



УДК 547.963.4.057:541.144.7:543.426

СИНТЕЗ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНО- И ДИПОРФИРИНОВЫХ КОНЪЮГАТОВ ПРОИЗВОДНЫХ ТЕТРАФЕНИЛПОРФИРИНА С АМИНОКИСЛОТАМИ

© 1998 г. Р. П. Евстигнеева[#], В. Н. Лузгина,
Н. Ю. Киселева, Н. В. Коновалова, И. В. Ракитина

Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова,
117571, Москва, просп. Вернадского, 86

Поступила в редакцию 03.07.97 г. Принята к печати 27.10.97 г.

Осуществлен синтез конъюгатов производных тетрафенилпорфирина с аминокислотами (Gly, Ala, Val, Leu, Phe). На их основе получены дипорфириновые структуры, макроциклы которых соединены аминокислотными (Phe) или дипептидными (-Gly-Val-) спейсерами. Исследованы физико-химические свойства полученных соединений.

Ключевые слова: фотосинтез, порфирины, аминокислоты, дипорфириновые структуры.

Моделирование реакционных центров природных фотосинтетических систем, в состав которых входят пигмент-белковые комплексы, создает возможность детального изучения протекания отдельных стадий фотосинтеза и исследования физико-химических механизмов их функционирования на более простом уровне [1].

Удобными моделями для таких целей могут служить диады типа порфирин-аминокислота. Проведенные исследования позволили получить ценную информацию о свойствах ароматических аминокислот тирозина и триптофана, присоединенных к порфириновому ядру, как о потенциальных энергетических донорах [2–4].

Роль алифатических гидрофобных аминокислот в функционировании пигмент-белковых комплексов еще окончательно не выяснена, однако нельзя не учитывать их вклад в конформацию полипептидной цепи биополимера, а также участие в переносе энергии, электрона и во внутримолекулярных взаимодействиях между хромофорами. Диады типа аминокислота-порфирин могут входить в состав более сложных моделей.

Синтетические дипорфириновые структуры, содержащие донорно-акцепторные заместители в ядре и соединенные между собой пептидными или аминокислотными спейсерами, являются удобными объектами для изучения реализации транспорта энергии или электрона с хромофора на хромофор с целью установления путей переноса, влияния аминокислотного окружения, длины

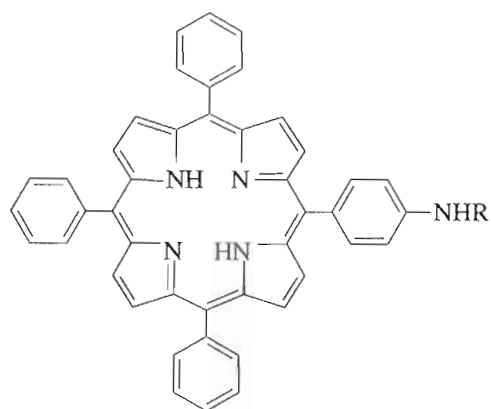
пептидной цепи на эффективность фотосинтетического процесса [5, 6], а также выяснения функции белка в природном фотосинтезе [1].

В продолжение наших исследований [2–4] на основе 5-(*n*-аминофенил)-10,15,20-трифенилпорфирина (I) и Вос-глицина получены диады (II) и (III). Используя 2-(2'-карбоксивинил)-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (IV), мы осуществили синтез производных (V)–(IX), содержащих другие алифатические аминокислоты (Ala, Val, Leu), а также диад (X), (XI), включающих ароматическую аминокислоту (Phe).

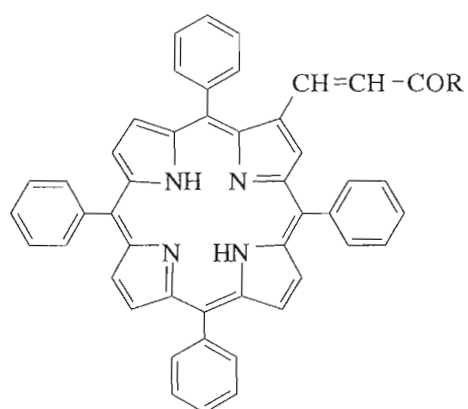
Ковалентное связывание порфиринов (I) и (IV) с аминокислотами осуществляли ДСС-методом по С-концу аминокислоты в случае порфирина (I) и N-концу при использовании соединения (IV). Синтез Вос-глицилпорфирина (II) с применением метода активированных эфиров был описан ранее [7]. Для создания диад (II), (V), (VII), (IX), (X) использовались N^α-*трет*-бутилоксикарбонилглицин, хлоргидраты *трет*-бутилового эфира аланина, метиловых эфиров валина, лейцина, фенилаланина. Выходы конденсаций составили 69, 74, 88, 74 и 45% соответственно. Выход соединения (X), содержащего ароматическую аминокислоту – метиловый эфир фенилаланина, был сопоставим с выходом аналогичной конденсации порфирина (IV) с метиловым эфиром тирозина, проведенной ранее при использовании того же метода [4].

