

4. Криволуцкая Н.А., Рудаков А.В. Строение и геохимические особенности пород трапповой формации Норильской мульды (СЗ Сибирской платформы) // Геохимия. 2009. № 7. С. 675–698.
5. Криволуцкая Н.А. Эволюция траппового магматизма и Pt-Cu-Ni рудообразование в Норильском районе. М.: КМК, 2014. 305 с.
6. Куликова И.М., Набелкин О.А. Рентгеноспектральный микроанализ (РСМА) минералов, содержащих редкоземельные элементы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2014. № 4. Т. 80. С. 20–27.
7. Машкина А.А., Жуков Н.Н. Первая находка аллани-та-(Се) в ореолах флюидного воздействия над сульфидными каплями во вкрапленных норильских рудах // Проблемы и перспективы современной минералогии (Юшковские чтения-2014): материалы минерал. семинара с междунар. участием. Сыктывкар. 2014. С. 58–59.
8. Рябов В.В., Золотухин В.В. Минералы дифференцированных траппов. Новосибирск: Наука, 1977. 392 с.
9. Спиридонов Э.М. Рудно-магматические системы Норильского рудного поля // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. С. 1356–1378.
10. Спиридонов Э.М., Гриценко Ю.Д. Низкоградный метаморфизм и Co-Ni-Sb-As минерализация в Норильском рудном поле. М.: Научный мир, 2009. 218 с.
11. Спиридонов Э.М., Ладыгин В.М., Симонов О.Н., Анастасенко Г.Ф., Кулагов Э.А., Люлько В.А., Середина Е.В., Степанов В.К. Метавулканы пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций трапповой формации Норильского района Сибирской платформы. М.: Изд-во МГУ, 2000. 212 с.
12. Туровцев Д.М. Контактный метаморфизм Норильских интрузий. М.: Научный мир, 2002. 319 с.
13. Armbruster T., Bonazzi P., Akasaka M., Bermanec V., Chopin C., Gieré R., Heuss-Assbichler S., Liebscher A., Menchetti S., Pan Y., Pasero M. Recommended nomenclature of epidote-group minerals // European Journal of Mineralogy. 2006. N. 18. P. 551–567.
14. Boudreau A.E., McCallum I.S. Low temperature alteration of REE-rich chlorapatite from the Stillwater Complex, Montana // American Mineralogist. 1990. V. 75. P. 687–693.
15. Czamanske G.K., Zen'ko T.E., Fedorenko V.A., Calk L.C., Burlahn J.R., Bullock J.J., Fries T.L., King B.S., Siems D.F. Petrographic and geochemical characterisation of ore-bearing intrusions of the Noril'sk type Siberia: with discussion of their origin // Resource Geology Special. 1995. Issue 18. P. 1–48.
16. Gieré R., Sørensen S.S. Allanite and other REE-rich epidote-group minerals // Epidotes. Rev. Mineral. Geochem. 2004. V. 56. P. 431–493.
17. Harlov D.E., Förster H.J., Nijland T.G. Fluid-induced nucleation of REE-phosphate minerals in apatite: nature and experiment. Part I. Chlorapatite // Am Mineral. 2002. V. 87. P. 245–261.
18. Harlov D.E., Förster H.J. Fluid-induced nucleation of REE phosphate minerals in apatite: nature and experiment. Part II. Fluorapatite // Am Mineral. 2003. V. 88 P. 1209–1229.
19. Harlov D.E., Wirth R., Förster H.J. An experimental study of dissolution reprecipitation in fluorapatite: fluid infiltration and the formation of monazite // Contrib. Miner. Petrol. 2005. V. 150. P. 268–286.
20. Mashkina A.A., Spiridonov E.M. Three types of apatite from the Noril'sk sulfide ores // 12th International Platinum Symposium. Yekaterinburg. 2014. P. 111–112.
21. Naldrett A.J. Magmatic sulfide deposits. Geology, geochemistry and exploration. Berlin — Heidelberg — New York. Springer: 2004. 727 p.
22. Pan Y., Fleet M.E. Composition of the apatite-group minerals: substitution mechanisms and controlling factors // Kohn MJ, Rakovan J, Hughes JM (eds) Phosphates: geochemical, geobiological, and materials importance, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America. Washington. DC. 2002. V. 48. P. 13–49.
23. Pan Y., Fleet M.E., Macrae N.D. Oriented monazite inclusions in apatite porphyroblasts from the Hemlo gold deposit, Ontario, Canada // Min. Mag. 1993. V. 57. P. 697–707.
24. Papike J.J., Jensen M., Shearer C.K., Simon S.B., Walke R.J., Laul J.C. Apatite as a recorder of pegmatite petrogenesis // Geological Society of America Abstracts with Programs. 1984. V. 16. 617 p.
25. Shau Y.H., Yang H.Y., Peacor D.R. On oriented titanite and rutile inclusions in sagenitic biotite. Amer. Mineral. 1991. V. 76. P. 1205–17.
26. Spiridonov E.M. Pneumatolytic Ag-Au-Pt-Pd mineralization and regenerative metamorphogenic-hydrothermal Pd-Ag mineralization at Noril'sk ore field // 32nd Internat. Geol. Congr. Florencia: 2004. Abstract. Part 2. 1267 p.
27. Spiridonov E.M., Mashkina A.A., Zhukov N.N. Noril'sk ore field: Epigenetic metamorphogenic-hydrothermal Sn-Pt-Pd-Ag mineralization // 12th International Platinum Symposium. Yekaterinburg. 2014. P. 320–321.

