф. Почвоведение: учебник для вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – М.: ИКЦ «МарТ», 2004. – 496 с.
2. Рациональное использование природных ресурсов и охрана природы / В.М. Константинов, В.М. Галушин, И.А. Жигарев, Ю.Б. Челидзе; под ред. В.М. Константинова. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 272 с.

[К содержанию](#)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ В г. МИАСС

УДК 552.313

ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕВОНСКОГО ВУЛКАНИЗМА В СЕВЕРНОМ ОКОНЧАНИИ МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

Л.Я. Кабанова

В статье охарактеризованы особенности геологического строения островодужной ирендыкской формации, фрагменты которой обнажены в районе г. Миасс. Описаны лавовые потоки базальтового и андезибазальтового состава, чередующиеся с пачками тефротурбидитов. Указаны особенности строения тефротурбидитов, сделан вывод об условиях их образования. Подчеркнуты особенности состава и строения девонских формаций, возникших в разных геодинамических условиях.

Ключевые слова: лавы, тефротурбидиты, островодужный вулканизм, Магнитогорская зона, ирендыкская, карамалыташская, улутауская формации.

Северное окончание Магнитогорской зоны на Южном Урале характеризуется весьма сложной складчато-блоковой структурой, пестрым фациальным составом толщ и массивов, резкой дифференциацией пород по химизму и минералогическому составу. В районе с. Смородинка в многочисленных коренных выходах обнажаются вулканиты ирендыкской, карамалыташской и улутауской формаций девонского возраста. Породы ирендыкской формации представлены базальтами и андезибазальтами, чередующимися с осадочными и вулканогенно-осадочными слоями. Они слагают северный фрагмент Ирендыкской островной дуги, возникшей в нижнем девоне-эйфеле (D_1-e) [1].

Карамалыташская формация сложена подушечными лавами базальтового состава, по своим петрохимическим особенностям является океанической и слагает задуговые бассейны [1]. Возраст этой формации определяется как эйфель-живет (D_{1-2}) [3].

Улутауская формация представлена вулканогенными обломочными и реже лавовыми образованиями андезибазальтового, андезитового состава и вулканогенно-осадочными, вулканогенно-обломочными и осадочными отложениями. Породы формации протягиваются узкой полосой вдоль восточного склона хр. Северный Ирендык и прослеживаются в районе с. Смородинка. Возраст улутауской формации по находкам конодонтов определен как живет-ранний фран (D_{2-3}) [3].

Среди указанных выше формаций наибольший интерес представляет ирендыкская формация. Она распространена к востоку от Присакмарско-Вознесенской зоны от широты г. Гай на юге и доходит до г. Миасс. Максимальная мощность формации отмечена в районе г. Баймак, где достигает 3000–3500 м и постепенно уменьшается в северном направлении [3].

Нами в районе с. Смородинка на южном склоне г. Киселевской изучен разрез ирендыкской формации, породы которой хорошо обнажены, местами вскрыты расчистками и пробурены скважинами. О составе пород и характере их взаимоотношений позволяет судить разрез по одной из скважин, пройденный на южном склоне горы:

1. Мелко-среднепсаммитовые тефротурбидиты, содержащие обломки кристаллов пироксена размером от 0,8–1,5 мм до 0,4–0,5 мм, местами с отчетливо выраженной градиционной слоистостью – 0–20,4 м.

2. Плагноклаз-пироксеновые базальты, содержащие около 40–45 % вкрапленников пироксена и плагноклаза размером от 4,0–5,0 мм до 1,0–1,5 см – 20,4–26,2 м.

3. Дайка миндалекаменных долеритов – 26,2–30,3 м.

4. Переслаивание среднепсаммитовых, гравелитовых и грубообломочных тефротурбидитов, содержащих около 70 % обломочного материала, представленного обломками базальтов, кристаллов пироксена и остроугольных обломков кремнистых алевролитов размером до 1,2–1,5 см. Цементирующая масса мелкообломочная с примесью глинистого материала – 30,3–39,0 м.

5. Брекчия кремнистых алевролитов с редкими обломками афировых базальтов и пироксеновых и плагноклаз-пироксеновых андезибазальтов 39,0–39,6 м.

6. Пачка переслаивания брекчии кремнистых алевролитов с прослоями кремнисто-глинистых алевролитов, псаммитовых и гравелитовых тефротурбидитов 39,6–44,0 м.

7. Пачка переслаивания псаммитовых средне-мелкообломочных литокристаллокластических тефротурбидитов. Мощность прослоев 2–7 см. Встречаются редкие грубообломочные слои мощностью до 0,5 м. Породы интенсивно деформированы, эпидотизированы, хлоритизированы. К концу интервала породы представлены брекчиями с карбонатным цементом – 44,0–53,7 м.

8. Поток плагноклаз-пироксеновых миндалекаменных базальтов. Контакты с тефротурбидитами отчетливые, на контакте породы осветлены – 53,7–59,7 м.

9. Пачка переслаивания среднеобломочных и мелкообломочных тефротурбидитов с грубообломочными разностями. В середине интервала породы интенсивно деформированы, эпидотизированы, содержат тонкую вкрапленность пирита. Иногда рудное вещество концентрируется

в виде пятен и скоплений мощностью до 1–5 см, местами отмечается интенсивная гематитизация – 59,7–74,0 м.

10. Плагноклаз-пироксеновые базальты, местами интенсивно хлоритизированные с прожилковой вкрапленностью пирита и халькопирита – 74,0–86,0 м.

11. Чередование плагноклаз-пироксеновых базальтов и андезибазальтов с тефротурбидитами различной размерности. Мощность тефротурбидитов 0,2–0,3 до 10–15 м. Местами в тефротурбидитах отмечается градационная слоистость. Мощность базальтовых тел от 10–12 до 20–50 м – 86,0–165 м.

12. Диориты интенсивно хлоритизированные с тонкой вкрапленностью рудного минерала – 165,0–181,0 м.

13. Рудная зона, представленная интенсивно измененным диоритом с густой вкрапленностью пирита. В конце интервала – рудный метасоматит с вкрапленностью пирита и халькопирита – 181–232 м.

14. Гравелитовый тефротурбидит базальтового состава – 232–240 м.

15. Плагноклаз-пироксеновый базальт, интенсивно измененный, эпидотизированный, пренитизированный – 240,0–259 м.

В других скважинах, пробуренных по этой линии разреза, также вскрыты потоки лав базальтового и андезибазальтового состава, чередующиеся с лавовыми брекчиями и тефротурбидитами разной размерности. Просмотр кернa скважин и изучение петрографических особенностей пород в шлифах позволили установить, что в разрезе преобладают плагноклаз-пироксеновые и пироксеновые базальты и андезибазальты, а вулканогенно-обломочные и вулканогенно-осадочные породы, представленные тефротурбидитами, находятся в явном подчинении. Среди базальтов и андезибазальтов наряду с потоками встречаются многочисленные субвулканические тела – дайки, представленные долеритами, габбро-долеритами, диоритами. Границы раздела лавовых тел отчетливо проявлены и прослеживаются по зонам развития пород с брекчиевой текстурой, лавовых брекчий, обычно слагающих верхние части лавовых потоков или по зонам интенсивного дробления и зонам закалки. Отдельные потоки нередко разделяются тонкими слоями вулканогенно-осадочных или кремнистых пород псаммитовой и алевроитовой структуры. Характерно, что в осадочных прослоях, независимо от размерности, встречаются обломки кристаллов пироксена наряду с остроугольными обломками кремнистых алевролитов при преобладании включений лавовых вулканических пород.

К северу от г. Киселевской доля осадочного материала увеличивается и уже в 1,5–2,0 км базальты встречаются в виде редких маломощных тел. Представление о строении формации в этой части разреза дает описание линии с востока на запад:

1. Переслаивание мелко-среднезернистых тефротурбидитов с обломками плагиоклаз-пироксеновых базальтов, долеритов, кремнистых алевроитов и зерен пироксена с размером обломков от 0,5–4,0 мм до 1,0–1,5 см, сменяющихся прослоями алевро-псаммитовой и алевритовой размерности. Между псаммитовыми и алевропсаммитовыми тефротурбидитами переход постепенный, между алевропсаммитовыми и алевролитовыми – резкий. Мощность алевролитовых слоев не превышает 5–7 см. Эти слоистые породы образуют пачки с отчетливо выраженной градиационной слоистостью. Мощность слоев 3–40 м – 60 м.

2. Пироксеновые андезибазальты с порфировой структурой, представленной вкрапленниками авгита, местами замещенного актинолитом или хлоритом. Плагиоклаз во вкрапленниках не встречается, находится только в основной интенсивно измененной, хлоритизированной, эпидотизированной основной массе – 65 м.

3. Пачка переслаивания псаммитовых среднезернистых тефротурбидитов, тонких кремнистых алевролитовых и алевропилитов слойков мощностью от 1–2 до 5–7 см и редких слоев гравелитовых тефротурбидитов. Преобладают псаммитовые разности мощностью до 50–70 м – 240 м.

4. Грубообломочные тефротурбидиты, содержащие более 70 % обломочного материала. Среди обломков преобладают пироксеновые базальты и долериты (около 50 %), плагиоклазовые андезибазальты, кремнистые алевролиты. Последние благодаря светлой окраски резко выделяются на темном фоне, создавая впечатления своего обилия в породе. На их долю приходится около 5 % объема обломочного материала. Также отчетливо выделяются темные, почти черные обломки кристаллов пироксена. Обычно пироксен замещен актинолитом или хлоритом – 110 м.

5. Псаммитовые среднезернистые тефротурбидиты, аналогичные описанным в пункте 1 – 80 м.

6. Плагиоклаз-пироксеновые андезибазальты, аналогичные описанным в пункте 2, но с линзовидным прослоем грубообломочных тефротурбидитов – 75 м.

7. Грубообломочные тефротурбидиты, содержащие прослои кремнистых алевролитов мощностью от 1–5 см до 4,0–5,0 м, чередующиеся с пачками переслаивания псаммитовых средне-мелкозернистых, алевропсаммитовых и алевролитовых тефротурбидитов с отчетливо выраженной градиационной слоистостью. Мощность таких пачек 0,5–1,0 м. В грубых разностях встречаются обломки кремнистых алевролитов с отчетливо выраженной тонкой слоистостью, подчеркнутой чередованием разно окрашенных слойков. Обломки неправильной остроугольной формы размером до 5 см. Характерной особенностью в расположении обломков является их приуроченность к одной линии, которая фиксирует положение

разрушенного кремнистого слоя. Некоторые слои грубообломочных тефротурбидитов в верхних частях содержат тонкие слойки кремнистых тонкослоистых алевролитов, иногда интенсивно деформированных. Часть слоев отличается отчетливой градационной слоистостью, подчеркнутой постепенным переходом от грубого материала к тонкому – 140 м.

Этот разрез характеризуется резким преобладанием обломочного материала, слагающего тефротурбидиты псаммитовой размерности. Общая мощность ирендыкской формации в этой части разреза составляет 810 м.

Петрографический состав, характер взаимоотношения лавовых андезибазальтов и базальтов с тефротурбидитами различной размерности позволяют отметить некоторые особенности их строения. В низах разреза на южном склоне г. Киселевской преобладают пироксеновые и плагиоклаз-пироксеновые лавы базальтового и андезибазальтового состава. В них развиты прослои тефротурбидитов преимущественно псаммитовой размерности, содержащие обломки кристаллов пироксена и в обломочной, и в цементирующей части, что придает породам порфиновый облик. В верхах разреза к северу от г. Киселевской преобладают осадочно-вулканогенные породы, среди которых плагиоклаз-пироксеновые и пироксеновые андезибазальты и базальты встречаются в виде редких единичных тел. Обломки кристаллов пироксена в тефротурбидитах составляют около 5–7 % объема породы. Наряду с потоками и силами андезибазальтов присутствуют дайки пироксеновых андезибазальтов, сходные по составу с породами, слагающими лавовые потоки. Тефротурбидиты обладают признаками, характерными для пород, образованных из турбидных суспензионных потоков: наличие ритмичных слоев с градационной слоистостью; отчетливо проявленные нижние контакты ритмов с плавным переходом к кремнистому материалу в верхних частях слоев; хорошая сортировка материала, особенно отчетливо выраженная в тонких разновидностях пород. Присутствие тонких слойков, сложенных преимущественно зернами пироксена, объясняется стремлением однородных частиц к объединению в процессе донного движения при постоянной скорости потока [4]. В тонких слойках тефротурбидитов часто встречаются мелкие сингенетические деформации с резкими извилистыми границами оползневого характера. Присутствие обломков кремнистых алевролитов, фиксирующих положение первичного слоя, свидетельствует об их образовании в результате разрушения кремнистых слойков, возникающих на склоне вулканической постройки при землетрясениях, сопровождающих вулканическую деятельность [2].

Наряду с выходами пород ирендыкской формации, представляющими фрагменты Ирендыкской островной дуги, севернее г. Киселевской и в районе г. Круглой обнажаются отдельные выходы базальтовых пород ка-

рамалыташской формации. Это лавовые потоки, излившиеся в конце эйфелья-начале живета (D_{1-2}) на дно задуговых бассейнов. Они местами перекрыты отложениями кремнисто-глинистых алевролитов и яшм.

В это же время начинается формирование Магнитогорской островной дуги, в основании которой находятся потоки базальтов с повышенным содержанием магния и кальция и пониженным количеством титана и калия.

В период от среднего до верхнего девона продолжается формирование Магнитогорской островной дуги. Вулканическая деятельность в этот период менее активна, отдельные проявления представлены извержениями лав андезибазальтового, андезитового и риолитового состава, часто сопровождаемые выбросами пирокластики. Формируются вулканогенные, вулканогенно-обломочные толщи улутауской формации.

