

белого фосфора в слегка удлиненную тригональную пирамиду. Все это свидетельствует о том, что при координации белого фосфора за вершину с электронно-ненасыщенным 16-электронным фрагментом рутения  $Ru(\eta^5-C_5R_5)(L)_2$  происходит его активация. Активация молекулы  $P_4$  комплексами переходных металлов является важной проблемой не только с научной точки зрения, но и с практической, поскольку белый фосфор является ключевым материалом для промышленного производства фосфорорганических соединений. Проблема поиска альтернативных экологически чистых каталитических процессов получения фосфорорганических соединений все еще остается актуальной. Одним из возможных решений был бы бесхлорный процесс с участием комплексов переходных металлов в качестве катализаторов. Синтезированные металлорганические комплексы с  $\eta^1$ -координированной молекулой белого фосфора позволяют глубже развить знания по координационной химии белого фосфора и понимание механистических аспектов активации и функционализации молекулы  $P_4$  в координационной сфере атома переходного металла.

Работа выполнена при финансовой поддержке химического концерна ThermoPhos (Нидерланды). Автор выражает глубокую благодарность д-ру М. Перуццини (ICCOM CNR, Флоренция, Италия) и проф. П. Стоппиони из университета г. Флоренция (Италия) за плодотворное обсуждение результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. (a) *Dapporto P., Midollini S., Sacconi L.* Tetrahedro-tetraphosphorus as singly dentate ligand in a nickel(0) complex // *Angew. Chem. Int. Ed. Engl.* 1979. V. 18, N. 6. P. 469; (b) *Dapporto P., Sacconi L., Stoppioni P., Zanobini F.* Palladium and platinum complexes with *cyclo*-triphosphorus and *tetrahedra*-tetraphosphorus as ligands // *Inorg. Chem.* 1981. V. 20, N 11. P. 3834-3839.
2. (a) *Ehse M., Romerosa A., Peruzzini M.* Aggregation and degradation of white phosphorus // *Top. Cur. Chem.*, 2001. V. 220. P.108-140; (b) *Di Vaira M., Ehse M., Peruzzini M., Stoppioni P.* Reactivity of the  $P_4$  molecule with cobalt(I) and rhodium(I) polyphosphane fragments // *Eur. J. Inorg. Chem.* 2000. № 10. P. 2193-2198; (в) *De los Rios I., Hamon J.R., Hamon P., Lapinte C., Toupet L., Romerosa A., Peruzzini M.* Synthesis of exceptionally stable iron and ruthenium  $\eta^1$ -*tetrahedro*-tetraphosphorus complexes: evidence for a strong temperature dependence of  $M-P_4$   $\pi$  back donation // *Angew. Chem.*, 2001. V.113, N 20. P. 4028-4030.
3. *Luis P.L., de los Rios I., Peruzzini M.* Synthesis and structural properties of mononuclear transition metal complexes

containing naked tetraphosphorus,  $P_4$ , units as ligand // *Phosph. Res. Bull.* 2001. V. 12. P. 167-180.

4. *Акбаева Д.Н.* Металлорганические комплексы переходных металлов, содержащие молекулу  $P_4$  в качестве  $\eta^1$ -лиганда // *Изв. НАН РК. Сер. хим.* 2005. № 2. С. 66-72.
5. *Суербаяев Х.А., Жубанов К.А.* Металлокомплексные катализаторы с фосфорсодержащими лигандами. Алматы: Казак университеты, 2000. 492 с.
6. *Perrin D.D., Armarego W.L.F.* Purification of Laboratory Chemicals, Pergamon, New York, 3rd edn., 1988. 391 pp.
7. *Herrmann W.A., Kohlpaintner Ch.W., Hanson B.E., Kang X.* Syntheses of water-soluble phosphines and their transition metal complexes // *Inorg. Synth.* 1998. V. 32. P. 8-25.
8. *Bruce M.I., Hameister C., Swinger A.G., Wallis R.C.* Some  $\eta^5$ -cyclopentadienylruthenium(II) complexes containing triphenylphosphine // *Inorg. Synth.*, 1982, V. 21. P. 78-83.
9. *Chinn M.S., Heinekey D.M.* Dihydrogen complexes of ruthenium. 2. Kinetic and thermodynamic considerations affecting product distribution // *J. Am. Chem. Soc.* 1990. V. 112, N 13. P. 5166-5175.
10. *Suarez T., Fontal B., Reyes M., Bellandi F., Contreras R., Leon G., Cancines P.* Synthesis, characterization and biphasic catalysis with  $RuCl(\eta^5-C_5H_5)(TPPMS)_2$  // *React. Kinet. Catal. Lett.*, 2002. V. 76, N 1. P. 161-169.
11. *Lin W., Wilson S.R., Girolami G.S.* Synthesis and reactivity of new ruthenium alkyls and hydrides. Protonation of  $Cp^*Ru(Me_2PCH_2PMe_2)Me$  and X-ray crystal structure of  $Cp^*_2Ru_2(\mu-Ph_2PCH_2PPh_2)(AlH_3)$  // *Organometallics*, 1997. V. 16, N 13. P. 2987-2994.
12. *Chang Ch.-W., Ting P.-Ch., Lin Y.-Ch., Lee G.-H., Wang Y.* Synthesis of ruthenium vinylidene complexes with dppe ligand and their cyclopropanation reaction // *J. Organomet. Chem.*, 1998. V. 553, N 1-2. P. 417-425.
13. *Treichel P.M., Komar D.A., Vincenti P.J.* Preparation of several homologous series of cyclopentadienylruthenium complexes and their solvolysis in polar solvents // *Synth. React. Inorg. Metal-Org. Chem.*, 1984, V. 14, N 3. P. 383-400.
14. *Altomare A., Burla M.C., Camalli M., Cascarano G., Giacovazzo C., Guagliardi A., Moliterni A.G., Polidori G., Spagna R.* SIR97: a new tool for crystal structure determination and refinement // *J. Appl. Crystallogr.*, 1999. V. 32, N 1. P. 115-119.
15. *Farrugia L.J.* WinGX suite for small-molecule single-crystal crystallography // *J. Appl. Crystallogr.*, 1999. V. 32, N 4. P. 837-838.
16. *Di Vaira M., Peruzzini M., Stoppioni P.* The  $P_4Se_3$  cage molecule as a ligand. Crystal structure of  $[N(CH_2CH_2PPh_3)_2Ni(P_4Se_3)] \cdot 2C_6H_6$  // *J. Organomet. Chem.* 1983, V. 258, N 3. P. 373-381.
17. *de los Rios I., Tenorio M.J., Padilla J., Puerta M.C., Valerga P.* Synthesis of new half-sandwich ruthenium complexes containing 1,2-bis(diisopropylphosphino)ethane (dippe); crystal structures of  $[Ru(C_5Me_5)Cl(dippe)]$  and  $[Ru(C_5Me_5)(O_2)(dippe)][BPh_4]$  // *J. Chem. Soc., Dalton Trans.* 1996. N 3. P. 377-381.