УДК 549.091

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПЛОТНОСТИ ТВЁРДЫХ ТЕЛ

В.В. КУЛИКОВ

*Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 23; e-mail: KulikovVV@mrgi-rggru.ru*

Предложены новые подходы к определению базовой характеристики тел — плотности (на примере минералов и горных пород, художественных, декоративных, ювелирных изделий и природных коллекционных образцов), а также объёма исследуемых образцов. С целью усовершенствования технологии проведения лабораторных измерений, повышения безопасности исследований и предупреждения повреждений диагностируемых изделий в жидких средах, вместо традиционного гидростатического взвешивания исследуемых образцов (в жидкостях, в том числе тяжёлых, требующих специальных условий безопасного применения) рассмотрены способ аэростатического взвешивания (определение веса тела в сжатом воздухе) и способ взвешивания в тонкодисперсных сыпучих средах.

К л ю ч е в ы е с л о в а: плотность вещества; плотность тела; объём тела; гидростатическое взвешивание; аэростатическое взвешивание; сыпучие среды; минералы; горные породы; диагностика материалов; декоративные изделия; художественные изделия; ювелирные изделия; коллекционные образцы.

NEW APPROACHES TO THE DEFINITION OF SOLID BODIES

V.V. KULIKOV

Russian State Geological Prospecting University

117997, Russian Federation, Moscow, Miklouho-Maklay's street, 23; e-mail: KulikovVV@mrgri-rggru.ru

New approaches to a definition of the basic characteristic of the bodies — density, have suggested. To improve the technique of the caring out the laboratory investigations, increasing the safety of the investigations and preventing the damages of the diagnosed products in liquid medias, instead of caring out the traditional hydrostatic weighting of the studied samples (in liquids, in particular heavy immersion ones, demanding the special conditions of the safe usage), a method of the aerostatic weighting (a determination of the weight in a compressed air) and a method of the weighting in finely-dispersed loose materials have been considered.

Key words: density of the material; density of the body; volume of the body; hydrostatic weighting; aerostatic weighting; loose materials; minerals; rocks; diagnostics of the materials; decorative items; art products; jewelry; collection samples.

Одной из определяющих характеристик тел различной природы является отношение массы к объёму, называемое объёмной плотностью, или просто плотностью [10]:

$$\rho = m_t / V_t, \quad (1)$$

где ρ — объёмная плотность материала, из которого изготовлено тело (изделие), или плотность тела; m_t — масса тела; V_t — объём тела.