Удаление Вос-защиты с глицилпорфирина (II) и омыление *трет*-бутилового эфира в соединении (V) осуществлено действием трифторуксусной кислоты. Выходы соединений (III) и (VI) составили 88 и 81% соответственно. Сложноэфирные группы аминокислотных производных (VII)

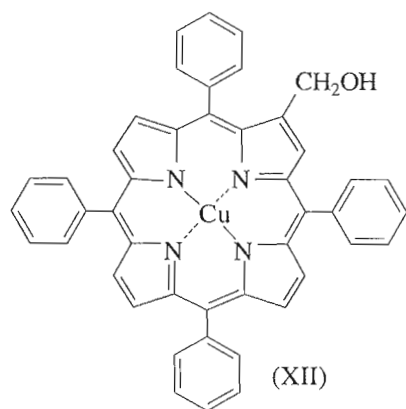
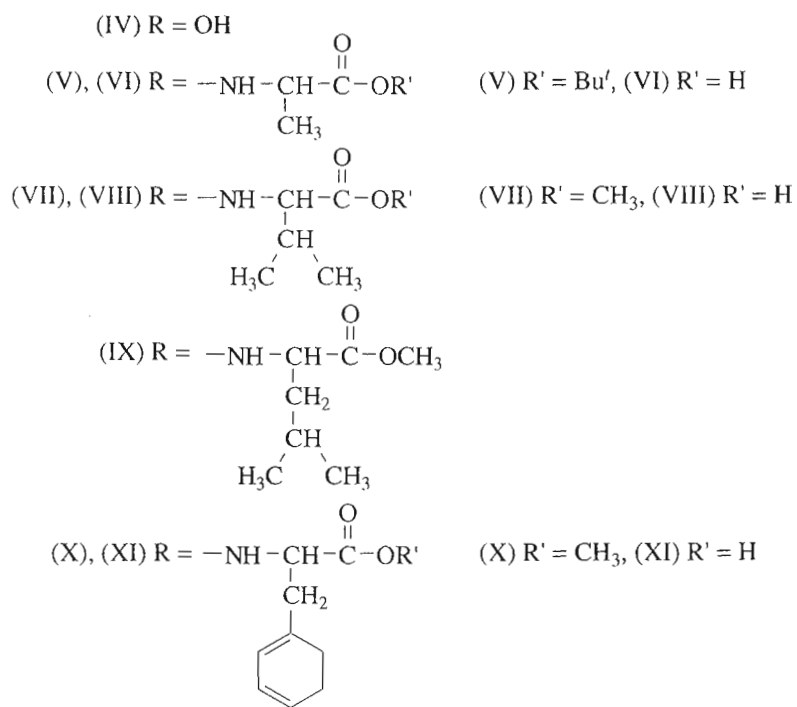
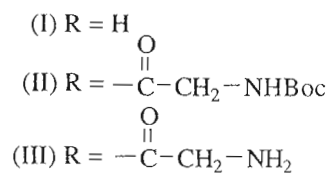
[#]Автор для переписки.



(I)-(III)



(IV)-(XI)



(XII)