Результаты детального геологического картирования, петрографического и петрохимического изучения пород в районе г. Миасс позволили выявить особенности проявления вулканической деятельности в девонское время и уточнить строение остоводужного комплекса, представляющего фрагмент Ирендыкской островной дуги.

Библиографический список

1. Зоненшайн, Л.П. Строение и развитие Южного Урала с точки зрения тектоники литосферных плит / Л.П. Зоненшайн, В.Г. Кориневский, В.Г. Казьмин, О.Г. Сорохтин и др. // История развития Уральского палеоокеана. – М.: АН СССР, Институт океанологии им. П.П. Ширшова, 1984. – С. 3–56.
2. Кабанова, Л.Я. Раннекаменноугольные тефротурбидиты восточного склона Южного Урала / Л.Я. Кабанова // Древний вулканизм Южного Урала. – Свердловск, 1981. – С. 67–107.
3. Маслов, В.А. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала / В.А. Маслов, О.В. Артюшкова. – Уфа: Институт геологии Уфимский научный центр РАН, 2010. – 288 с.
4. Kuenen, Ph.H. Experimenta in connection with turbidity currents and clay suspensions. Colston Papers. – Univ. Bristol. London, 1965. – V. 17.

[К содержанию](#)

УДК 548.31

ВЗАИМООТНОШЕНИЕ КОЛЛЕКТИВНЫХ И ИНДИВИДУАЛЬНЫХ СВОЙСТВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ОБРАЗОВАНИИ СТРУКТУР КРИСТАЛЛОВ

Е.П. Макагонов

Структуры кристаллов определяются как результат связи координационных сфер, определяемых индивидуальными свойствами химических элементов, и координационных сфер, устанавливаемых в результате коллективного взаимодействия множества равных элементов. Объяснение такой связи в кристаллохимии производится на основе представлений о плотнейших упаковках шаров (ПУ). Но применение этого принципа ограничено. Вместо этого принципа предлагается использовать принцип эффективного покрытия кристаллического пространства взаимопроникающими координационными сферами (принцип ЭП). Принцип ЭП топологически подобен принципу ПУ, но приближен к реальности, так как объединяет структуры и антиструктуры, включая соединения с ковалентными типами связи. Структуры кристаллов определяются как суперпозиция структур ЭП. Приводятся правила построения структур минералов по принципу ЭП, их типы и примеры изменения структур ЭП под влиянием локальной координации химических частиц.

Ключевые слова: структура кристаллов, плотнейшие упаковки, координация химических элементов.

Результатом коллективного взаимодействия химических частиц при формировании кристаллов является образование пространственной решетки и структуры описываемой пространственными группами симметрии. Формирование структуры можно представить как процесс образования некоторого ядра из химических частиц и дальнейшее присоединение к ядру других частиц.

В кристаллографии и кристаллохимии этот процесс моделируется единственным принципом – плотнейшей упаковкой шаров (ПУ) и заполнением пустот между ними более мелкими шариками. На этой основе и из соотношений размеров атомов и ионов были выведены принципы устойчивости ионных структур: правила предельных отношений размеров ионов при изоморфизме Г. Магнуса, В.М. Гольдшмидта, В. Юм-Розери, Л. Полинга, А.Е. Ферсмана и др.; фактор толерантности В.М. Гольдшмидта; правила аддитивности размеров элементарной ячейки твердого раствора Л. Вегарда и др.

Л. Полинг определил виды ПУ и на их основе вывел типы катионных многогранников. Помимо размерного фактора в соотношении катионов и

анионов он показал соответствие их электростатической валентности. Для связи геометрии полиэдров с электронной структурой разработал представления о гибридизации электронных оболочек.

Н.В. Белов вывел группы симметрии плотнейших упаковок и показал, что кроме соответствующего заполнения позиций ПУ индивидуальные свойства элементов могут приводить к деформациям отдельных позиций и кристаллической структуры в целом [1].

Позднее оказалось, что значительная часть структур не соответствует классическим представлениям ПУ. Позиции ПУ часто занимают атомы и ионы одинакового или противоположного размера (антиструктуры). В структурах координированы не только катионы, но и анионы [2]. Размер атомов является условной единицей, зависящей от типа связей, от кратности связей, от координации. Кроме того, взаимодействие атомов в соединениях не ограничивается их размерами, так как распределение электронов в атомах вероятностное и не имеет определенных границ.

Целостная картина была нарушена также в связи с разработкой представлений «второй главы кристаллохимии силикатов» [3]. Определяющую роль в этой кристаллохимии стали играть крупные катионы и конструкции из групп атомов. Приоритеты в объяснении структур сместились к их конструированию из полиэдров, которые как бы изначально заданы размерами и свойствами частиц. Современные изображения структур в литературе и интернете больше показывают разнообразие архитектуры кристаллов со всеми отклонениями, чем раскрывают суть их построений.

Физически считается, что общую задачу построения структур можно решить квантово-механическими методами, основанными на решении уравнения Шредингера (из «первых принципов»). Решение задачи сводится к построению поверхностей потенциальной энергии, определяющих атомную конфигурацию. Но, помимо вычислительных сложностей, возникла проблема связи межатомных взаимодействий с внутриатомными электронно-ядерными взаимодействиями, которые на много порядков сильнее межатомных. Это привело к необходимости введения эмпирических параметров на разных этапах расчета [4].

Во второй половине прошлого века преподавание кристаллохимии начиналось с уравнения Шредингера, а позднее вновь вернулось к классическим основам [5, 6]. Принципы ПУ остаются одним из первых шагов при расшифровке структур новых химических соединений. Несмотря на ограниченность принципа ПУ его используют как полезную основу для формального описания кристаллической структуры [6].

Топологическое сходство структур и антиструктур предопределяет наличие общего принципа их организации. Общим фактором, объединяющим элементы структуры, служит координация частиц. При этом ко-

ординация определяется как свойство локальной связи и устанавливаемая коллективным поведением частиц.

В идеальном случае структура представляется как пространство, заполненное взаимопроникающими координационными сферами «s». Любая точка кристаллического пространства принадлежит как минимум двум координационным сферам. В математике такое явление называется покрытием, под которым понимается семейство непустых подмножеств $A_1, A_2, \dots, A_n$ множества A , где любые объединения подмножеств принадлежат этому же множеству. Отсюда основной принцип строения кристаллических тел определяется как эффективное покрытие пространства координационными сферами – принцип ЭП [7].

Представление о взаимопроникающих сферах использовано в работе [8]. Изображение структур с перекрытием оболочек атомов широко применяется в молекулярной химии. При расчетах энергий структур учитывается вклад частиц второй и последующих координационных сфер.

Построение структур ЭП основывается на простейших правилах: линия пересечения сфер с плоскостью есть окружность. На окружности с радиусом R можно расположить только 6 точек, равноудаленных от центра окружности и друг от друга. Описывая около каждой точки окружность того же радиуса, находим центры других окружностей. При соединении прямыми линиями точек (центров сфер), находящихся на кратчайшем расстоянии друг от друга, образуется сетка симметрии $rbmm$ с двумя ориентировками треугольных ячеек (с противоположным направлением вершин). Следующая сетка должна располагаться над центрами треугольников нижней сетки на одинаковом расстоянии от вершин треугольников, т.е. в вершинах тетраэдров – многогранников, у которых все вершины находятся на одинаковом расстоянии друг от друга.

При таком наложении сеток под половиной треугольников верхней сетки оказываются точки нижней сетки. Под другой половиной треугольников верхней сетки находятся треугольники нижней сетки, развернутые на 180° . При соединении линиями точек верхней и нижней сеток в первом случае получаются тетраэдры (с вершинами вниз), а во втором случае – октаэдры.

Результат наложения сеток совпадает с методом соединения центров шаров в ПУ, которые получаются из ЭП при радиусах шаров, равных половине радиусов первых координационных сфер. Это дает возможность использовать в ЭП следствия из ПУ. В частности, выделить основные типы ЭП: гексагональное «**hs**» (двухслойное), кубическое гранецентрированное «**fs**» (трехслойное) и политипное «**pl**ⁿs». В символах первые буквы означают соответствующий тип ЭП, последние – позиции основных координационных сфер; n – количество слоев. Как и в ПУ, в структурах ЭПП обозначим слои с кубическим окружением буквой k , с гексагональным окружением – буквой g .

Пустоты ПУ заменяются в ЭП вторичными позициями с названиями полиэдров, ограничивающих эти позиции в исходной ЭП: треугольные «t», тетраэдрические «Т», октаэдрические «о». Кроме того, выделяют дополнительные позиции между центрами основных координационных сфер «d» (гантели или уголковые), которые служат обычно для размещения частиц, связывающих первичные сферы, например, кислород в структуре кристобалита и в каркасных силикатах.

В кубическом ЭП топологическая картина, тождественная для расположения центров каждой из систем позиций, имеющих в пространстве одинаковую ориентировку центрируемых ими полиэдров: $s \equiv t_i \equiv T_k \equiv o_j \equiv d_m$, где i, k, j, m – варианты ориентировок многогранников в пространстве. Во всех вариантах кубического покрытия центры каждой системы позиций распределены по узлам гранецентрированных решеток Браве $Fm\bar{3}m$ (символ ЭП – **fs**).

В гексагональном ЭП тождественна топология позиций с одинаковым расположением центрируемых ими полиэдров s, t_i, T_k, d_m . Центры этих позиций распределены по узлам решетки с трижды центрированными гексагональными ячейками (**hs**). В распределении октаэдрических позиций « o_j » другая топология: они занимают узлы гексагональной решетки Браве симметрии $R\bar{6}/mmm$ (тип ЭП – **ho**).

При заполнении топологически равных позиций в структуре кристаллов любую из них можно принять за основную. Разные буквенные обозначения указывают место позиции по отношению к принятой за исходную. При объединении позиций их форма может изменяться.

Объединение позиций в символе структуры будем записывать в виде ряда из этих позиций. Например, в каждой из параллельных сеток, соединяющих центры основных координационных сфер в гексагональном покрытии **hs**, имеются две ориентировки треугольных позиций **ht₁₁** и **ht₁₂**. В нижних индексах первая цифра означает вариант расположения плоскостей треугольников в пространстве: в данном случае – параллельное горизонтальной плоскости. Вторая цифра показывает варианты направления вершин треугольников. При объединении по две позиции получаем следующие комбинации: **hst₁₁**, **hst₁₂**, **ht₁₁ht₁₂**.

Топологическое равенство позиций **hs, ht₁₁, ht₁₂** приводит к топологическому равенству и их комбинаций: **hst₁₁ $\equiv$ hst₁₂ $\equiv$ ht₁₁ $\equiv$ ht₁₂**. Реальный аналог этой структуры – гексагональный графит. Структура ромбоэдрического графита получается на основе аналогичного объединения кубических ЭП: **fst₁₁ $\equiv$ fst₁₂ $\equiv$ ft₁₁t₁₂**.

Представление структур в виде взаимно проникающих решеток отражает реальную действительность: при определенных условиях каждый сорт частиц создает собственное ЭП. Это подтверждается распределением не только основных кристаллообразующих частиц, но и распределением примесей, стремящихся к формированию собственных надструктур.

Многочисленные примеры суперпозиций решеток в структурах минералов приводятся в справочниках и учебниках по кристаллохимии и минералогии. Ниже приводится дополнение к известным описаниям структур и структуры, которые не связывают с принципом ПУ.

Структура корунда Al_2O_3 состоит из гексагональной подрешетки кислорода (**hs**) и подрешетки Al в виде ромбоэдрического графита (**ft₁₁t₁₂**). В структуре шпинели MgAl_2O_4 кислород слагает гранецентрированное ЭП (**fs**), а магний – структуру алмазного типа (**fT₁T₂**). Структура из алюминия в шпинели подобна распределению кислорода в структуре кристаллита.

В структуре циркона ZrSiO_4 – две катионные подструктуры алмазного типа – Si и Zr (**fsT₁ $\equiv$ foT₂ $\equiv$ fT₁T₂**). Кислород играет роль связующего элемента, который располагается ближе к атомам Si по тетраэдру с двумя ребрами, параллельными горизонтальным сторонам ячейки.

В подобной структуре шеелита CaWO_4 распределение катионов Ca и W топологически сходно с катионной матрицей циркона, но ребра тетраэдров $[\text{WO}_4]$ располагаются вдоль горизонтальной диагонали ячейки.

В структуре фторапатита $\text{Ca}_2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_3\text{F}$ катионы Ca распределяются по позициям четырехслойной ЭП с чередованием кубических и гексагональных слоев k_2 (**pl⁴**). Основные позиции в гексагональных слоях заполнены полностью, а в кубических слоях заполнение происходит по типу сеток графитового типа. При таком расположении кальция получается структура, сложенная из колонок кубооктаэдров. Анионы $[\text{PO}_4]$ занимают позиции двухслойного ЭП (**hs**), а анионы фтора распределяются в октаэдрических позициях по узлам гексагональной ячейки Браве (**ho**).

В структуре алунита $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ анионы O^- и OH^- распределяются по позициям 12-слойного ЭП с чередованием слоев $ggkk$ (**pl¹²**). Гексагональные слои сложены анионами O^- , а кубические слои – анионами OH^- . Между слоями с кислородом 1/4 часть октаэдрических позиций занимает калий. Структура ЭП калия выводится из структуры **fs**. К вершинам октаэдров $[\text{KO}_6]$ примыкают тетраэдры $[\text{SO}_4]$ в двух ориентациях (**T₁** и **T₂**), сшивая изолированные октаэдры $[\text{KO}_6]$ в единый слой. При объединении уплощенных октаэдров $[\text{KO}_6]$ с треугольниками $[\text{OH}]_3$ из верхнего и нижнего слоев координация калия увеличивается до 12, а координационный многогранник преобразуется в комбинацию тригонального скаленоида, ромбоэдра и пинакоида.