По физическому смыслу, отражённому в (1), плотность характеризует степень сосредоточения (концентрации) массы вещества в единице объёма, ею занимаемом. Другими словами, плотность — это объёмная масса материала.

Понятием родственным объёмной плотности является удельный, или объёмный, вес, представляющий собой отношение веса тела к его объёму [10]:

$$\gamma = F_t / V_t, \quad (2)$$

где γ — удельный, или объёмный, вес материала; F_t — вес неподвижного тела на земной поверхности.

Объёмный вес характеризует концентрацию веса в единице объёма.

Поскольку, в соответствии со вторым законом Ньютона,

$$F_t = m_t \cdot g, \quad (3)$$

где g — ускорение свободного падения (на земной поверхности в среднем $g = 9,81 \text{ Н / кг}$),

то

$$\rho = \gamma / g. \quad (4)$$

Понятия плотности и удельного веса применяют, как правило, к однородным телам [10]. Однако такое узкое использование понятий вряд ли можно признать оправданным: абсолютно однородных тел в природе не существует, все тела в той или иной степени имеют пустоты, т. е. являются пористыми и трещиноватыми (дискретными). Пустоты твёр-

дых тел заполнены, как правило, инородными средами (воздухом, газами, жидкостями и пр.), имеющими отличные физические характеристики. Пространство между молекулами газов в составе воздуха вообще ничем не заполнено и представляет собой абсолютный вакуум. Как известно из курса механики сплошных сред, «... объёмы, занимаемые телами, во много раз больше объёмов, в которых, собственно говоря, сосредоточено само вещество» [9]. Другими словами, плотность и удельный вес в реальности представляют собой средние физические величины, определяемые применительно к некоторым, в общем случае неоднородным, материалам и средам. По этой причине использовать в противовес плотности и удельному весу такие понятия, как «насыпная масса», «насыпная плотность» [6], «насыпной вес» (и их эквиваленты, сужающие (как, например, в [6]) область использования понятия плотности — «объёмная масса», «объёмный вес»), не рационально: последние по физической сути являются синонимами первых соответственно. Вполне исчерпывающим является указание на то, какая именно плотность и в каких условиях имеется в виду в рассматриваемом случае: например, плотность минерального скелета горной породы, плотность горной породы в естественном залегании, плотность складированной горной породы, плотность обводнённой горной породы и т. д. Характерным примером достаточности понятия плотности являются многочисленные её показатели, применяемые в лесоведении [2]: плотность древесинного вещества, плотность абсолютно сухой древесины, плотность влажной древесины, парциальная плотность древесины, базисная плотность древесины и пр.

Плотность является одним из физических параметров состояния тела в данных условиях. Значения плотности тел (сред, материалов) приводятся практически в любых справочных изданиях, относящихся к материалам, используемым в совершенно различных областях — от машиностроения, ми-

нералогии, петрографии и геммологии до биологии, археологии и искусствоведения.