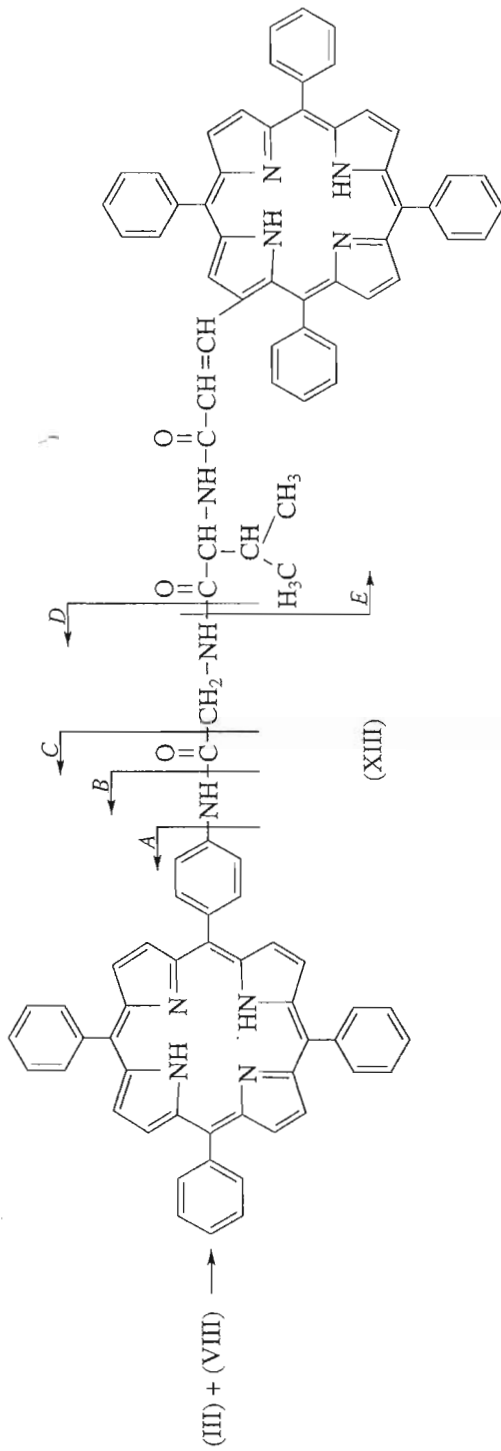


Схема 1.

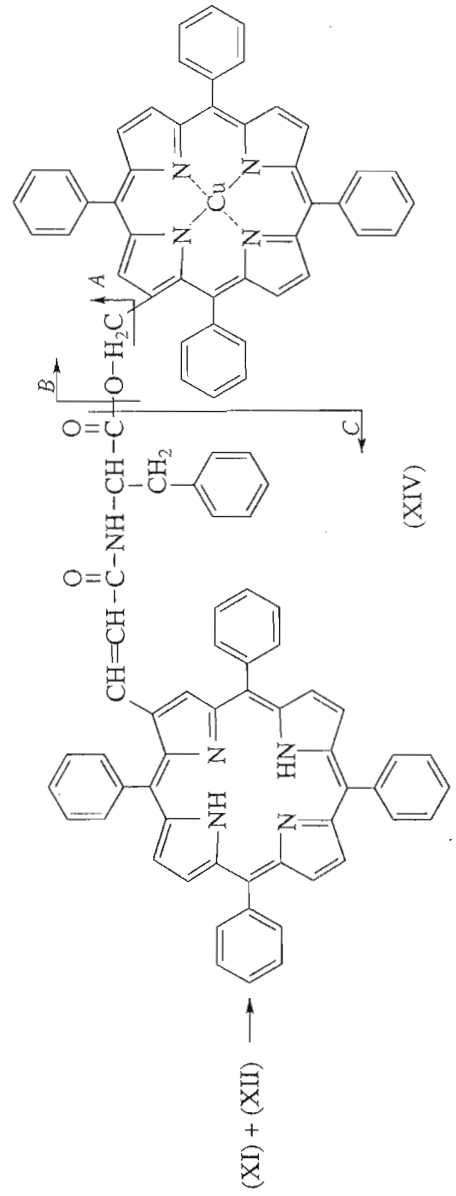
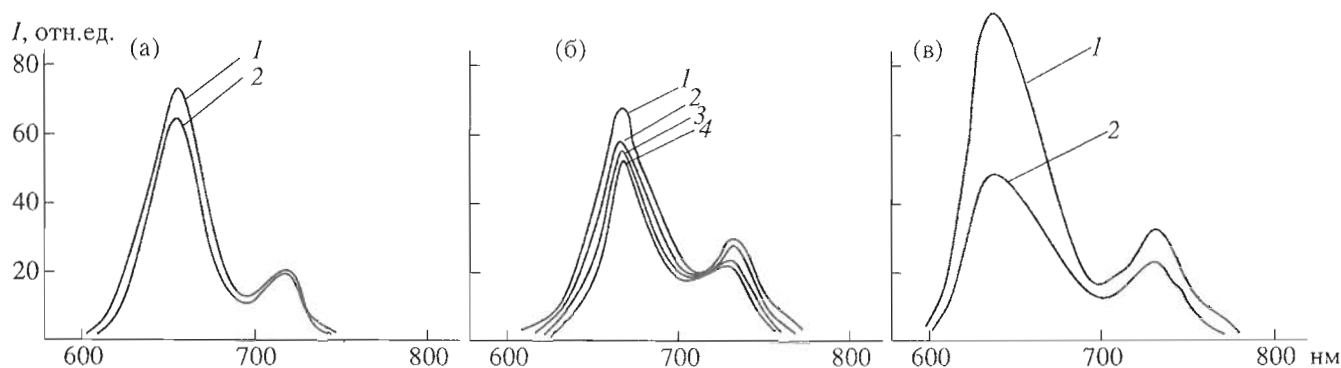