В кубических слоях алунита анионы OH^- занимают 3/4 части позиций, образуя сетки из шестиугольников и треугольников. В каждом узле сетки сходятся противоположными вершинами по два шестиугольника и два треугольника (символ Шлэфли 3636).

Из-за того, что в сетках OH^- имеются пустоты, октаэдрические позиции лишены двух противоположных вершин, поэтому вместо трех квадратных сечений у каждого октаэдра остается одно. В центрах этих квад-

ратов и располагаются атомы Al. При изображении в справочниках структуры алуниита в окружение алюминия включают кислород из соседних слоев, достраивая полиэдр до косого октаэдра.

Индивидуальные свойства частиц проявляются в химических связях частиц, в формировании комплексов в виде молекул, кластеров, фуллеренов, полимерных групп и т.п. Результатом взаимодействия является создание мотивов.

Отличие локальной координации от координации задаваемой ЭПП приводит к искажению координационных полиэдров и дисторсии структуры. Например, в каркасе коэсита fso объединяются две тождественные кремниевые подрешетки fs и fo , формирующие решетку с примитивными ячейками. Все координационные многогранники идеальной решетки fso – октаэдры. При размещении атомов кислорода на всех ребрах примитивных ячеек (позиции d) координация Si должна остаться октаэдрической. Но в реальной структуре реализуется только 4 связи из шести, поэтому у 1/3 части ребер ячеек нет кислорода, связывающего атомы Si. В результате получается, что вместо рядов кубиков в структуре образуются коробчатые ленты, связанные друг с другом, а также поперечный паркетный рисунок из Т-образных фигур. Из-за отсутствия двух вершин у октаэдрического окружения полиэдры приобретают форму вытянутых тетраэдров. В неискаженной структуре у таких тетраэдров одно из ребер должно было бы центрировано кремнием, образуя гантельные связи O–Si–O, что энергетически невыгодно. В реальной структуре атомы Si смещаются к центрам тетраэдров, выравниваются ребра. В результате гантельные связи O–Si–O преобразуются в уголкового.

Изменение формальной валентности химических элементов часто приводит к вычитанию или прибавлению дополнительных элементов. В частности, наиболее широко распространены в литосфере минералы группы полевых шпатов, у которых крупные катионы Na, K, Ca располагаются в пустотах коэситовой структуры, дополняя заряды при замене части Si^{4+} на Al^{3+} .

К искажению внешней конфигурации позиций приводит несоразмерность радиусов координационных сфер, задаваемых короткими связями частиц, и радиусов, определяемых ЭП. Для крупных катионов координация определяется окружением полостей, задаваемых мотивом структуры, либо повышается из-за включения в ближайшее окружение катионов частиц из второй координационной сферы.

Плотность покрытия между центрами частиц зависит как от эффекта перекрывания сфер, так и от распределения энергетических полей. Нежесткое закрепление атомов в позициях способствует динамичности структуры и обеспечивает колебательные процессы вплоть до температуры абсолютного нуля; облегчает явления диффузии и перестройки структуры при полиморфных превращениях.

Заключение. Структуры кристаллов с катионным центрированием и анионным центрированием рассматриваются обычно отдельно, но механизм связи общий. Как и для монокристаллических структур связь осуществляется через общие энергетические поля. Фундаментальной и экспериментальной метрической единицей в соединениях служит расстояние между центрами частиц, определяющее радиусы координационных сфер.

При значительной концентрации одинаковых частиц действует коллективный фактор – принцип эффективного покрытия пространства координационными сферами (принцип ЭП), который объединяет структуры и антиструктуры, а также соединения с одинаковыми частицами в разных позициях. Сложные структуры создаются объединением структур ЭП, характерных для каждого сорта частиц.

Физическим смыслом упорядоченности структур ЭП служат кооперативные движения частиц. Эти явления могут влиять на особенности локальной координации частиц, подчиняя ее общим движениям, как, например, молекулы H_2O в структуре льда.

Коллективный фактор обеспечивает определенную стабильность существования кристаллов. При существенной разнице координации ближних связей частиц и координации, задаваемых ЭП, симметрия структур, как правило, уменьшается. Влияние индивидуальных свойств частиц увеличивается с понижением температуры и увеличением давления, приводя к полиморфным превращениям – перестройке структур ЭП.

Плотнейшие упаковки рассматриваются в качестве модельного варианта разбиения пространства при радиусах, равных половине радиусов координационных сфер.

Библиографический список

1. Белов, Н.В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз / Н.В. Белов. – М.: АН СССР, 1947. – 238 с.
2. Кривовичев, С.В. Кристаллохимия минералов и неорганических соединений с комплексами аниоцентрированных тетраэдров / С.В. Кривовичев, С.К. Филатов. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2001. – 200 с.
3. Белов, Н.В. Очерки по структурной минералогии / Н.В. Белов. – М.: Недра, 1976. – 344 с.
4. Марфунин, А.С. Введение в физику минералов / А.С. Марфунин. – М.: Недра, 1974. – 328 с.
5. Урусов, В.С. Теоретическая кристаллохимия / В.С. Урусов. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 275 с.
6. Урусов, В.С. Кристаллохимия. Краткий курс: Учебник / В.С. Урусов, Н.Н. Еремин. – М.: Изд-во МГУ, 2010. – 256 с.
7. Макагонов, Е.П. Эффективное покрытие пространства координационными сферами – основной принцип строения и конституции минералов / Е.П. Макагонов // Минералогия. – 2015. – № 4. – С. 3–18.

8. Раменская, М.Е. Взаимодействия кристаллов со средой: структурно-геометрический анализ / М.Е. Раменская. – М.: МГУ, 2008. – 238 с.

[К содержанию](#)

УДК 903.25

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МИКРОВКЛЮЧЕНИЙ ПЛАТИНОИДОВ С ЗОЛОТЫМ РАСПЛАВОМ В ДРЕВНИХ ЮВЕЛИРНЫХ ИЗДЕЛИЯХ

А.М. Юминов, В.В. Зайков, Д.А. Жеребцов

Приведены данные о влиянии золотого расплава в древних изделиях Урала и Фанагории (Боспорское царство) на микровключения осмия, попавших из россыпного материала. Выделены первичные микровключения, по периферии которых локализуются вторичные выделения. Они были образованы из первичных в результате микродробления последних, вызванного воздействием высоких температур при плавлении золота. Во вторичных микровключениях отмечается вынос осмия, за счёт чего пропорционально повышаются концентрации иридия и рутения.

Ключевые слова: самородные сплавы осмия, рутения, рения, иридия и родия; геохимическая зональность, миграция элементов.

В последнее время появились работы, посвящённые обнаружению и исследованию микровключений зёрен платиноидов в древних золотых украшениях из Египта, Ура, Сирии, Палестины, Кипра, Крита, Лидии, Греции. [7; 6; 4; 5; 3]. В целом усилия исследователей были направлены на выявление особенностей их состава в разных археологических провинциях. С 2009 г. в Институте минералогии УрО РАН началось систематическое изучение подобных артефактов в археологическом золоте, извлечённом из курганов и захоронений Южного Урала, Алтая, Тувы, древних городов Гонур (Туркмения) и Фанагория (Причерноморье). Как показали исследования, присутствие в древних ювелирных изделиях микровключений платиноидов (в основном самородного Os–Ru–Ir в различных соотношениях) является особенностью археологических памятников, локализованных вблизи золотоносных и платиноносных гипербазитовых поясов. Размеры и морфология частиц свидетельствуют об их россыпном происхождении, а химический состав аналогичен платиноидам из золото-платиновых россыпей [2].

Анализ типоморфизма микровключений в древнем золотом расплаве позволил выделить две основные группы частиц: первичные и вторичные

[1]. Первые характеризуются относительно крупными размерами (10–100 мкм) и не содержат следов воздействия расплава (все платиноиды химически инертны и тугоплавки). Вторые сопровождают крупные индивиды и находятся в золотом расплаве на расстоянии 5–10 мкм от периферии первичных зёрен. Частицы наноразмерны (0,0п–1 мкм) и имеют крайне непостоянный химический состав. Судя по расположению и микротекстурным особенностям, их образование связано с растрескиванием первичных микровключений, вызванным воздействием золотого расплава.

Целью проводимых исследований является изучение процессов взаимодействия микровключений платиноидов с золотым расплавом в древних золотых изделиях из трех памятников: Фанагории (Причерноморье), Филипповки 1 (Приуралье) и Инской Дол (Алтай).

Задачи работ:

- определение морфологических признаков взаимодействия золотого расплава с микровключениями разнообразной морфологии, размера и состава;

- исследование изменений состава микровключений под воздействием золотого расплава.

Объекты изучения представлены фрагментами золотой фольги древних ювелирных украшений, извлеченных из археологических раскопов. Во всех образцах в разном количестве отмечено присутствие зёрен платиноидов.

Аналитические работы проводились на сканирующем электронном микроскопе Jeol JSM-7001F. Рентгенофлуоресцентный анализ осуществляли с помощью энергодисперсионного спектрометра Oxford INCA X-maх 80, установленном на этом микроскопе. Для проведения микрозондовых анализов из образцов были изготовлены специальные плоско полированные препараты. Полировка велась с помощью алмазных паст.

Первичные микровключения платиноидов в описываемых образцах представлены обломками таблитчатых кристаллов и зёрнами с различной степенью окатанности размером 50–150 мкм. Микровключения являются трёх- (Os–Ir–Ru) и, в отдельных случаях, четырёхкомпонентными (Os–Ir–Ru–Rh) «твёрдыми растворами». Химический состав первичных включений отображён в табл. 1. Согласно проведённым анализам, распределение элементов в большинстве образцов однородное, за исключением тонкой каёмки непосредственно в зоне контакта с золотым расплавом фиксируются небольшие (поперечник 0,п мкм) разрозненные участки, обогащённые иридием. Зональные зёрна встречаются редко, ширина полос, отличающихся по содержанию Ru и Ir, равна 5–6 мкм (рис. а). В составе всех первичных включений преобладает осмий, при умеренно-подчинённом содержании иридия. Количество рутения, как правило, в два-три раза меньше последнего. Родий и железо встречаются эпизодически и обнаружены только в отдельных включениях. Их концентрация находится в пределах одного процента. Особое внимание обращает на себя наличие в платиноидах серебра и золота (1,5–2,5 %). Электронномикроскопиче-

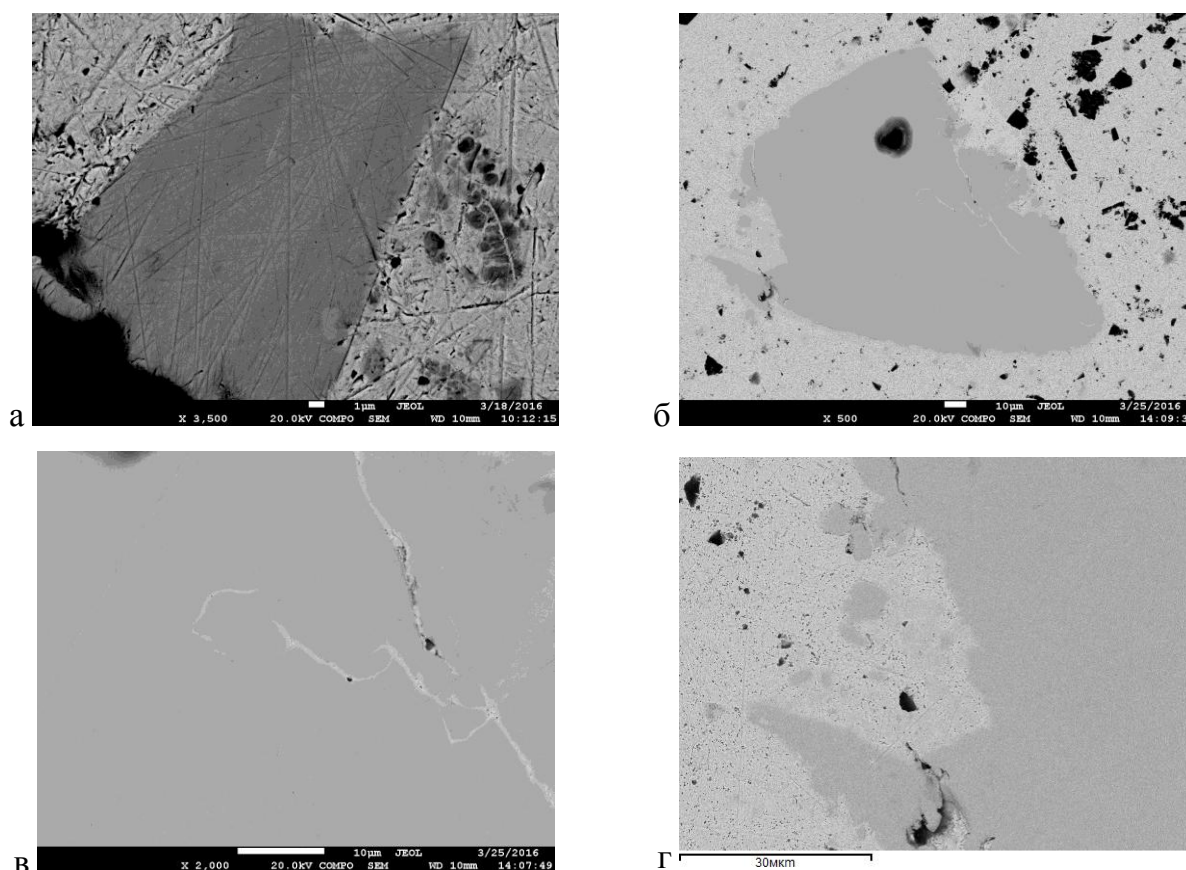
ские исследования выявили наличие в первичных включениях тонких ветвящихся золотых прожилков и просечек (рис. б, в).