К областям практической деятельности и знаний, в которых значение плотности является (наряду с другими) одним из диагностических признаков материала (вещества), а сами материалы отличаются как происхождением, составом, так и физическими характеристиками, относится изучение и описание минералов, горных пород, художественных, декоративных, ювелирных изделий и природных коллекционных объектов. Следует отметить, что в настоящее время многие исторические музейные экспонаты и предметы частных коллекций не имеют полного научного описания, а некоторые либо определены лишь предположительно, либо вообще не определены и не описаны. Усовершенствование технологии установления плотности материала, как одного из важных диагностических показателей, является востребованным направлением исследований. Рассмотрим новые подходы к определению плотности веществ, используемых (в качестве наиболее наглядного примера) в данных областях деятельности. К веществам в этом случае можно отнести следующие: природные минералы и горные породы как объекты минералогии, петрографии и петрологии, поделочные и ювелирные минералы и горные породы [1, 3, 7, 11, 12], природные аморфные тела (обсидиан, опал, тектиты, [1, 3, 5, 8, 11, 12]), искусственные минералы и горные породы, а также синтетические материалы [1, 3, 5, 8, 11–13], поделочные и ювелирные материалы животного происхождения (кораллы [1, 3, 7, 11, 12], жемчуг и перламутр раковин моллюсков [1, 3, 7, 11], сами раковины моллюсков [11, 12], безоаровый камень [5], белужий камень, отолиты), поделочные и ювелирные материалы растительного происхождения (ископаемые смолы — янтари [3, 7]), застывшие смолы современных растений (даммар, копал и др.), ископаемые каустобиолиты (гагат [3, 7], кеннельский уголь, сапропелитовый уголь, шунгит), жемчуг бамбуковый [5]), скелетную кость, рога и зубы ископаемых животных (мамонтная кость (бивни) — одонтолит [8, 12], динозавровая кость и др.), скелетную кость современных животных [1, 11, 12], зубы современных животных (бивни, клыки, резцы [1, 8, 11, 12]), панцирь черепах [1, 8, 11, 12], рога современных животных [8, 11], клюв птицы-носорога [8], скорлупу страусовых яиц [11], твёрдый эндосперм семян некоторых пальм («растительная слоновая кость» [8, 11, 12]), твёрдые оболочки семян ряда древовидных и травянистых растений, ценную древесину (чёрное, железное дерево) [2, 8] и др.

Как правило, при лабораторном исследовании и научном описании изделий, коллекционных, природных образцов с целью единообразия значений показателей плотности вещества и объёма изделия определяют при нормальных («комнатных») усло-

виях, соответствующих требованиям длительного хранения: при атмосферном давлении $P_0 = 10^5$ Па, температуре $t = 20^\circ\text{C}$ и нормализованной (стандартной) относительной влажности воздуха $W_0 = 12\%$ [2]. Особенно важными эти требования являются для гигроскопических материалов, чувствительных к изменению содержания воздушной влаги (древесина, растительная слоновая кость и др.).

Среди способов определения плотности материалов и объёмов изделий практическое применение имеют лишь три гравитационных метода: непосредственное вытеснение жидкости (воды) из мерного сосуда погружаемым образцом, гидростатическое взвешивание исследуемого образца в воде и подбор жидкостей (в том числе тяжёлых) той же плотности, что и изучаемый образец [1, 3, 7, 12]. Общим недостатком этих методов является необходимость непосредственного контакта изучаемого изделия с жидкостью. Для пористых гигроскопических материалов (таких как древесина, растительная слоновая кость, гагат и др.) эти методы неприемлемы. Контакт бирюзы и опала, как пористых материалов, с тяжёлыми жидкостями, способными оказать воздействие на их внешний вид, также нежелателен [12]. Кроме этого, тяжёлые жидкости являются токсическими и химически агрессивными веществами [1, 3, 7, 12], использование которых в лабораторных исследованиях требует особых условий безопасного применения. При гидростатическом взвешивании необходимо решать вопросы подвешивания тел, имеющих различные массы и формы, и влияния подвесного устройства на объём вытесненной жидкости. Жидкостные методы затрудняют определение плотности тела, меньшую плотности жидкости. Эти особенности традиционных гравитационных жидкостных методов существенным образом осложняют проведение исследований.

Новые нежидкостные способы определения плотности и объёма изучаемых образцов и изделий лишены указанных выше недостатков.