Схема 2.



Спектры флуоресценции синтезированных соединений в хлороформе, с 10^{-6} М, $\lambda_{\text{возб}}$ 430 нм. (а): 1 – (I), 2 – (II), $\lambda_{\text{фл}}$ 654, 718 нм; (б): 1 – (VII), 2 – (V), 3 – (IX), 4 – (IV), $\lambda_{\text{фл}}$ 668, 733 нм; (в): 1 – (X), 2 – (IV), $\lambda_{\text{фл}}$ 640, 730 нм.

и (X) гидролизовали раствором гидроксида калия в смеси растворителей (метанол – хлороформ). Выходы кислот (VIII) и (XI) составили 45 и 89% соответственно.

Полученные диады (III), (VIII), (XI) использовались в синтезе более сложных дипорфириновых структур (XIII) и (XIV).

В соединении (XIII) порфириновые кольца сочленены дипептидным спейсером, включающим глицин и валин. Это соединение получено из порфиринов (III) и (VIII) с применением DCC-метода. Выход продукта (XIII) составил 30%.

Другая модельная дипорфириновая система (XIV), объединенная с помощью ароматической аминокислоты фенилаланина, синтезирована из соединения (XI) и медного комплекса 2-оксиметил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирина (XII) [8]. Для создания сложноэфирной связи между компонентами (XI) и (XII) использовали два метода активации карбоксильной группы порфирина (XI): DCC с добавлением 1-гидроксисбензотриазола и метод смешанных ангидридов с применением ди-*трет*-бутилпирокарбоната. В первом случае выход соединения (XIV) составил 5%, во втором – 12%. Структуры всех полученных соединений подтверждены методами электронной, ИК-, ^1H -ЯМР-спектроскопии и масс-спектрометрии.

В электронных спектрах диад (II), (V), (VII), (IX) наблюдался незначительный сдвиг в корот-

коволновую область по отношению к спектру исходных порфиринов, что указывает на слабое взаимодействие между присоединенной аминокислотой и порфирином. В ИК-спектрах соединений (II), (V)–(X) отмечены полосы поглощения карбонила амидных связей, в диадах (V), (VII), (IX), (X) присутствовали также полосы поглощения валентных колебаний карбонила сложноэфирных групп, а в спектрах соединений (VI), (VIII), (XI) появлялись полосы поглощения кислотного карбонила.

Молекулярную массу дипорфириновых структур (XIII), (XIV) определяли масс-спектрометрически, методом полевой десорбции. Необходимо отметить относительно невысокую интенсивность пика молекулярного иона в спектре соединения (XIII). Подтверждение структуры (XIII) проводили по фрагментным ионам А–Е (схема 1).

Серия фрагментных ионов А–Е соответствует последовательному расщеплению дипептидного мостика, в том числе и по амидным связям, вплоть до полного отщепления иона тетрафенилпорфирина (ион А). В случае соединения (XIV), где присутствуют амидная и сложноэфирная связи, расщепление протекало по сложноэфирной связи. Происходило также отщепление иона медного комплекса тетрафенилпорфирина (схема 2). Однако интенсивность пика молекулярного иона, соответствующего значению молекулярной массы соединения (XIV) (1520), была значительно

Масс-спектры соединений (XIII) и (XIV)

m/z ($I_{\text{отн}}$, %)

Соединение	Молекулярный ион M^{2+}	Фрагментные ионы				
		(A + H) ⁺	(B + H) ⁺	(C + H) ⁺	(D + H) ⁺	(E + H) ⁺
(XIII)	1451	615	629	657	686	767
	(2.5)	(100)	(36.3)	(8.4)	(15.4)	(6.6)
(XIV)	1520	676	706	815		
	(44.6)	(93.4)	(100)	(69.7)		

выше, чем для соединения (XIII). Похожие закономерности фрагментации производных тетрафенилпорфирина наблюдались нами ранее при проведении исследования физико-химических свойств порфиринов-хиноновых соединений в условиях плазменно-десорбционной масс-спектрометрии [9].