Таблица 1

Химический состав первичных микровключений
платиноидов в древних золотых изделиях

№ обр.	Зерно, зона	• Содержание, мас. %							Сумма, %
		Os	Ir	Ru	Rh	Fe	Au	Ag	
160 с	зона 1	40,19	37,39	20,46	–	0,57	1,39	–	100
	зона 2	40,88	38,22	18,05	–	0,27	2,59	–	100
	зона 3	41,82	36,37	20,63	–	0,54	0,64	–	100
F7-2	зерно 1	41,00	21,50	35,90	1,30	–	0,30	–	100
ID-6	зерно 1	48,54	41,55	7,22	0,65	0,22	1,68	0,14	100
	зерно 2	47,70	42,60	7,30	0,80	–	1,50	0,10	100

Примечание: прочерком обозначены значения элементов ниже предела обнаружения прибора.



Первичные и вторичные микровключения осмия
а) Фанагория, обр. 160 с; б–г) Филипповка-1, обр. F7-2

Просечки мощностью 0,0п–0,1 мкм (в местах пересечений до 1–1,5 мкм) в основном сосредоточены по периферии зёрен и имеют непосредственный контакт с золотым расплавом. В них по сравнению с золо-

той фольгой наблюдается незначительное уменьшение пробности. Это связано с присутствием в золотом сплаве металлов платиновой группы, обусловленной «подсветкой» матрицы.

Вторичные микровключения платиноидов имеют сложную ксеноморфную форму и образуют скопления по периферии первичных микровключений (рис. г). Размер отдельных индивидов может варьировать от сотых долей микрона до 1 мкм.

Химический состав вторичных включений непостоянен и отличается большим разнообразием (табл. 2). Это характерно как для отдельно взятого зерна, так и может проявляться в пределах обособленных групп обломков, расположенных по противоположным сторонам первичного включения.

Таблица 2

Химический состав микровключений
платиноидов в древних золотых изделиях

№ обр.	Позиция участка	№ анализа	Содержание, мас. %					Сумма, %
			Os	Ir	Ru	Rh	Fe	
160с	Первичное микровключение	5	33,92	25,71	40,14	–	0,23	100
		6	37,39	25,69	36,67	–	0,25	100
		7	28,66	39,87	30,7	–	0,77	100
	Вторичные микровключения	8	5,00	66,23	28,36	–	0,41	100
		9	1,07	41,44	56,32	–	1,17	100
		10	0,63	30,37	65,86	–	3,14	100
		11	6,20	46,49	45,22	–	2,09	100
		12	1,40	46,28	48,72	–	3,6	100
		13	13,09	46,98	37,87	–	2,06	100
		21	–	37,56	56,33	–	6,11	100
		22	0,53	41,47	53,44	–	4,56	100
		23	21,49	52,54	25,82	–	0,15	100
		24	5,17	72,92	21,91	–	–	100
		25	25,89	50,32	23,79	–	–	100
		26	–	56,07	40,49	–	3,44	100
		27	10,42	43,46	40,16	–	5,96	100
		28	12,69	42,94	39,95	–	4,42	100
		29	6,06	46,71	44,43	–	2,8	100
F7-2	Первичные и вторичные микровключения	10	47,44	34,92	15,27	2,37	–	100
		11	41,05	21,68	36,05	1,22	–	100
		12	10,22	72,27	16,35	0,32	0,84	100
		13	41,75	22,46	35,79	–	–	100
		14	39,32	22,36	35,86	2,46	–	100
		15	42,01	21,45	35,38	1,12	0,04	100
		2	41,90	17,7	37,8	2,6	–	100
		3	43,10	23,4	33,5	–	–	100
		4	38,60	23,1	38,3	–	–	100
		5	36,10	22,3	38,7	2,9	–	100

Примечание: прочерком обозначены значения элементов ниже предела обнаружения прибора.

Осмий во вторичных микровключениях *трёхкомпонентных фаз* (обр. 138–160 с) в подавляющем большинстве случаев активно выносятся. Особенно это хорошо заметно на периферии мелких зёрен, где данный элемент даже может быть полностью удалён. Иридий ведёт себя более инертно, и его количество во вторичных образованиях из-за выноса осмия в небольших пределах пропорционально увеличивается. Содержание рутения во вторичных зёрнах в 1,5–2,5 раза больше, чем в первичных. Максимальные концентрации Ru в основном фиксируются по периферии включений непосредственно по кайме обломков. Подобная картина наблюдается и для распределения железа.

В *четырёхкомпонентных* платиноидах (обр. F7-2) в целом осмий ведёт себя довольно пассивно. Его содержание практически не отличается от первичного состава, за исключением единичных микровключений, в которых наблюдается либо незначительный рост, либо резкое снижение концентрации элемента. Подобным образом во вторичных включениях ведёт себя и иридий. Для него характерно относительно инертное состояние в более крупных частицах и незначительное накопление в мелких. Распределение элемента по всей площади зёрен равномерное. Концентрации рутения в крупных микровключениях практически не меняются, но с уменьшением размерности зёрен фиксируется активный вынос этой фазы, при этом концентрация Ru уменьшается в два раза. Содержание родия во вторичных микровключениях колеблется от 0,п до 3,0 %. Rh ведёт себя непостоянно, хотя в большинстве случаев фиксируется его вынос, даже более активный, чем это было замечено у рутения.

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено:

Вторичные микровключения платиноидов были образованы из первичных в результате микродробления последних, вызванного воздействием высоких температур плавления золота. Это подтверждается наличием по периферии зёрен золотых просечек с пробой, близкой к составу материнского расплава.

Во вторичных микровключениях отмечается вынос осмия, за счёт чего пропорционально повышаются концентрации иридия и рутения. С уменьшением размерности зёрен эти процессы заметно активизируются. Присутствие родия в сплаве затормаживает миграцию элементов.

Исследования выполнены при поддержке Правительства РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.А03.21.0011; и проекта УрО РАН № 15-13-456-9.

Библиографический список

1. Зайков, В.В. Влияние золотого расплава на микровключения осмия (по результатам исследования древних золотых изделий) / В.В. Зайков, В.А. Котляров, Е.В. Зайкова, И.А. Блинов, Д.Н. Галимов // Геоархеология и археологическая минералогия–2014. – Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2014. – С. 92–97.

2. Зайков, В.В. Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Центральной Евразии / В.В. Зайков, А.Д. Таиров, Е.В. Зайкова, А.М. Юминов, В.А. Котляров. – Челябинск: Каменный пояс, 2016. – 320 с.
3. Craddock, P.T. The Platinum Group Element Inclusion / A. Ramage, P.T. Craddock, King Groesus // Gold: Excavations at Sardis. London: Cambridge, 2000. – P. 234–244.
4. Ogden, J.M. The So-called Platinum Inclusion in Egyptian Goldwork / J.M. Ogden // Journal of Egyptian Archeology. – 1976. – P. 138–144.
5. Ogden, J.M. Platinum Group Inclusion in Ancient Gold Artifacts / J.M. Ogden // Journal of the Historical Metallurgical Society. – 1977. – P. 53–73.
6. Young, W.J. Application of the Laser Microprobe and Electron Microprobe in the Analysis of Platiniridium Inclusion in Gold / W.J. Young, F.E. Whitmore // Application of Science in Exanimation of Art. Boston. – 1973. – P. 88–95.
7. Young, W.J. The Fabulous Gold of the Pactolus Valley / W.J. Young // Bulletin of Boston museum of Fine Arts. – 1972. – P. 5–13.

[К содержанию](#)

УДК 553.435 +553.41

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУД С ЗОЛОТОМ КЫЗЫЛ-ТАШТЫГСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ВОСТОЧНАЯ ТУВА) ПО ДАННЫМ ФЛЮИДНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ

Н.Н. Анкушева, Р.В. Кузугет

Оценены условия формирования полиметаллических и полиметаллически-баритовых руд с золотом Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения в Восточной Туве. Кристаллизация минеральных ассоциаций происходила из водных растворов с хлоридами Na и K при давлении 0,9 кбар. Полиметаллические руды отлагались при температурах 330–230 °С из растворов с соленостью 4–8,8 мас. % NaCl-экв, полиметаллически-баритовые руды – при 250–210 °С и солености 4–7,8 мас. % NaCl-экв. Повышенные концентрации солей и присутствие калия в растворах предполагают глубинный источник минералообразующих растворов.

Ключевые слова: флюидные включения, полиметаллические руды, золото, Кызыл-Таштыгское месторождение, Тува.

Кызыл-Таштыгское колчеданно-полиметаллическое месторождение находится в 120 км к северо-востоку от г. Кызыл Республики Тува. Оно расположено в Улугуйской колчеданоносной зоне среди нижнекембрий-

ских вулканогенных отложений верхнетуматтайгинской подсвиты (ϵ_1tm_2) [5, 3]. Данная структура включает в себя Кызыл-Таштыгское, Дальнее месторождения и ряд рудопроявлений (Южное, Перевальное, Рудоносное и др.). Кызыл-Таштыгская депрессия размером 4×12 км ограничена с севера Кызыл-Таштыгским, а с юга – Караадырским глубинными разломами.

Породы в пределах рудного поля подвержены региональному метаморфизму зеленосланцевой фации, околорудные породы затронуты гидротермальными изменениями кварц-серицитовый формации. Вулканиды превращены в аргиллизиты и вторичные кварциты. Промышленное обогащение генетически связано с дацит-риолитовыми интрузиями. Все рудные тела месторождения компактно размещаются в пределах узкой полосы протяженностью 1200 м, шириной 130–250 м.

Средние содержания металлов в рудах Pb – 2,8 %, Zn – 10,3 %, Cu – 0,65 %, Au – до 2,5 г/т, Ag – до 121 г/т. Запасы месторождения категории В+С₁+С₂: Zn – 1295 тыс. т; Pb – 202 тыс. т; Cu – 166,6 тыс. т; Cd – 2,2 тыс. т, Se – 0,67 тыс. т. Запасы Au категории С₂ при среднем содержании 1,027 г/т составляют 15,4 т, Ag (48,71 г/т) – 730,6 т [6; 2].

Целью работы является установление физико-химических условий формирования полиметаллических и полиметаллически-баритовых руд с золоторудной минерализацией Кызыл-Таштыгского месторождения на основе термобарогеохимических исследований.

Флюидные включения анализировались в микротермокамере TMS-600 (Linkam) с микроскопом Olympus BX-51 в лаборатории термобарогеохимии Южно-Уральского госуниверситета (Миасс). Погрешность аппаратуры $\pm 0,1$ °C при $-20 \dots +80$ °C и ± 1 °C – за пределами интервала. Солевой состав растворов включений оценивался по температурам эвтектик [1]. Концентрации солей в растворах включений рассчитывались по температурам плавления последних кристаллов [9]. Результаты обработаны в программе Statistica 6.1.

По данным [5, 4], на месторождении выделено 6 рудных стадий (минеральных ассоциаций), золоторудная минерализация установлена в двух из них – полиметаллической и полиметаллически-баритовой (рис. 1).

Среди руд полиметаллической стадии различаются собственно полиметаллические, барит-полиметаллические, барит-доломит-полиметаллические типы. Минеральный состав руд полиметаллической стадии – галенит, халькопирит, сфалерит, пирит, доломит, кварц, барит, кальцит, хлорит, Zn-теннантит-тетраэдрит (Ag до 1,35 мас. %), электрум (мас. %: Au 67,71–39,52; Ag 60,42–32,18; Hg 0,00–0,07; Cu 0,00–0,26) $\pm$ магнезит $\pm$ кервеллеит Ag_2TeS ; полиметаллически-баритовых – барит, пирит, галенит, халькопирит, сфалерит, блеклые руды, доломит, анкерит, кальцит, золото (мас. %: Au 70,43; Ag 30,01), электрум (мас. %: Au 61,12–33,52; Ag 66,42–36,25; Hg 0,00–0,01; Cu 0,00–0,01) $\pm$ акантит Ag_2S .