Первый из способов назовём аэростатическим. Этот способ тем эффективнее и точнее, чем выше точность показаний приборов и чем больше объём тела. Суть способа заключается в следующем. Вначале в закрытом герметичном сосуде (с прозрачной стенкой и установленными в нём точными весами) с помощью нагнетания воздуха компрессором до значения избыточного давления $P_{\text{и}}$ и температуры t (соответственно по показаниям барометра (манометра) и термометра, установленных в сосуде) определяется возможное влияние сжатого воздуха на показания весов. Если при увеличении давления до значения $P_{\text{и}}$ показания весов (до взвешивания тела) уменьшаются (ниже нуля) на некоторую величину F из-за действия возросшей архимедовой силы на элементы весов (зависит от конструк-

ции весов), то для вывода показаний весов на ноль при давлении $P_{и}$ (при последующем включении компрессора в процессе взвешивания тела) необходимо до взвешивания тела скомпенсировать величину F подбором соответствующего груза или регулировкой (если таковая предусмотрена) нулевых показаний весов. Далее по показаниям точных весов, установленных в открытом сосуде, определяется вес тела. По значению веса тела рассчитывается его масса m_t . По показаниям термометра и барометра (манометра) определяются атмосферная температура t_0 и атмосферное давление P_0 . Затем сосуд герметично закрывается крышкой и в него компрессором нагнетается воздух до избыточного давления $P_{и}$. При этих условиях снимаются показания уменьшившегося (вследствие действия на тело большей выталкивающей архимедовой силы) веса тела, возросшей (из-за повышения давления) температуры t и увеличившегося избыточного давления воздуха $P_{и}$. Уменьшение веса тела будет равно изменению веса сжатого воздуха в объеме, равном объему изучаемого тела (действие выталкивающей силы Архимеда в воздухе [4]).

В атмосферных условиях на тело, находящееся на чашке весов, в противоположных направлениях действуют сила тяжести F_T (3) и сила Архимеда F_{ao} [4]:

$$F_{ao} = \rho_0 g V_t, \quad (5)$$

где F_{ao} — выталкивающая архимедова сила, действующая на исследуемое тело при температуре t_0 , атмосферном давлении P_0 и плотности атмосферного воздуха ρ_0 .

В соответствии с уравнением состояния идеального газа [4],

$$\rho_0 = P_0 / (R T_0), \quad (6)$$

где R — удельная газовая постоянная воздуха, $R = 287 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$ [4]; T_0 — абсолютная температура атмосферного воздуха [4].

$$R = (R_u / M), \quad (6, a)$$

где R_u — универсальная газовая постоянная, $R_u = 8314,51 \text{ Дж} / (\text{кмоль} \cdot \text{К})$ [4]; M — молярная масса воздуха, $M = 28,97 \text{ кг} / \text{кмоль}$ [4].

$$T_0 = 273,15 + t_0. \quad (7)$$

Решая совместно (1), (3), (5) и (6), получим значение показания весов ($F_T - F_{ao}$) до нагнетания воздуха:

$$F_T - F_{ao} = m_t g (1 - P_0 / (P_t R T_0)). \quad (8)$$

Откуда масса тела

$$m_t = (F_T - F_{ao}) / (g (1 - P_0 / (P_t R T_0))). \quad (9)$$

После повышения давления до величины $P_{и}$, имеем показания весов ($F_T - F_a$):

$$F_T - F_a = m_t g (1 - P / (P_t R T)), \quad (10)$$

где F_a — выталкивающая архимедова сила, действующая на тело при абсолютном давлении P , абсолютной температуре T и плотности воздуха ρ .

$$P = P_0 + P_{и}, \quad (11)$$

где $P_{и}$, P — избыточное и абсолютное давление сжатого воздуха соответственно [4].

$$F_a = \rho g V_t, \quad (12)$$

где ρ — плотность сжатого воздуха при абсолютном давлении P и абсолютной температуре T .