При исследовании фотохимических свойств полученных производных тетрафенилпорфирина с алифатическими аминокислотами (II), (V), (VII), (IX) методом стационарной флуоресцентной спектроскопии не было отмечено значительного изменения интенсивности флуоресценции по отношению к исходным порфиринам (I) и (IV). Эти результаты указывают на отсутствие влияния алифатических аминокислот на возбужденное состояние порфирина (рисунок, а,б).

При исследовании фотохимических свойств диады (X), содержащей ароматическую аминокислоту (Phe), отмечено усиление флуоресценции по отношению к исходному порфирину (IV) (рисунок, в). Результаты этого эксперимента сопоставимы с данными, представленными нами в работах [3, 4] для 2,2'-(O^{α} -метил-L-тирозино)карбонилвинил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирина.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2-(2'-Карбокси)винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (IV), который использовался в синтезах аминокислотных производных (V), (VII), (IX) и (X), а также комплекс (XII) получены по ранее описанным методикам [8, 10]. 5-(*n*-Аминофенил)-10,15,20-трифенилпорфирин (I) синтезирован способом, описанным в работе [2]. Использованные в эксперименте производные аминокислот фирмы Reanal относились к L-ряду. Конденсации осуществляли в безводных растворителях. Хлористый метилен и хлороформ, применяемые в синтезах, дополнительно перегоняли над поташом. Индивидуальность полученных соединений и ход реакций контролировали методом ТСХ на пластинках силуфола UV-254 (Kavalier) в системах хлороформ – метанол, 9 : 1 (А), эфир – гексан, 4 : 1 (Б), бензол (В). Очистку веществ проводили колоночной и тонкослойной хроматографией на пластинках (15 × 20 см) с силикагелем L 40/100, L 100/160, L 100/250 (Chemapol), а также с окисью алюминия II степени активности. Электронные спектры сняты на приборе Hitachi-557 в хлороформе, ИК-спектры на спектрофотометре Shimadzu IR-435 в вазелиновом масле (если не оговорено другое). ^1H -ЯМР-спектры выполнены на приборе Bruker WM-250 для растворов веществ в CDCl_3 (в шкале δ), масс-спектры – на спектрометре Varian-Mat-731 методом полевой десорбции (соединения (II), (V), (VII), (IX), (X), (XIII), (XIV)), а также на приборе МСБХ методом плазменно-десорбционной масс-спектрометрии (соединения

(III), (VI), (VIII), (XI)), спектры флуоресценции – на спектрофлуориметре Hitachi-850.

5-[*n*-N-(N^{α} -*трет*-Бутилоксикарбонилглицил)-аминофенил]-10,15,20-трифенилпорфирин (II). К раствору 30 мг (48 мкмоль) порфирина (I) в 10 мл хлористого метилена при охлаждении льдом прибавляли 8.4 мг (48 мкмоль) N^{α} -*трет*-бутилоксикарбонилглицина. Далее прибавляли 9.9 мг (48 мкмоль) DCC и перемешивали 2.5 ч. Растворитель удаляли в вакууме. Остаток растворяли в толуоле. Охлаждали 12 ч при 0°C. Выпавший осадок дициклогексилмочевины отделяли, толуол удаляли в вакууме. Остаток растворяли в хлороформе и промывали 5% водным раствором бикарбоната натрия. Хлороформный экстракт сушили сульфатом натрия, хлороформ удаляли в вакууме. Остаток очищали колоночной хроматографией на силикагеле L 100/160, элюируя смесью растворителей Б. Выделенную фракцию с R_f 0.43 (А) повторно очищали препаративной ТСХ на пластинках в системе Б. Выход 26 мг (69%), R_f 0.43 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 645 (4.7), 590 (5.0), 547 (8.6), 515 (15.0), 417 (310.5). ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3305 (NH), 1718 (амид I уретана), 1626 (амид I порф.), 1577 (амид II уретана), 1530 (амид II порф.). Масс-спектр, m/z 787 [$M+H$] $^+$.