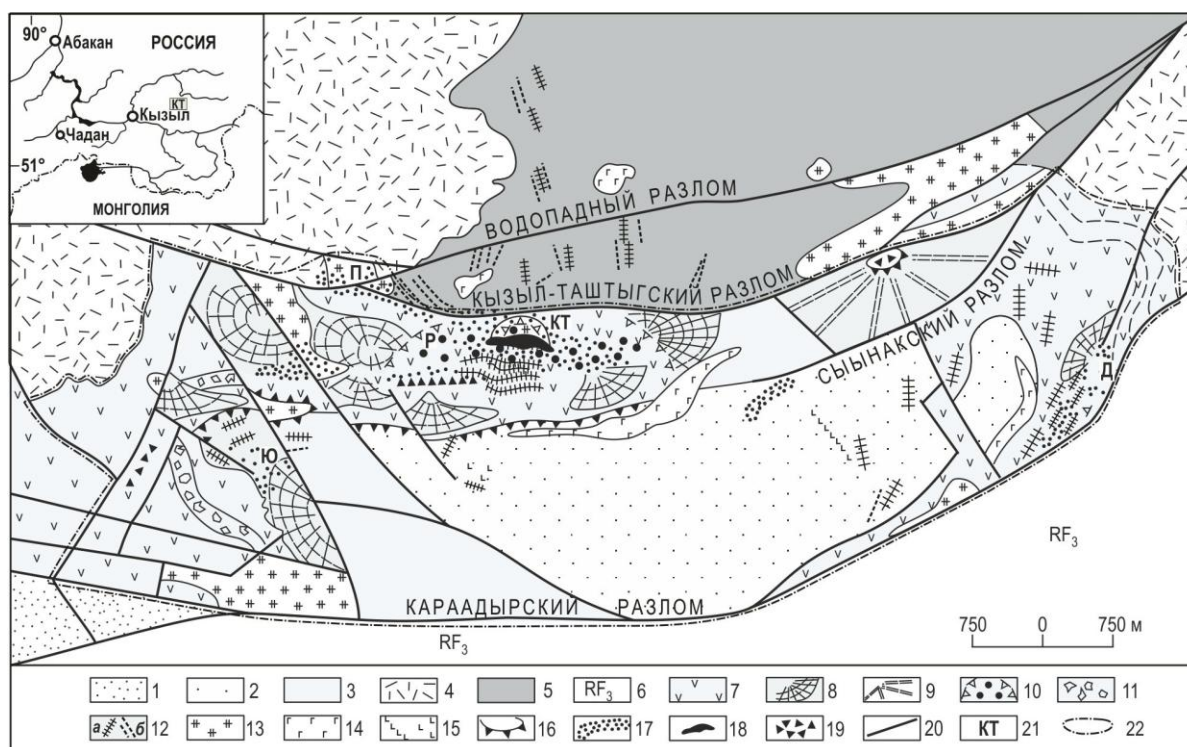


Рис. 1. Схема геологического строения
Кызыл-Таштыгского рудного поля по данным [3]:

1 – песчаники и алевролиты таштыгхемской свиты ($E_3 ts$); 2 – туфы, песчаники, алевролиты и известняки сыынакской свиты ($E_1 sn$); 3 – вулканогенно-осадочные породы верхней подсвиты туматтайгинской свиты ($E_1 tm_2$); 4–5 – вулканические поднятия: 4 – фрагменты риолит-дацитовых плато туматтайгинской свиты ($E_1 tm_2$); 5 – базальтовое плато туматтайгинской свиты ($E_1 tm_1$); 6 – рассланцованные песчаники и алевролиты охемской свиты ($RF_3 oh$); 7 – базальтовые, андезит-базальтовые покровы; 8 – риолит-дациновые купола; 9 – постройки андезит-дацит-риолитового состава; 10 – кальдерная депрессия с вулканогенно-терригенными отложениями; 11 – глыбовые брекчии, вулканоконгломератов; 12–14 – поздние субвулканические и гипабиссальные интрузии и дайки: 12 – дайки и силлы диабазов (а), риолитов и дацитов (б); 13 – крупные субвулканические и гипабиссальные интрузии риолитов, жерловины с вулканическими брекчиями кислого и смешанного состава; 14 – габбро-диабазы, габбро-диориты; 15 – долериты; 16 – надвиги; 17 – серицит-кварцевые метасоматиты; 18 – колчеданно-полиметаллические рудные тела; 19 – рудокластиты; 20 – разрывные нарушения; 21 – месторождения (КТ – Кызыл-Таштыгское, Д – Дальнее) и рудопроявления (Ю – Южное, П – Перевальное, Р – Рудоносное); 22 – контур рудного поля.

Исследованные флюидные включения двухфазные, находятся в виде отдельных включений либо образуют группы из нескольких включений, не связанные с трещинами в кристаллах. Включения имеют округлую или вытянутую форму, часто в форме негативного кристалла, размеры 10–20 мкм.

Барит-полиметаллические руды полиметаллической стадии из водно-хлоридных растворов состава $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ с соленостью 5–8,8 мас. % NaCl -экв. Температуры гомогенизации флюидных включений составляют 250–155 °С (рис. 2а, б).

Поздние руды полиметаллически-баритовой стадии образовались из растворов с солевым составом $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ и $\text{NaCl-KCl-H}_2\text{O}$ и соленостью 4–7,8 мас. % NaCl -экв. Температуры гомогенизации флюидных включений составляют 180–140 °С (рис. 2а, б). Полученные результаты согласуются с ранее полученными данными [7; 8] по флюидным включениям в барите.

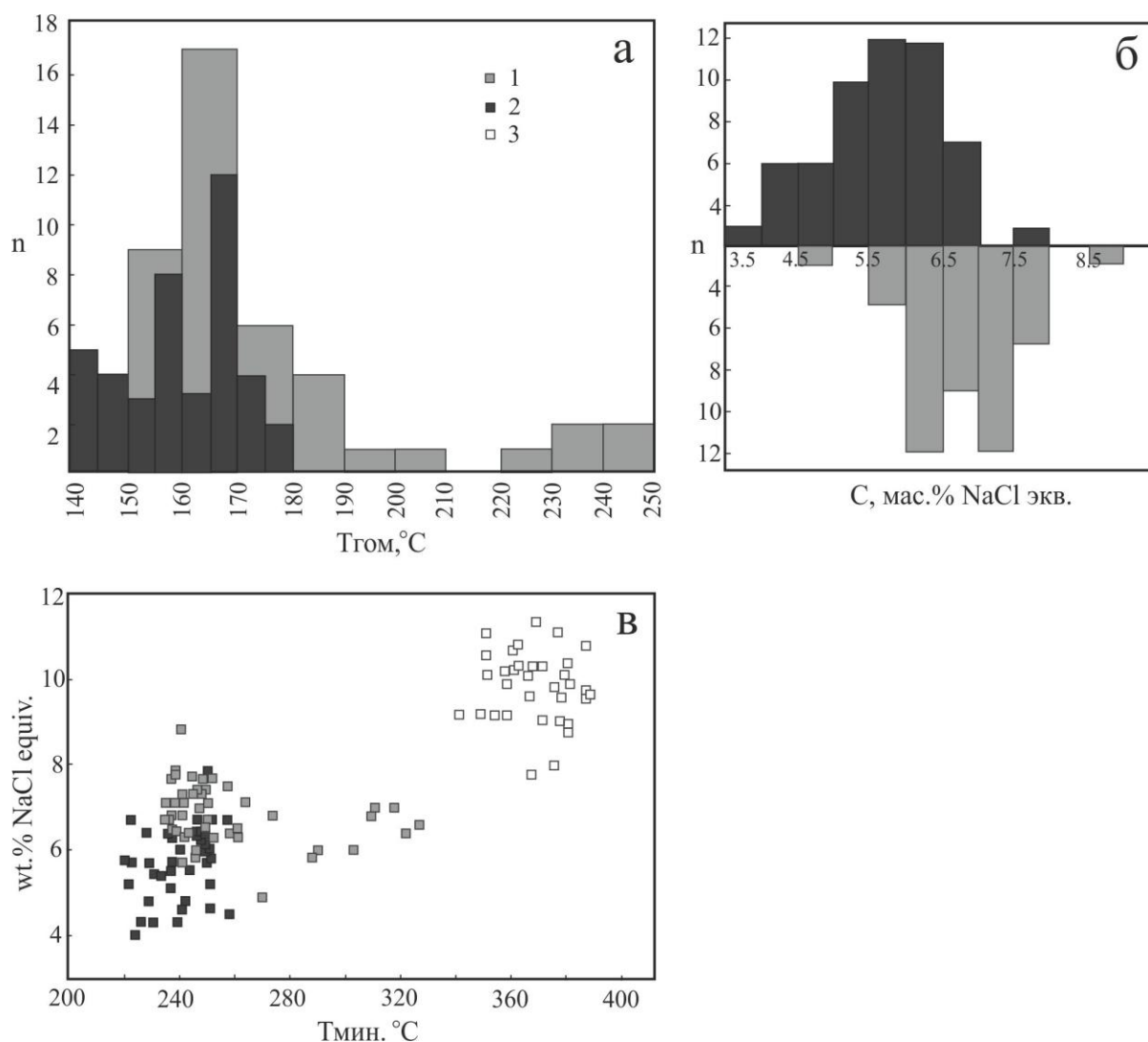


Рис. 2. Результаты исследования флюидных включений:

а, б – гистограммы значений температур гомогенизации (а) и солености (б) флюидных включений; в – соотношение температур минералообразования и солености флюидных включений.

Руды: 1 – полиметаллические, 2 – полиметаллически-баритовые, 3 – серноколчеданные.

Давление при отложении полиметаллических руд месторождения Кызыл-Таштыг оценено в 0,91 кбар [5]. Поправка на давление определялась с помощью диаграммы ΔT к температуре гомогенизации [11]. При таких давлениях и концентрации солей поправка составляет 80 °С, а температуры образования руд составляют 320–225 и 250–210 °С соответственно (рис. 2в).

По данным [10, 4], самые ранние серноколчеданные руды на Кызыл-Таштыгском месторождении отлагались $MgCl_2$ - $NaCl$ - H_2O растворами с соленостью 8–11 мас. % $NaCl$ -экв. при температурах 300–400 °С.

Таким образом, термобарогеохимические исследования руд Кызыл-Таштыгского месторождения фиксируют тенденцию понижения температур минералообразования и солености гидротермальных растворов от ранней серноколчеданной стадии к поздним полиметаллическим и полиметаллически-баритовым рудам с золотой минерализацией: от 400 до 210 °С и от 11 до 4 мас. %, соответственно. Повышенные концентрации солей и присутствие калия в растворах предполагают глубинный источник минералообразующих растворов.

Работа поддержана РФФИ (грант 16-35-00244 мол_а) и Правительством РФ (Постановление № 211 от 16.03.2013 г.), соглашение № 02.A03.21.0011.

Библиографический список

1. Борисенко, А.С. Изучение солевого состава растворов газовой-жидких включений в минералах методом криометрии / А.С. Борисенко // Геология и геофизика. – 1997. – № 8. – С. 16–28.
2. Войтов, М.Д. Анализ запасов Кызыл-Таштыгского полиметаллического месторождения для обоснования строительства рудника / М.Д. Войтов, А.А. Вети // Вестник КузГТУ. – 2012. – № 6. – С. 45–48.
3. Зайков, В.В. Вулканизм и сульфидные холмы палео-океанических окраин: на примере колчеданосных зон Урала и Сибири / В.В. Зайков. – 2-е изд., доп. – М.: Наука, 2006. – 429 с.
4. Кужугет, Р.В. Минералогия и условия образования медно-цинковых и медных руд Кызыл-Таштыгского колчеданно-полиметаллического месторождения (Восточная Тува) / Р.В. Кужугет, Н.Н. Анкушева // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12-2. – С. 414–422.
5. Кузубный, В.С. Кызыл-Таштыгский колчеданно-полиметаллический рудный узел Восточной Тувы / В.С. Кузубный, В.А. Макаров, Е.А. Калеев. – Красноярск, 2001. – 292 с.
6. Лебедев, Н.И. Минеральные ресурсы Тувы: обзор и анализ полезных ископаемых / Отв. ред. д-р г.-м. наук В.И. Лебедев; Н.И. Лебедев. – Кызыл: ТуваИКОПР СО РАН, 2012. – 284 с.
7. Симонов, В.А. Палеогеодинамические условия развития гидротермальных систем Кызыл-Таштыгского месторождения (Восточная Тува) / В.А. Симонов, В.В. Зайков, С.В. Ковязин // Металлогения древних и современных океанов – 1999. – Миасс: ИМин УрО РАН, 1999. – С. 16–23.

8. Симонов, В.А. Физико-химические параметры палеогидротермальных систем колчеданно-полиметаллического месторождения Кызыл-Таштыг, Восточная Тува / В.А. Симонов, А.В. Котляров // Металлогения древних и современных океанов – 2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 152–155.

9. Bodnar, R. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions / R. Bodnar, M. Vityk // In: Fluid inclusions in minerals: methods and applications. – 1994. – P. 117–130.

10. Melekestseva, I.Yu. Massive sulfides from ancient and modern margins of the Asian paleocean and Pacific: Textures, mineralogy and fluid inclusion data / I.Yu. Melekestseva, N.N. Ankusheva, G.A. Tret'yakov, V.V. Zaykov, V.A. Simonov // Marine minerals of the Pacific: Science, Economics, and the Environment: 37th Underwater Mining Institute. – Tokyo, 2007. – P. 177–187.

11. Potter, R.V. Pressure correction for fluid-inclusion homogenization temperatures, based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O / R.V. Potter // U.S. Geological Survey J. Research. – 1977. – Vol. 5. – P. 603–607.

[К содержанию](#)

УДК 550.42+ 550.47

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ КОРОЙ *PINUS SYLVESTRIS* В ГРАДИЕНТНОМ ПОЛЕ РАССЕЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ (КАРАБАШСКАЯ ГЕОТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА, ЮЖНЫЙ УРАЛ)

П.Г. Аминов, К.А. Филиппова, В.Н. Удачин

Дана характеристика состава сосновой коры как планшета накопителя, принимающего основную техногенную нагрузку от пылевых выпадений Карабашской геотехнической системы (ГТС). Проведена оценка распределения тяжелых металлов (ТМ) Cu, Zn, Pb, Cd и др. в коре в зависимости от содержания их в поверхностных (0–5 см) почвах – в верхних горизонтах (А₀ и А).

Ключевые слова: тяжелые металлы, градиентное поле рассеяния, кора, накопление.

Геотехнические системы (ГТС), которые можно рассматривать как нецеленаправленные эксперименты, поставленные современным промышленным производством, являются удобными природно-техногенными полигонами для исследований геохимических процессов [1]. Ярким примером такого техногенного полигона является Карабашская ГТС. Катастрофическая экологическая ситуация в районе г. Карабаш – одна из самых сложных на всей территории Южного Урала. С запуском медеплавильного завода в 1910 г. началось аэральное воздействие на экосистему.

За последние сто лет в районе сформировалась техногенная аномалия площадью более 1500 км². В настоящее время район отнесен к зоне экологического бедствия [2].