В соответствии с уравнением состояния идеального газа [4],

$$\rho = P / (R T). \quad (13)$$

$$T = 273,15 + t. \quad (14)$$

Обозначим отношение показаний весов до и после нагнетания воздуха:

$$B = (F_T - F_{ao}) / (F_T - F_a). \quad (15)$$

После решения (15) получим:

$$P_t = (P B - P_0 T / T_0) / (R T (B - 1)). \quad (16)$$

В соответствии с (1), (9) и (16), можно рассчитать объем тела:

$$V_t = m_t / \rho_t. \quad (17)$$

Возможен и иной путь расчёта плотности материала и объема тела. Обозначим разницу показаний весов до и после нагнетания воздуха:

$$D = (F_T - F_{ao}) - (F_T - F_a). \quad (18)$$

Тогда после подстановки (8) и (10) в (18), после преобразований получим:

$$\rho_t = F_T (P / T - P_0 / T_0) / (R D). \quad (19)$$

Учитывая то, что масса атмосферного воздуха объемом, равным объему тела, мала, получим приближенно:

$$F_T - F_t - F_{ao}, \quad (20)$$

$$\rho_t = (F_T - F_{ao}) (P / T - P_0 / T_0) / (R D). \quad (21)$$

Следует отметить, что точность ответа, полученного по представленным выше зависимостям, существенно зависит от точности измерений. При практической реализации этого способа необходимо провести оценку требований, предъявляемых к измерительным приборам и аппаратуре, согласовать погрешности приборов и измерений с требуемой точностью результата.

Пример использования аэростатического способа взвешивания.

Пусть исследуемый минерал имеет вес $F_T = 0,981 \text{ Н}$. Атмосферные условия: $P_0 = 10^5 \text{ Па}$, $t_0 = 20^\circ \text{С}$. После нагнетания воздуха параметры состояния при-

няли следующие значения: $P = 6 \cdot 10^5$ Па, $t = 40^\circ\text{C}$. Показания весов до нагнетания воздуха $F_T = F_{a0} = 0,98061$ Н, после нагнетания $F_T = F_a = 0,97882$ Н.

Тогда, используя (7), (14) — (17) и (19), получим соответственно:

$$T_0 = 293,15 \text{ K.}$$

$$T = 313,15 \text{ K.}$$

$$B = 0,98061 / 0,97882 = 1,00183.$$

$$\rho_T = (6 \cdot 10^5 \cdot 1,00183 - 10^5 \cdot 313,15 / 293,15) / (287 \cdot 313,15 \cdot (1,00183 - 1)) = 3007,35 \text{ кг/м}^3.$$

$$V_T = 0,1 / 3007,35 = 3,3252 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

$$D = 0,98061 - 0,97882 = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ Н.}$$

$$\rho_T = 0,981 \cdot (6 \cdot 10^5 / 313,15 - 10^5 / 293,15) / (287 \cdot 1,79 \cdot 10^{-3}) = 3007,36 \text{ кг/м}^3.$$

Второй способ назовём «взвешиванием в сыпучей мелкодисперсной среде». Этот способ тем эффективнее и точнее, чем выше точность показаний весов, чем больше объём тела и чем ближе объём сыпучей мелкодисперсной среды в сосуде к объёму тела. Данный способ применим, в том числе к телам, имеющим невысокую (ниже воды) плотность. К достоинствам данного способа следует отнести то, что в сыпучей среде тело не тонет и не всплывает, исчезает вопрос подвешивания тела, а сама сыпучая среда является общедоступным дешёвым материалом. В качестве сыпучей среды вполне подходят, например, мелкий однородный кварцевый (или иного состава) песок, сыпучие пищевые продукты (манная крупа, крупа киноа, соль) и пр. Сущность способа заключается в следующем. Подходящий сыпучий материал (далее условно песок) плотностью ρ_n насыпается «с горкой» в открытый сосуд известного веса F_c и объёма V_c , лишний песок удаляется скребком, перемещаемым в радиальном направлении по верхней кромке сосуда, сосуд с песком взвешивается на весах. Затем часть песка из сосуда удаляется, в сосуд кладётся исследуемое тело массой m_T и засыпается «с горкой» песком, лишний песок опять удаляется. Сосуд с песком и погруженным в него телом опять взвешивается. По разнице полученных измерений вычисляются плотность и объём тела.