5-[*n*-(N-Глицил)аминофенил]-10,15,20-трифенилпорфирин (III). Раствор 13 мг (16.5 мкмоль) порфирина (II) в 1.4 мл хлористого метилена и 0.4 мл трифторуксусной кислоты перемешивали 2 ч при 20°C. Растворитель удаляли в вакууме. Остаток обрабатывали раствором 21 мкл триэтиламина в 5 мл хлороформа. После прибавления 30 мл хлороформа смесь промывали водой (5 × 20 мл), сушили сульфатом натрия. Растворитель удаляли в вакууме. Остаток очищали препаративной ТСХ на пластинках с силикагелем L 100/160 в системе Б. Выход 10 мг (88 %), R_f 0.24 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 660 (4.52), 590 (5.0), 550 (8.2), 515 (15.0), 417 (320.3). ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3300 (NH), 1650 (амид I), 1547 (амид II). Масс-спектр, m/z : 687 [$M+H$] $^+$.

2-[2'-(O^{α} -*трет*-Бутилаланино)карбонил]винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (V). Раствор 100 мг (0.55 ммоль) хлоргидрата *трет*-бутилового эфира аланина и 76 мкл триэтиламина в 7 мл хлороформа перемешивали 1 ч. Растворитель удаляли в вакууме. Остаток вновь растворяли в 20 мл хлороформа, прибавляли 24 мг (35 мкмоль) порфирина (IV) и 7.2 мг (35 мкмоль) DCC и перемешивали 2 ч. Растворитель удаляли. Остаток растворяли в 15 мл толуола и оставляли на 12 ч при 0°C. Выпавший осадок дициклогексилмочевины отделяли. Толуол удаляли в вакууме. Остаток растворяли в четыреххлористом углероде. Выпавший осадок дициклогексилмочевины вновь

отделяли, растворитель удаляли в вакууме. Остаток подвергали двукратной очистке препаративной ТСХ на пластинках с силикагелем L 40/100 в системе хлороформ – метанол, 15 : 1. Выход 21 мг (74%), R_f 0.84 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 665 (1.5), 600 (1.8), 560 (2.0), 520 (3.6), 425 (311.3). ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3300 (NH), 1738 (СО сл. эфира), 1625 (амид I), 1575 (амид II). ^1H -ЯМР-спектр: 8.87 (7H, с, βH), 7.87 (20H, м, аром. порф.), 7.05 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 6.6 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 6.0 (1H, м, CONH), 4.3 (1H, м, CH), 1.5 (3H, д, J 5.0 Гц, CH_3), 1.3 (9H, с, CH_3). Масс-спектр, m/z 811 $[M]^+$.

2-[2'-(Аланино)карбонил]винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (VI) получен из порфирина (V) по описанной для соединения (III) методике с использованием раствора трифторуксусной кислоты в хлористом метиле. Условия очистки те же. Выход 81%, R_f 0.24 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 660 (1.35), 597 (1.53), 560 (2.3), 521 (3.75), 427 (305.2). ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3300 (NH), 1700 (СО в СООН), 1681 (амид I), 1554 (амид II). Масс-спектр, m/z : 756 $[M+H]^+$.

2-[2'-(О $^\alpha$ -Метилвалино)карбонил]винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (VII) получен из порфирина (IV) по описанной для соединения (V) методике. Очистку проводили препаративной ТСХ на пластинках с окисью алюминия в системе хлороформ – метанол, 15 : 1. Выход 88%, R_f 0.8 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 657 (2.4), 600 (2.7), 560 (3.1), 520 (5.9), 430 (136.8). ИК-спектр (в пленке, ν , см^{-1}): 3300 (NH), 1738 (СО сл. эфира), 1625 (амид I), 1575 (амид II). ^1H -ЯМР-спектр: 8.87 (7H, с, βH), 7.72–8.25 (20H, м, аром. порф.), 7.10 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 6.6 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 5.90 (1H, м, CONH), 5.25 (1H, м, CH), 4.7 (1H, м, $\text{CH}(\text{CH}_3)_2$), 3.75 (3H, с, OCH_3), 1.1 (6H, д, J 5.4 Гц, CH_3), –2.65 (2H, с, NH порф.). Масс-спектр, m/z : 797 $[M]^+$.