Объектом исследования послужила сосна (*Pinus Sylvestris*), произрастающая в зоне влияния Карабашского медеплавильного завода. Была отобрана сосновая кора, древесина, почвы горизонта А и А₀ как непосредственно под факелом выбросов, так и в нарастающем удалении от него по розе ветров. Опробовано 17 площадок, ближайшая из которых находится в 0,5 км от источника эмиссии, а самые дальние к С-СВ в 25 км и к Ю в 32 км. Работы на природно-техногенном полигоне дополнялись таким же комплексом исследований на фоновом участке, на удалении свыше 50 км (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения площадок опробования коры и почвы

Концентрации тяжелых металлов (ТМ) в коре представляют собой интегральную величину внутритканевого и поверхностного накопления. Уменьшение рН атмосферных осадков и почвенных растворов в зоне техногенеза приводит к увеличению подвижности практически всех элементов по сравнению с фоновыми территориями. Это приводит к накоплению ТМ в тканях растений. Особенности строения коры сосны позволяют ей накапливать значительные количества элементов поверхностно за счет механического закрепления пылевых частиц. Поэтому кора даже на фоновых территориях обогащается ТМ намного значительно больше древесины (табл. 1) и может использоваться в качестве более чувствительного и достоверного биоиндикатора загрязнения среды.

Таблица 1
Обогащение коры металлами относительно древесины

Площадка опробования	Fe	Mn	Cu	Zn	Pb	Cd
Фон ($n=8, n_1=15$)	$\frac{42^*}{524/12}$	$\frac{1}{21/18}$	$\frac{14}{19/1.4}$	$\frac{4}{29/7}$	$\frac{234}{18/0.08}$	$\frac{4}{0.4/0.08}$
№8 ($n=3, n_1=15$) (Импактная)	н.а.	н.а.	$\frac{357}{527/1.5}$	$\frac{31}{314/10}$	$\frac{489}{226/0.5}$	$\frac{15}{3/0.2}$
№7 ($n=3, n_1=10$) (Импактная)	$\frac{187}{4958/27}$	$\frac{1}{33/28}$	$\frac{589}{2864/5}$	$\frac{71}{1220/17}$	$\frac{664}{918/1.4}$	$\frac{5}{9/2}$
№5 ($n=3, n_1=9$) (Буферная)	$\frac{16}{862/54}$	$\frac{0.6}{23/41}$	$\frac{276}{318/1.2}$	$\frac{12}{135/12}$	$\frac{427}{122/0.3}$	$\frac{4}{1.7/0.5}$

$$* \frac{k}{\frac{\bar{C}_{\text{кр. кора}}^n}{\bar{C}_{\text{др. древесина}}^{n_1}}},$$

где k – коэффициент обогащения коры относительно древесины; $\bar{C}_{\text{кр.}}$ – средняя концентрация; n – количество проб;

н.а. – не анализировали.

Близкие значения коэффициента обогащения коры относительно древесины ($k = \bar{C}_{\text{кр. кора}}^n / \bar{C}_{\text{др. древесина}}^{n_1}$) для Mn свидетельствуют о преимуществе внутритканевого накопления этого металла. Аналогичная зависимость наблюдается для Cd, несмотря на различие абсолютных концентраций в тканях деревьев разноуровневых зон воздействия. Для Fe, Cu, Zn и Pb характерно значительное увеличение коэффициента обогащения коры, что может быть связано как с увеличением поступления этих элементов в ткани и откладывающихся преимущественно в коре за счет наличия здесь большого количества смол и танинов, так и за счет механического закрепления техногенных пылевых частиц на поверхности коры.

Особенности распределения ТМ в коре в зависимости от расстояния от источника эмиссии (рис. 2) таковы, что концентрации металлов резко уменьшаются по удалению от источника загрязнения. Причем это уменьшение носит логарифмический характер, то есть наибольшие кон-

центрации обнаружены в коре сосен с площадки, наиболее приближенной к заводу (0,5 км), а уже на следующих площадках концентрации резко снижаются. Этот процесс характерен для всех элементов-загрязнителей Карабашской ГТС, и даже для некоторых «нетехногенных» элементов, таких как Fe и Mn. Максимальное обогащение коры сосны аномальных местообитаний наблюдается для Cu. Коэффициент контрастности (отношение концентрации металла в ткани растения аномального местообитания к концентрации в той же ткани растения фонового местообитания) для Fe – 12,5, для Cd – 65,5, для Zn – 80, для Pb – 97, для Cu – 269.

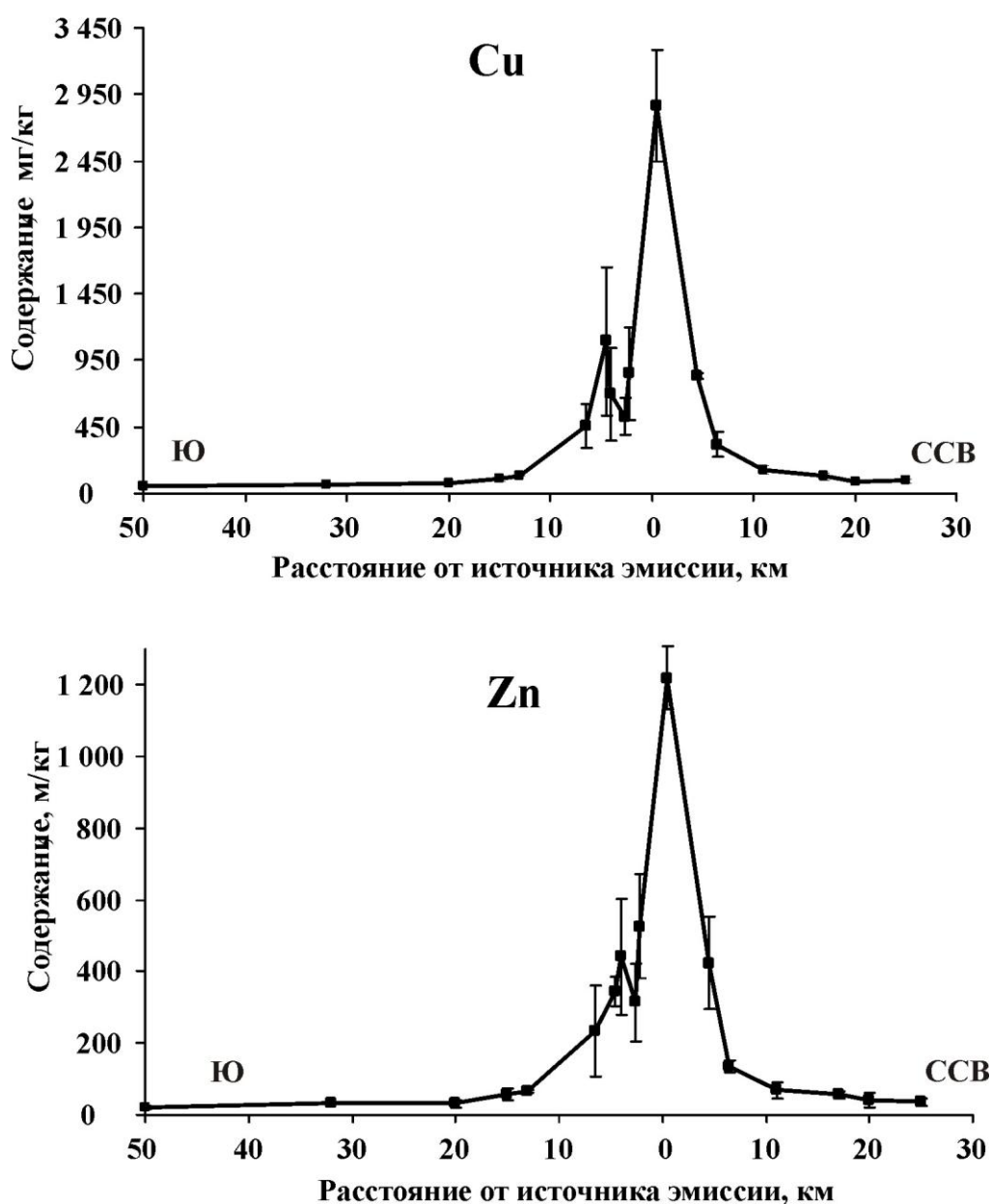


Рис. 2. Изменение содержания ТМ в коре сосны с увеличением расстояния от источника эмиссии (на примере Cu и Zn)

Полученные графики распределения ТМ в коре позволяют говорить о расширении границ зон нарушенности, установленных ранее [3] по степени выраженности вертикальной ярусности фитоценоза, подтвержденных нами при исследовании почв. При использовании коры как биоиндикатора техногенного загрязнения выявлено, что протяженность импактной зоны расширяется до 5 км, а буферной, по и против господствующего направления ветров, до 18 и 15 км (рис. 2). В результате группировки площадок опробования были получены средние значения концентраций в коре сосны, характеризующие зоны нарушенности Карабашской ГТС (рис. 3).

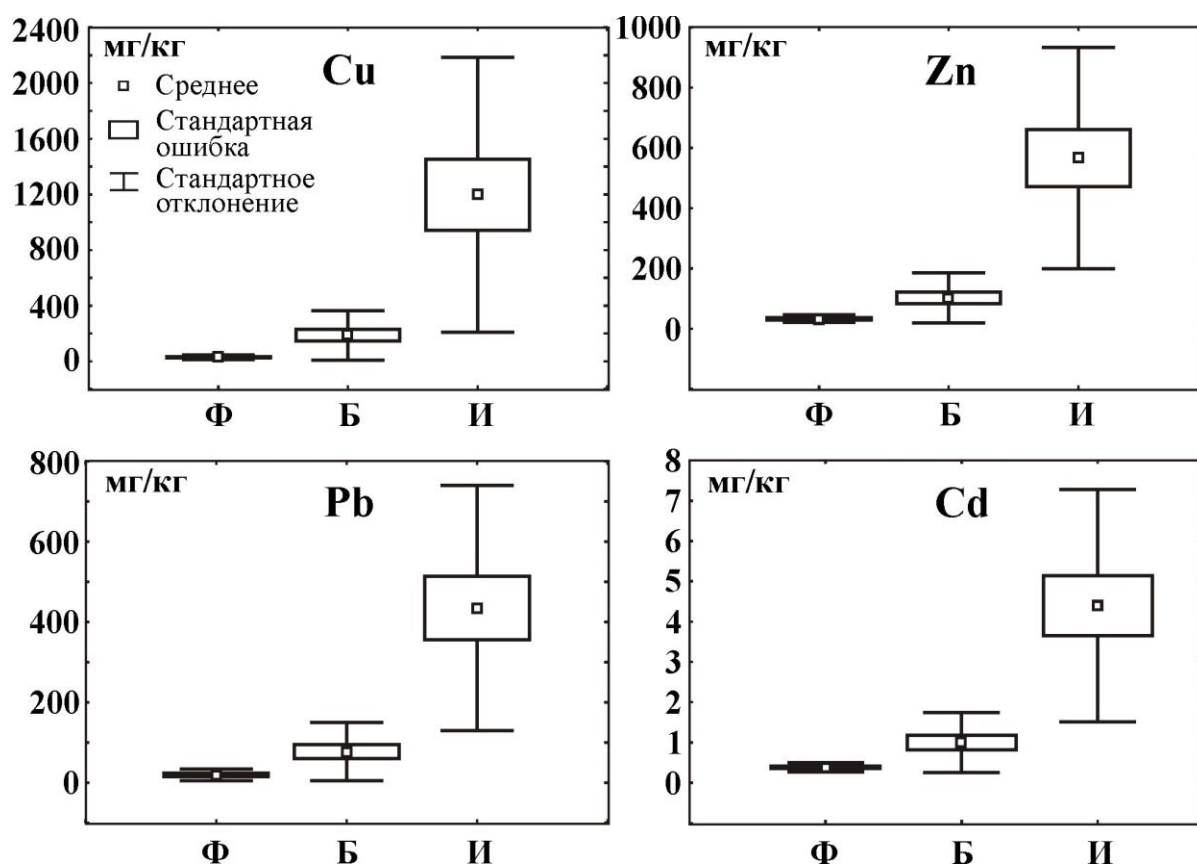


Рис. 3. Концентрации ТМ в коре сосны разных зон техногенного воздействия (Ф – фоновая, Б – буферная, И – импактная)

Вероятно, резкое снижение концентраций металлов по удалению от источника эмиссии (см. рис. 2) связано с неким подобием гравитационного барьера, который возникает вследствие специфического гранулометрического и минералого-химического состава аэральных выбросов. Форма графиков распределения Fe, Mn, Cu, Zn, Pb и Cd свидетельствует о логарифмической зависимости накопления того или иного металла от расстояния до источника выбросов. Для установления наличия такой связи применяли методы статистической обработки непараметрических дан-

ных. Таблица коэффициентов корреляции (по Спирману) показывает наличие связей как между элементами, так и от расстояния до завода (табл. 2). Наиболее тесные связи наблюдаются между главными элементами выбросов – Cu-Zn-Pb-Cd. Для них же характерны самые высокие значения отрицательной связи с расстоянием до источника выбросов ((-0,89)–(-0,93), $p < 0,05$, $n=50$). Также значимая отрицательная связь с расстоянием от источника эмиссии обнаруживается у Fe (-0,77, $p < 0,05$, $n=50$).

Несмотря на общепринятое мнение об антагонистической связи Fe с Mn [4–9], нами была установлена прямая зависимость этих элементов со значением коэффициентов корреляции от 0,37 до 0,63 ($p < 0,05$, при $n=33$ и $n=50$).