В соответствии с (1) и (3), пренебрегая здесь и далее действием архимедовой силы на сосуд, исследуемое тело и песок (в силу её малости в атмосферных условиях), имеем:

$$\rho_T = m_T / V_T = F_T / (g \cdot V_T). \quad (22)$$

$$\rho_n = m_n / V_c = F_n / (g \cdot V_c), \quad (23)$$

где ρ_n , m_n , F_n — плотность, масса и вес песка, заполняющего сосуд соответственно; V_c — объём сосуда.

Объём песка, удалённый из сосуда в результате погружения тела в сосуд, будет равен объёму тела:

$$V_T = V_{пт}, \quad (24)$$

где $V_{пт}$ — объём песка, равный объёму тела V_T (объём песка в объёме тела).

$$V_{пт} = m_{пт} / \rho_n = F_{пт} / (\rho_n \cdot g), \quad (25)$$

где $m_{пт}$, $F_{пт}$ — масса и вес песка объёмом, равным объёму тела V_T соответственно (объём и вес песка в объёме тела соответственно).

Подставляя (23) в (25), с учётом условия (24), получим:

$$V_T = F_{пт} \cdot V_c / F_n. \quad (26)$$

Приравнявая объёмы тела V_T в (22) и (26), после преобразований получим:

$$\rho_T = F_T \cdot F_n / (g \cdot V_c \cdot F_{пт}). \quad (27)$$

Используя уравнение материального баланса

$$F_{сп} + F_T = F_{спт} + F_{пт}, \quad (28)$$

где $F_{сп}$ — вес сосуда с песком; $F_{спт}$ — вес сосуда с песком и телом,

имеем

$$F_{пт} = F_{сп} + F_T - F_{спт}. \quad (29)$$

Тогда, после подстановки (29) в (27), получим окончательно для плотности тела:

$$\rho_T = F_T \cdot F_n / (g \cdot V_c \cdot (F_{сп} + F_T - F_{спт})). \quad (30)$$

После деления числителя и знаменателя (30) на величину g^2 :

$$\rho_T = m_T \cdot m_n / (V_c \cdot (m_{сп} + m_T - m_{спт})). \quad (31)$$

Объём тела найдём при совместном решении (30), (31) и (22):

$$V_T = V_c \cdot (F_{сп} + F_T - F_{спт}) / F_n. \quad (32)$$

$$V_T = V_c \cdot (m_{сп} + m_T - m_{спт}) / m_n. \quad (33)$$

Как и при аэростатическом способе определения плотности и объёма тела, так и при использовании метода взвешивания в сыпучей мелкодисперсной среде точность ответа определяется точностью измерений. При реализации способа следует согласовать погрешности приборов и измерений с требуемой точностью результата.

Пример использования способа взвешивания в сыпучей мелкодисперсной среде.

Пусть исследуемый минерал имеет массу $m_T = 100$ г = 0,1 кг. Плотность мелкодисперсного кварцевого песка $\rho_n = 1500$ кг/м³, его масса $m_n = 0,15$ кг. Объём сосуда $V_c = 0,1$ л = 10^{-4} м³. Масса сосуда с песком $m_{сп} = 0,22$ кг. Масса сосуда с песком и минералом $m_{спт} = 0,27$ кг.

Применяя (31) и (33), получим соответственно:

$$\rho_T = 0,1 \cdot 0,15 / (10^{-4} \cdot (0,22 + 0,1 - 0,27)) = 3000 \text{ кг/м}^3.$$

$$V_T = 10^{-4} \cdot (0,22 + 0,1 - 0,27) / 0,15 = 3,33 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Выводы

1. Рассмотренные новые (нежидкозные) способы определения плотности и объема исследуемых тел позволяют исключить многие недостатки, присущие жидкозным методам.

2. Предложенные способы обладают высокой общностью и могут использоваться (при условии получения результата измерений не менее точного,

чем дают традиционные способы) в различных областях материаловедения и диагностики при лабораторном изучении свойств твердых тел.