2-(2'-(Валино)карбонил)винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (VIII). К раствору 25 мг (31 мкмоль) порфирина (VII) в 5 мл хлороформа прибавляли 12 мг (21 мкмоль) гидроксида калия в 10 мл метанола и кипятили смесь 5 ч. Растворитель удаляли в вакууме, остаток растворяли в хлороформе, промывали водным раствором соляной кислоты (рН 3) до нейтральной реакции, затем водой (2 \times 50 мл). Экстракт сушили сульфатом натрия. Хлороформ удаляли в вакууме. Остаток очищали препаративной ТСХ на пластинках с силикагелем L100/160 в системе хлороформ – метанол, 15 : 1. Выход 11 мг (45%), R_f 0.62 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм: 656, 555, 545, 515, 417. ИК-спектр (в пленке, ν , см^{-1}): 3305 (NH), 1700 (СО

в СООН), 1650 (амид I), 1547 (амид II). Масс-спектр, m/z : 784 $[M+H]^+$.

2-[2'-(О $^\alpha$ -Метиллейцино)карбонил]винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (IX) получен из порфирина (IV) и хлоридрата метилового эфира лейцина по методике, приведенной для порфирина (V). Выход 74%, R_f 0.79 (Б). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 658 (2.5), 595 (2.6), 556 (3.4), 518 (7.1), 423 (104.0). ИК-спектр (в пленке, ν , см^{-1}): 3346 (NH), 2885 (CH), 1723 (СО сл. эфира), 1608 (амид I), 1585 (амид II). ^1H -ЯМР-спектр: 8.75 (7H, с, βH), 8.2–7.75 (20H, м, аром. порф.), 6.91 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 6.6 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 5.7 (1H, м, NHCO), 5.2 (1H, м, $\text{CH}-\text{COO}$), 4.5 (1H, м, CH), 3.6 (3H, с, OCH_3), 3.4 (2H, т, J 6.0 Гц, $\text{CH}-\text{CH}_2$), 1.55 (6H, д, J 5.2 Гц, CH_3). Масс-спектр, m/z : 812 $[M+H]^+$.

2-[2'-(О $^\alpha$ -Метилфенилаланино)карбонил]винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (X) получен из порфирина (IV) и гидрохлорида метилового эфира фенилаланина по методике, приведенной для порфирина (V). Очистку проводили препаративной ТСХ на пластинках с силикагелем L 100/160 в системе Б. Выход 45%, R_f 0.81 (Б). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 652 (3.12), 582 (5.52), 545 (6.85), 510 (17.84), 426 (106.2). ИК-спектр (в пленке, ν , см^{-1}): 3250 (NH), 1740 (СО сл. эфира), 1665 (амид I), 1598 (амид II), 1515 (C=C). ^1H -ЯМР-спектр: 8.87 (7H, с, βH), 8.26–7.32 (25H, м, аром.), 7.05 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 6.55 (1H, д, J 15.5 Гц, $\text{CH}=\text{CH}-\text{CO}$), 6.0 (1H, м, CONH), 4.15 (1H, м, $\text{CH}-\text{CH}_2$), 3.82 (3H, с, OCH_3), 3.15 (2H, д, J 5.0 Гц, $\text{CH}-\text{CH}_2$). Масс-спектр, m/z : 846 $[M+H]^+$.

2-[2'-(Фенилаланино)карбонил]винил-5,10,15,20-тетрафенилпорфирин (XI) получали по методике, описанной для порфирина (VIII). Очищали препаративной ТСХ на пластинках с силикагелем L100/160 в системе А. Выход 40 мг (89%), R_f 0.57 (Б), 0 (В). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм: 655, 596.7, 555, 521, 427. ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3300 (NH), 1720 (СО в СООН), 1665 (амид I), 1598 (амид II). Масс-спектр, m/z : 832 $[M+H]^+$.

5-[2'-(5,10,15,20-Тетрафенилпорфиринил)винил-карбонил]валилглицил]-*n*-аминофенил-10,15,20-трифенилпорфирин (XII). При охлаждении льдом растворяли в 7 мл хлористого метилена 11 мг (16 мкмоль) порфирина (III), 12.5 мг (16 мкмоль) порфирина (VIII), прибавляли 8 мг (38.8 мкмоль) DCC и перемешивали 2.5 ч. Затем температуру повышали до 20°C и перемешивали еще 2.5 ч. Растворитель удаляли в вакууме. К остатку добавляли 3 мл толуола. Выпавший осадок отделяли. Толуол удаляли в вакууме. Остаток очищали двукратно препаративной ТСХ на пластинках с силикагелем L100/160 в системе Б. Вы-

ход 7 мг (30%), R_f 0.86 (А). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм ($\epsilon \times 10^{-3}$): 645 (5.1), 556 (6.3), 547 (8.2), 512 (10.8), 415 (220.2). ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3305 (NH), 1712 (амид I), 1595 (амид II). Масс-спектр, m/z : 1451 $[M]^+$.