Таблица 2

Взаимосвязи между концентрациями химических элементов
в сосновой коре и расстоянием от источника эмиссии

	L, км	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cd	Li	Al
L,	1,00										
Fe	-0,77	1,00									
M	-0,55	0,63	1,00								
Cu	-0,93	0,86	0,57	1,00							
Zn	-0,92	0,82	0,63	0,96	1,00						
Ni	-0,53	0,70	0,50	0,63	0,65	1,00					
Co	-0,53	0,63	0,56	0,53	0,54	0,47	1,00				
Pb	-0,89	0,81	0,48	0,94	0,91	0,58	0,50	1,00			
Cd	-0,89	0,80	0,66	0,90	0,86	0,51	0,67	0,84	1,00		
Li	-0,29	0,41	0,55	0,35	0,35	0,58	0,33	0,23	0,34	1,00	
Al	-0,42	0,72	0,63	0,60	0,57	0,68	0,51	0,53	0,56	0,41	1,00

Это говорит о том, что увеличение концентраций Fe в коре закономерно приводит к увеличению концентраций Mn, хотя абсолютные значения концентраций Mn несопоставимо ниже концентраций Fe. Предполагаем, что это может быть связано не столько с антагонизмом этих элементов, сколько с различием степени их участия в процессах роста сосны. Увеличение концентраций Fe во внешнем слое коры (наиболее старом) свидетельствует о его слабом участии в ростовых процессах и накоплении за счет поверхностного закрепления пылевых частиц и отложения избыточно поглощенных количеств элемента в мертвых тканях. А Mn играет важную роль в процессах роста, он необходим для освобождения кислорода, а также служит активатором других ферментных систем,

влияет на фотосинтез, если содержится в слишком малых или избыточных количествах [10], поэтому склонен к накоплению и миграции в зоны роста. Это подтверждается при рассмотрении связи концентраций металлов в коре сосны конкретной площадки с подвижной формой нахождения этих металлов в верхнем слое гумусово-аккумулятивного горизонта почв этой площадки (табл. 3).

Видно, что Mn в коре не связан с уровнем подвижного Mn в почве, то есть накопление Mn происходит независимо от того, какое его количество «доступно» для растения. Значит, растение в течение всей жизни накапливает Mn в своих тканях и постоянно перераспределяет его для своих нужд, даже если наблюдается недостаток этого элемента в почве. Не обнаружены связи Mn в коре и с другими металлами в почве. А для Fe в коре связь с содержанием его в почвах значима ($r=0,63$, $p<0,05$, $n=17$). Также установлены значимые коэффициенты корреляции для Fe в коре с содержанием техногенных Cu, Zn, Pb и Cd в почвах, что может объясняться также значительным влиянием процессов поверхностного накопления в зоне техногенеза. Самая тесная связь ($r>0,70$) наблюдается для основных элементов выбросов: Cu-Zn-Pb-Cd.

Таблица 3

Взаимосвязи между концентрациями химических элементов
в сосновой коре и верхних слоях
гумусово-аккумулятивного горизонта почв

Связь ↗		Металлы в почве							
		Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cd
Металлы в коре	Fe	0,63	-0,63	0,86	0,70	-0,15	0,14	0,67	0,69
	Mn	0,47	-0,12	0,43	0,47	-0,25	-0,11	0,48	0,44
	Cu	0,62	0,53	0,93	0,87	-0,22	0,07	0,62	0,86
	Zn	0,60	-0,50	0,89	0,87	-0,25	0,03	0,62	0,85
	Ni	0,55	-0,47	0,57	0,45	-0,05	0,15	0,69	0,44
	Co	0,45	-0,49	0,70	0,60	-0,22	0,11	0,59	0,55
	Pb	0,48	-0,62	0,90	0,85	-0,30	-0,16	0,56	0,81
	Cd	0,56	-0,51	0,91	0,90	-0,32	-0,07	0,66	0,87

Таким образом, сосновая кора как динамичная часть системы дерева может использоваться в качестве более чувствительного и достоверного биоиндикатора загрязнения среды, нежели инертная древесина, поскольку концентрации ТМ в ней представляют собой интегральную величину внутриканального и поверхностного накопления. Применение сосновой коры и

хвой как биоиндикаторов позволило пересмотреть границы зон техногенного воздействия Карабашской ГТС с характеристикой уровней накопления металлов в них. Импактная зона расширяется до 5 км, а буферная – до 18 и 15 км (по и против господствующего направления ветров). Для сосняков подзоны южной тайги установлена линейная зависимость накопления металлов корой от количества подвижных форм ТМ в почвах верхнего слоя гумусово-аккумулятивного горизонта.

Исследования выполнены в рамках выполнения Госзадания по теме № АААА-А17-117041710013-2 и программы поддержки научных исследований ЮУрГУ.

Библиографический список

1. Елпатьевский, П.В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных геосистемах / П.В. Елпатьевский. – М.: Наука, 1993. – 253 с.
2. Белогуб, Е.В. Карабашский рудный район. Материалы к путеводителю геолого-экологической экскурсии / Е.В. Белогуб, В.Н. Удачин, Г.Г. Кораблев. – Научное издание. – Миасс: Имин УрО РАН, 2003. – 40 с.
3. Черненкова, Т.В. Изучение березняков разнотравных в окрестностях металлургического комбината / Т.В. Черненкова // Экология. – 1986. – № 6. – С. 65–67.
4. Барбер, С.А. Биологическая доступность питательных веществ в почве / С.А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.
5. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
6. Лукина, Н.В. Питательный режим лесов северной тайги: природные и техногенные аспекты / Н.В. Лукина, В.В. Никонов. – Апатиты: Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. – 316 с.
7. Черненкова, Т.В. Закономерности аккумуляции тяжелых металлов сосной обыкновенной в фоновых и техногенных местообитаниях / Т.В. Черненкова // Лесоведение. – 2004. – № 2. – С. 25–35.
8. Сухарева, Т.А. Химический состав и морфометрические характеристики хвой ели сибирской на Кольском полуострове в процессе деградиционной сукцессии лесов / Т.А. Сухарева, Н.В. Лукина // Лесоведение. – 2004. – № 2. – С. 36–43.
9. Михайлова, Т.А. Влияние промышленных выбросов на ассимиляционный аппарат и фотосинтез в сосновых насаждениях Восточной Сибири / Т.А. Михайлова, Н.С. Бережная, О.В. Игнатьева, О.В. Шергина, Г.Г. Суворова, Л.С. Янькова // Успехи современной биологии. – 2006. – Т. 126. – № 2. – С. 213–224.
10. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский; пер. с англ. – М.: Лесная промышленность, 1983. – 464 с.

[К содержанию](#)

УДК 549.6(575.3)

РЕДКАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ ЩЕЛОЧНОГО МАССИВА ДАРАИ-ПИЕЗ (ТАДЖИКИСТАН)

В.А. Муфтахов

Щелочной массив Дарай-Пиез (Таджикистан) имеет характерное для района зональное строение. Однако геохимические особенности, а именно, пониженное содержание глинозема, высокие содержания кремнезема, щелочей (Na, K, Li, Cs), бора, делает его уникальным. Эти особенности обуславливают обилие редкой, малоизученной и еще не исследованной минерализации.

Ключевые слова: Дарай-Пиез, Таджикистан, пегматиты, щелочной массив, редкие минералы.

Дарай-Пиезский массив щелочных пород расположен в Гармском районе республики Таджикистан, на южном склоне Алайского хребта (рис. 1).



Рис. 1. Географическое положение массива Дарай-Пиез

В центральной части с севера на юг массив рассечен ледником Дарай-Пиез. Ледник образован путем слияния восточного и западного ледников и после их слияния длина его составляет около 5 км.

Щелочные породы Гиссаро-Алая, в том числе и бассейна реки Дарай-Пиез в различной степени детальности были исследованы А.П. Недзвецким, Ю.А. Араповым, Н.С. Видякиным, А.Х. Хасановым. Первое систематическое описание, включая петрографическую, петрохимическую и

геохимическую характеристику всех типов пород, пегматитов и гидротермалитов, дано В.Д. Дусматовым. Список минералов массива расширен до 130 видов, открыто пять новых минеральных видов [2]. В последние десятилетия минералогия массива активно изучается группой научных сотрудников Минералогического музея им. А.Е. Ферсмана (Москва) – Л.А. Паутовым, А.А. Агахановым, В.Ю. Карпенко и сотрудником Института минералогии УрО РАН (Миасс) П.В. Хворовым.

Геологическое строение

В плане массив имеет изометричную форму, несколько вытянутую в северо-западном направлении и занимает площадь около 18 кв.км. В структурном плане основная масса массива сформировалась в ядре довольно крупной синклинали складки, сложенной терригенно-сланцевой толщей C_{2-3} . Северная часть, преимущественно гранитная, находится в пределах антиклинальной складки, образованной породами известняково-сланцевого состава $S_{1w} - S_{2ld}$ (рис. 2).

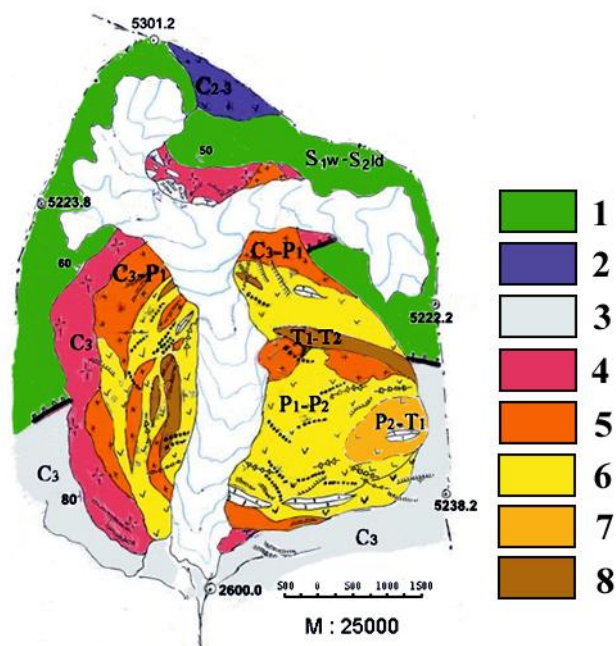


Рис. 2. Геологическая карта Дарай-Пиезского щелочного массива (по В.Д. Дусматову): 1 – сланцы; 2 – терригенно-осадочная толща; 3 – грейзенизированные двуслюдяные граниты; 4 – турмалинизированные граниты; 5 – биотитовые граниты, 6 – сиениты, 7 – фойяиты; 8 – дайковые биотит-турмалиновые граниты

Массив имеет строение, близкое к кольцевому, с асимметричным центром в восточной части массива. Западное внешнее кольцо сложено двуслюдяными турмалинизированными гранитами C_3 , затем следуют среднезернистые биотитовые граниты $C_3 - P_1$, основная масса массива представлена мелко- и среднезернистыми эгириновыми сиенитами $P_1 - P_2$,

слагающими центральную и восточную части массива, центр образован фойяитами $P_2 - T_1$ и наконец мелкозернистые граниты $T_1 - T_2$ секут все предыдущие породы. Радиологические данные указывают на возраст пород в пределах 180–150 млн лет.

Последовательность образования пород следующая: биотитовые граниты, эгириновые сиениты, гастингейтовые и биотито-гранатовые нефелиновые сиениты (фойяиты) [4].

С эгириновыми сиенитами связано образование целой серии сиенит-пегматитов эгирин-полевошпат-кварцевого состава.

Геохимическая характеристика

Дараи-Пиесский массив принадлежит к щелочно-гранитоидной формации Гиссаро-Алайской провинции, в которой выделяют 40 массивов. Однако он отличается от других массивов геохимическими и минералогическими особенностями.

Согласно данным В.В. Могаровского [5], в породах массива происходит накопление *олова, цезия, бора, лития* и, в меньшей степени, *рубидия и тория*.

Минералами-концентраторами щелочно-земельных элементов являются биотит, амфибол, калишпат и, в меньшей степени, плагиоклаз. Кларки концентрации варьируют от 1,8 до 3,6.

Цезий (Cs). Из 11 собственных минералов цезия, известных на Дараи-Пиесе, нет поллуцита ($\text{CsAlSi}_2\text{O}_6$) – наиболее распространенного минерала Cs. А.А. Агаханов [1] объясняет этот феномен низкой активностью алюминия, когда при высоких содержаниях кремнезема образуются силикаты, а не алюмосиликаты.

Уран (U) и торий (Th) не относятся к специализированным элементам данного массива, но следует отметить, что содержания этих элементов в щелочных породах в два–два с половиной раза выше кларковых (4–7 г/т; 20 г/т).

Массив отчетливо специализирован на *боре (B)*. Максимальные содержания в породах массива 100–140 г/т, при средних содержаниях – 55 г/т [3]. Выраженной связи между содержанием бора и фтора не обнаружено.

У бериллия (Be) в породах массива наблюдается повышение концентраций от ранних фаз к поздним и прямая связь с концентрациями фтора.

Минералогия

В силу геохимических особенностей Дараи-Пиесского массива, при дефиците алюминия, высоких содержаниях кремнекислоты, щелочей, бора в пегматитах наблюдается богатая редкая минерализация. Так, вместо *альбита* ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) встречается его борный аналог *ридмерджнерит* (NaBSi_3O_8), вместо *поллуцита* ($\text{Cs, Na}[AlSi_2O_6] \cdot nH_2O$) – *кирхгоффит* (CsBSi_2O_6).

В зависимости от редкометалльной специфики выделяются несколько типов пегматитов.