3. Для практической реализации новых способов определения плотности необходимо провести оценку требований, предъявляемых к измерительным приборам и аппаратуре, согласовать погрешности приборов и измерений с требуемой точностью результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон Б. Определение драгоценных камней. Пер. с англ. М.: Мир, 1983. 458 с.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине / Под ред. Б.Н. Уголева. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.
3. Корнилов Н.И., Солодова Ю.П. Ювелирные камни / Под ред. Н.И. Гинзбурга. М.: Недра, 1983. 239 с.
4. Куликов В.В. Буровая гидроаэромеханика и элементы гидродневмопривода // Бурение разведочных скважин. Учебник для вузов. Глава 5 / Н.В. Соловьев, В.В. Кривошеев, Д.Н. Башкатов и др. Под общ. ред. Н.В. Соловьева. М.: Высшая школа, 2007. С. 258–298.
5. Куликов Б.Ф. Словарь камней-самоцветов. Л.: Недра, 1982. 159 с.
6. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Недра, 1984. 359 с.
7. Рид П. Геммология. Пер. с англ. М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2003. 366 с.
8. Рид П. Дж. Геммологический словарь. Пер. с англ. Л.: Недра, 1986. 287 с.
9. Седов Л. И. Механика сплошной среды. 5-е изд., испр. В 2-х т. Т.1. М.: Наука, 1994. 528 с.
10. Сена Л. А. Единицы физических величин и их размерности. Учебно-справочное руководство. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1988. 432 с.
11. Синкеев Дж. Руководство по обработке драгоценных и поделочных камней. Пер. с англ. М.: Мир, 1989. 423 с.
12. Смит Г. Драгоценные камни. Пер. с англ. М.: Мир, 1984. 558 с.
13. Элзуэлл Д. Искусственные драгоценные камни. Пер. с англ. / Предисл. И.Я. Некрасова. 2-е изд. М.: Мир, 1986. 160 с.

УДК 550.42

«ПЛАТИНА» ИЗ КОЛЛЕКЦИИ А.Ф. КЕЛЛЕРА В СОБРАНИИ ГОСУДАРСТВЕННОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ РАН

Н.И. БРЯНЧАНИНОВА^{1, 2}, А.Б. МАКЕЕВ³, А.Р. МАКАВЕЦКАС⁴

¹Государственный геологический музей им. В.И. Вернадского РАН
125009, Россия, Москва, ул. Моховая, д.11

²Геологический институт РАН
119017, Россия, г. Москва, Пыжевский пер., 7, e-mail: ni.bryanchaninova@sgm.ru

³Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Старомонетный пер., 35; e-mail: abmakeev@igem.ru

⁴НИТУ Московский институт стали и сплавов,
Россия, 119049, г. Москва, Ленинский пр., 4, e-mail: algis_m@mail.ru

Впервые проведены микрозондовые исследования «платины» из коллекции А.Ф. Келлера, в собрании Государственного геологического музея РАН. Результаты показали, что образцы, действительно, приобретены в XIX в. на Урале в известном Нижнетагильском промышленном районе из отработывавшейся в то время Господской шахты. Шлиховая платина, согласно облику и минеральной ассоциации, соответствует Исовско-Туринской россыпи, питаемой из Светлоборского концентрически-зонального дунит-клинопироксенового платиноносного массива. Анализы химического состава минеральных фаз позволили составить список минералов самородных металлов и минералов группы платины (МПП) этой коллекции: изоферроплатина, иридиевая изоферроплатина, золотистая изоферроплатина, медисто-никелистая тетраферроплатина, осмий, рутенистый осмий, иридий, рутенистый иридий (рутеносмирин), высокопробное золото, олово.

Ключевые слова: изоферроплатина; золотистая изоферроплатина; медисто-никелистая тетраферроплатина; осмий; иридий; рутенистый иридий (рутеносмирин); высокопробное золото; олово; Господская шахта; Средний Урал.