{2-[2'-(5,10,15,20-Тетрафенилпорфиринил)винилкарбонилфенилаланил]оксиметил-5,10,15,20-тетрафенилпорфиринато}медь (XIV). К раствору 36 мг (43.3 мкмоль) порфирина (XI) в 25 мл хлористого метилена при охлаждении прибавляли 2.3 мл пиридина и 9.4 мг (43 мкмоль) ди-*трет*-бутилпирокрбоната. Перемешивали 20 мин при 0°C, прибавляли 31 мг (43.3 мкмоль) порфирина (XII) и 6 мг (49 мкмоль) N,N'-диметиламинопиридина и перемешивали еще 3 ч при 20°C. Реакционную массу выливали в 90 мл 2% водного раствора соляной кислоты, продукт экстрагировали хлороформом (30 мл), экстракт промывали водой (2 × 50 мл). Сушили сульфатом натрия, растворитель удаляли в вакууме. Остаток очищали ТСХ на пластинках L 100/160 в системе А. Выход 8 мг (12%), R_f 0.88 (В). Электронный спектр, $\lambda_{\text{макс}}$, нм: 645.8, 588.3, 522.5, 417. ИК-спектр, ν , см^{-1} : 3250 (NH), 1740 (СО сл. эфира), 1675 (амид I), 1560 (амид II). Масс-спектр, m/z : 1520 $[M]^+$.

Авторы благодарят Российский фонд фундаментальных исследований за поддержку данной работы (проект № 97-03-33158).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грибкова С.Е., Евстигнеева Р.П., Лузгина В.Н. // Успехи химии. 1993. Т. 62. С. 961–1048; Russian Chemical Rev. 1993. V. 62. P. 963–979.
2. Грибкова С.Е., Лузгина В.Н., Евстигнеева Р.П. // Журн. орган. химии. 1993. Т. 29. С. 758–763.
3. Евстигнеева Р.П., Грибкова С.Е., Лузгина В.Н., Русских О.П., Тусов В.Б. // Докл. РАН. 1994. Т. 337. С. 205–207.
4. Евстигнеева Р.П., Грибкова С.Е., Лузгина В.Н., Пащенко В.З., Тусов В.Б., Корватовский Б.Н. // Биоорган. химия. 1995. Т. 21. С. 133–138.
5. Hitoshi T., Kimiatsu N., Kazuhiro M. // Bull. Chem. Soc. Jpn. 1994. V. 67. P. 1863–1871.
6. Hitoshi T., Kimiatsu N., Kazuhiro M. // Bull. Chem. Soc. Jpn. 1993. V. 66. P. 3062–3068.
7. Matthews S.E., Pouton C.W., Threadgill M.D. // J. Chem. Soc., Chem. Commun. 1995. P. 1809–1811.
8. Макаров В.В., Филиппович Е.И., Евстигнеева Р.П. // Химия гетероцикл. соединений. 1987. № 9. С. 194–199.
9. Грибкова С.Е., Резцова Н.А., Лузгина В.Н., Евстигнеева Р.П., Кулиш М.А. // Биоорган. химия. 1994. Т. 20. С. 536–541.
10. Пономарев Г.В., Маравин Г.Б. // Химия гетероцикл. соединений. 1982. № 1. С. 59–64.

The Synthesis and Physicochemical Properties of Mono- and Diporphyrin Conjugates of Tetraphenylporphyrin Derivatives and Amino Acids

R. P. Evstigneeva, V. N. Luzgina, N. Yu. Kiseleva, N. V. Konovalova, and I. V. Rakitina

Lomonosov State Academy of Fine Chemical Technology, pr. Vernadskogo 86, Moscow, 117571 Russia

Tetraphenylporphyrin derivatives were conjugated with amino acids (glycine, alanine, valine, leucine, and phenylalanine). The resulting compounds were transformed into diporphyrin structures whose macrocycles were connected via amino acid (–Phe–) or dipeptide (–Gly–Val–) bridges. Physicochemical characteristics of the substances synthesized were studied.

Key words: photosynthesis, porphyrins, amino acids, diporphyrin structures