1. Зональные пегматиты:

- *полевошпат-эгиринового состава* – стилвеллит, согдианит, лейкофенит, тяньшанит, ридмерджнерит, кварц;
- *альбитового замещающего комплекса* – баратовит, ридмерджнерит, кварц;
- *кварц-полилитинитового комплекса* – стилвеллит, лейкофенит, баратовит, согдианит, тяньшанит, кварц, флюорит;
- *кварц-флюорит-сульфидного комплекса* – кварц, сфалерит, флюорит, кальцит;
- *минералы карбонатного комплекса* – кварц, флюорит, кальцит.

2. Незональные пегматиты: данбурит, эканит, сфен, кварц, флюорит, кальцит.

3. Нептунитовые пегматиты (рис. 3): микроклин, альбит, эгирин, в этой же зоне кристаллизовались титанит, эвдиалит, нептунит, флюорит, пироксеноид.



Рис. 3. Кристалл нептунита (фото Л.А. Паутова)

По данным [6], в магматических породах и пегматитах щелочного массива Дарай-Пиез на сегодняшний день известно 190 минеральных видов, из которых 29 впервые здесь открыты.

К впервые открытым минералам в 2017 г. добавился еще один – горбуновит ($\text{CsLi}_2(\text{Ti,Fe})\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{F,OH,O})_2$), который послан в Международную комиссию по новым минералам на утверждение.

Этот интересный район неиссякаем на новые находки.

Библиографический список

1. Агаханов, А.А. Минералогия цезия в щелочном массиве Дарай-Пиез (Таджикистан): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / А.А. Агаханов. – М., 2010. – 18 с.
2. Дусматов, В.Д. Минералогия щелочного массива Дарай-Пиез (Южный Тянь-Шань): автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / В.Д. Дусматов. – М., 1971. – 18 с.
3. Дусматов, В.Д. К геохимии бора в гранитно сиенитовых массивах р. Дарай-Пиез (Южный Тянь Шань) / В.Д. Дусматов, В.В. Могаровский, Ю.Б. Корешина // Геохимия. – 1972. – № 10. – С. 1298–1302.
4. Еськова, Е.М. Сурхобит $(\text{Ca,Na})(\text{Ba,K})(\text{Fe}^{2+},\text{Mn})_4\text{Ti}_2(\text{Si}_4\text{O}_{14})\text{O}_2(\text{F,OH,O})_3$ – новый минерал (Алайский хребет, Таджикистан) / Е.М. Еськова, В.Д. Дусматов, Р.К. Расцветаева, Н.В. Чуканов, А.А. Воронков // ЗВМО. – 2003. – № 2. – С. 60–67.
5. Могаровский, В.В. Геохимия редких элементов интрузивных пород Таджикистана / В.В. Могаровский. – Душанбе: АН ТаджССР, Ин-т геологии, изд-во Дониш, 1987. – 295 с.
6. Паутов, Л.А. Минералогия и геохимия щелочного комплекса Дарай-Пиез / Л.А. Паутов, А.А. Агаханов, В.Ю. Карпенко, П.В. Хворов // Тезисы международной научной конференции Ферсманские чтения. – М., 2008. – С. 43–47.

[К содержанию](#)

ФИЛИАЛ В г. УСТЬ-КАТАВ

УДК 512

**РЕШЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ
МЕТОДАМИ ЛИНЕЙНОЙ АЛГЕБРЫ**

Т.С. Чернова

В данной статье рассмотрены способы применения линейной алгебры для решения экономических задач.

Ключевые слова: линейная алгебра, экономика, матрицы, системы линейных алгебраических уравнений, метод Гаусса.

Применение элементов линейной алгебры, в частности матричный метод – это один из основных методов решения экономических задач.

Матрица является основным элементом цифровых фотоаппаратов, видео- и фотокамер, встроенных в мобильный телефон. В электронике – набор проводников, в фотографии – это интегральная микросхема (цифроаналоговая или аналоговая), состоящая из светочувствительных элементов, в [красильном деле](#) представлена в виде деревянной пластинки с вырезанным на ней рельефом какого-нибудь узора, которая служит для отливки металлических форм.

Пусть дана прямоугольная таблица, состоящая из m n чисел:

$$\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}.$$

Определение: таблица чисел, состоящая из m строк и n столбцов, называется матрицей размера $m \times n$ (m на n).

Впервые понятие матрица появилась в древности под названием «волшебный квадрат». Позже стала известна арабским математикам. А в конце XVII века швейцарский ученый Г. Крамер разработал свою теорию. Затем в 1751 году опубликовал метод решения систем линейных уравнений (СЛУ) «правило Крамера». Примерно в это же время появился и «метод Гаусса».

Между тем, матрицы широко применяются не только в математике, но и физике, в биологии, химии, и т.д. С помощью матриц решения систем линейных алгебраических (СЛУ) и дифференциальных уравнений становятся намного проще.

Итак, применим метод линейной алгебры для решения экономических задач.

Рассмотрим несколько примеров.

Пример 1. Дана таблица ресурсов по отраслям экономики:

Таблица 1

Распределение ресурсов по отраслям экономики

Ресурсы	Отрасли экономики (усл.ед.)	
	Промышленность	Сельское хозяйство
Энергия	5,3	4,0
Ресурсы 1	2,2	2,9
Ресурсы 2	4,1	6,0

Запишем данную таблицу в виде матрицы распределения ресурсов:

$$A = \begin{pmatrix} 5,3 & 4,0 \\ 2,2 & 2,9 \\ 4,1 & 6,0 \end{pmatrix}.$$

Пример 2. Предприятие выпускает продукцию трех видов: B_1, B_2, B_3 и использует сырье двух видов: P_1 и P_2 . Тогда нормы расхода сырья пред-

ставлены матрицей $A = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 2 & 5 \end{pmatrix}$. Элемент матрицы a_{ij} показывает, сколько

единиц сырья j -го типа расходуется на производство единицы продукции i -го вида, где $i = 1, 2, 3; j = 1, 2$. План выпуска продукции задан матрицей: $C = (100 \ 80 \ 120)$, стоимость единицы каждого типа сырья (ден. ед.) матрицей: $D = \begin{pmatrix} 10 \\ 20 \end{pmatrix}$.

Решение: Запишем матрицу затрат 1-ого сырья, для этого умножив элементы матрицы A на матрицу C , получим: $P_1 = 1 \cdot 100 + 2 \cdot 80 + 2 \cdot 120 = 500$ ед., аналогично найдем $P_2 = 4 \cdot 100 + 3 \cdot 80 + 5 \cdot 120 = 1240$ ед.

Данную запись представим в матричном виде:

$$P = C \cdot A = (100 \ 80 \ 120) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 2 & 5 \end{pmatrix} = (100 \cdot 1 + 80 \cdot 2 + 120 \cdot 2 \quad 100 \cdot 4 + 80 \cdot 3 + 120 \cdot 5) =$$

$$P = C \cdot A = (500 \ 1240).$$

Рассчитаем общую стоимость сырья: $Q = P \cdot D = 500 \cdot 10 + 1240 \cdot 20 = 29800$ денежных единиц.

Запишем стоимость сырья в матричном виде: $Q = P \cdot D = (CA)D$.

$$\text{Итак, } Q = (100 \ 80 \ 120) \cdot \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 2 & 5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10 \\ 20 \end{pmatrix} = (500 \ 1240) \cdot \begin{pmatrix} 10 \\ 20 \end{pmatrix} = (29800).$$

Можно вычислить и другим способом: вначале вычислим стоимость затрат сырья на единицу продукции:

$$S = A \cdot D = \begin{pmatrix} 1 & 4 \\ 2 & 3 \\ 2 & 5 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 10 \\ 20 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 90 \\ 80 \\ 120 \end{pmatrix}.$$

Вычислим общую стоимость сырья:

$$Q = C \cdot S = (100 \ 80 \ 120) \cdot \begin{pmatrix} 90 \\ 80 \\ 120 \end{pmatrix} = (100 \cdot 90 + 80 \cdot 80 + 120 \cdot 120) = 29800.$$

Пример 3. Предприятие выпускает продукцию трех видов: босоножки, балетки, и ботильоны, используется сырье P_1 , P_2 , P_3 . Нормы расхода на одну пару обуви и объем расхода сырья на 1 день заданы таблицей (табл. 2). Найти ежедневный объем выпуска каждого вида обуви.

Таблица 2

Нормы расхода сырья

Тип сырья	Нормы расхода на одну пару обуви, усл.ед.	Расхода сырья на 1 день усл.ед.		
		Ботильоны	Босоножки	Балетки
P_1	5	3	5	1200
P_2	3	2	3	800
P_3	1	1	2	300

Решение

Пусть предприятие ежедневно выпускает X пар обуви, где x_1 пар ботильонов, x_2 пар босоножек, x_3 пар балеток.

Составим СЛУ в соответствии с данными таблицы:

$$\begin{cases} 5x_1 + 3x_2 + 3x_3 = 1200 \\ 4x_1 + 2x_2 + 3x_3 = 800 \\ x_1 + x_2 + 2x_3 = 300 \end{cases}.$$

Применяя элементы линейной алгебры, можно решить указанную выше СЛУ следующими методами: матричным методом, методом Гаусса, методом Крамера.

Рассмотрим лишь два метода решения СЛУ: а) метод Крамера, б) метод Гаусса.

А. Решение СЛУ методом Крамера

$$\det A = \begin{vmatrix} 5 & 3 & 5 \\ 3 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 2 \end{vmatrix} = 20 + 15 + 9 - 10 - 15 - 18 = 1, \quad \det A \neq 0, \quad \text{отсюда следует, что}$$

существует решение и притом только одно.

$$\Delta x_1 = \begin{vmatrix} 1200 & 3 & 5 \\ 800 & 2 & 3 \\ 300 & 1 & 2 \end{vmatrix} = 4800 + 4000 + 2700 - 3000 - 3600 - 4800 = 100.$$

$$\Delta x_2 = \begin{vmatrix} 5 & 1200 & 5 \\ 3 & 800 & 3 \\ 1 & 300 & 2 \end{vmatrix} = 8000 + 4500 + 3600 - 4500 - 7200 - 4000 = 400.$$

$$\Delta x_3 = \begin{vmatrix} 5 & 3 & 1200 \\ 3 & 2 & 800 \\ 1 & 1 & 300 \end{vmatrix} = 3000 + 3600 + 2400 - 2400 - 4000 - 2700 = -100.$$

Вычислим значение x_1, x_2, x_3 :

$$x_1 = \frac{\Delta x_1}{\det A}, \quad x_2 = \frac{\Delta x_2}{\det A}, \quad x_3 = \frac{\Delta x_3}{\det A}.$$

$$x_1 = \frac{100}{1} = 100, \quad x_2 = \frac{400}{1} = 400, \quad x_3 = -\frac{100}{1} = -100.$$

Таким образом, получили ответ, матрица X имеет следующие значения: $X = (x_1 \quad x_2 \quad x_3) = (100 \quad 400 \quad -100)$.

Б. Решение СЛУ методом Гаусса

Составим из СЛУ расширенную матрицу и с помощью элементарных преобразований приведем ее к ступенчатому виду:

$$\begin{pmatrix} 5 & 3 & 5 & | & 1200 \\ 3 & 2 & 3 & | & 800 \\ 1 & 1 & 2 & | & 300 \end{pmatrix} \xrightarrow{\begin{matrix} \uparrow (2) + (1) \\ \uparrow (3) + (2) \end{matrix}} \begin{pmatrix} -2 & -1 & -2 & | & -400 \\ -2 & -1 & -1 & | & -500 \\ 1 & 1 & 2 & | & 300 \end{pmatrix} \xrightarrow{\begin{matrix} \times (-1) \\ \downarrow \end{matrix}} \approx$$

$$\approx \begin{pmatrix} -2 & -1 & -2 & | & -400 \\ 0 & 0 & 1 & | & -100 \\ 1 & 1 & 2 & | & 300 \end{pmatrix} \xrightarrow{\begin{matrix} \uparrow \\ \times 2 + (1) \end{matrix}} \approx \begin{pmatrix} 0 & 1 & 2 & | & 200 \\ 0 & 0 & 1 & | & -100 \\ 1 & 1 & 2 & | & 300 \end{pmatrix}.$$

Теперь составим СЛУ и вычислим значение X :

$$\begin{cases} 0x_1 + x_2 + 2x_3 = 200 \\ 0x_1 + 0x_2 + x_3 = -100 \\ x_1 + x_2 + 2x_3 = 300 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_2 = 200 - 2x_3 = 400 \\ x_3 = -100 \\ x_1 = 300 - x_2 - 2x_3 = 100 \end{cases}.$$

Ответ: $X = (x_1 \ x_2 \ x_3) = (100 \ 400 \ -100)$.

Следует подчеркнуть, что, выбирая тот или иной способ решения, мы видим один и тот же результат.

Итак, отвечая на вопрос, чему равен ежедневный объем выпуска каждого вида обуви, можем сказать, предприятие ежедневно может выпускать определенное количество пар: 100 ботильонов, 400 босоножек и - 100 балеток.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что знания элементов линейной алгебры и умение решать СЛУ, позволяет достаточно легко и быстро решать задачи по экономике.

Библиографический список

1. Красс, М.С. Математика для экономического бакалавриата. Учеб. для вузов по направлению «Экономика» / М.С. Красс, Б.П. Чупрынов. – М.: Дело, 2005. – 574 с.

[К содержанию](#)

НАУКА ЮУрГУ

Материалы 69-й научной конференции
СЕКЦИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

Текстовое электронное издание

3,12 Мб

1 оптический компакт-диск

Компьютерная верстка электронной версии *Е.В. Федоровой*
Дизайн обложки диска *А.С. Панова*

Издательский центр Южно-Уральского государственного университета

Подписано к использованию 27.06.2017.

Тираж 100 экз. Заказ 226.

454080, г. Челябинск, пр. им. В.И. Ленина, 76