

# ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЕТАЛЛОИДОВ НА КАЧЕСТВО МИНЕРАЛЬНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В РЕКАХ ХАМЛУОНГ, КЫАДАЙ, МИТХО (ДЕЛЬТА МЕКОНГА, ВЬЕТНАМ)

Н.Н. Терещенко<sup>1</sup>, В.Ю. Проскурнин<sup>1</sup>, И.Г. Сидоров<sup>1</sup>,  
О.Д. Чужикова-Проскурнина<sup>1</sup>, Нгуен Чонг Хиен<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН» (ФИЦ ИнБЮМ), г. Севастополь, Российская Федерация

<sup>2</sup> Южное отделение Совместного Вьетнамско-Российского Тропического научно-исследовательского и технологического центра (СВРТНИТЦ), Хошимин, Социалистическая Республика Вьетнам

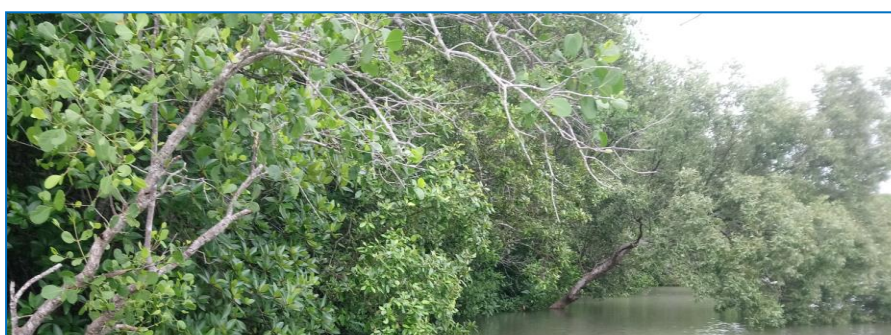
## СОВМЕСТНЫЕ ЭКСПЕДИЦИОННЫЕ И ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ В ПЕРИОД ИССЛЕДОВАНИЙ ВО ВЬЕТНАМЕ



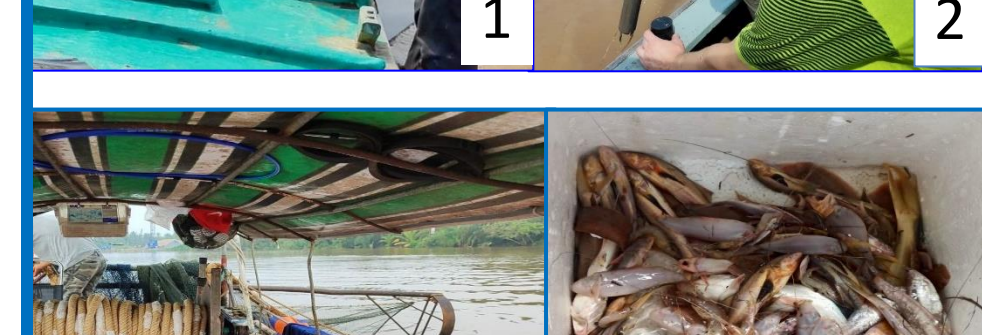
Отлив – низкий уровень воды (R)

Объекты исследования – реки на юге Вьетнама (1-3)

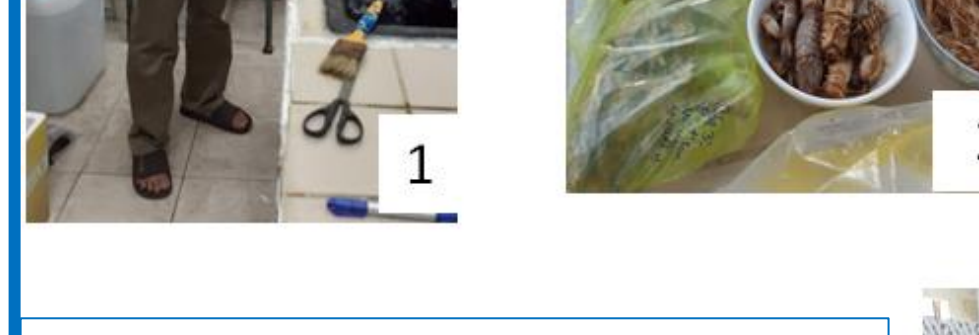
Акваферма на р. Лонгтау



Прилив - высокий уровень воды (L)



Экспедиционные работы на реках – отбор проб (1-4)



Обработка проб воды и гидробионтов в лаборатории Южного Отделения СВ-РТНИТЦ (1-6)



Cloridopsis scorpio



Масс-спектрометр PlasmaQuant MS ELIT (ФИЦ ИнБЮМ)

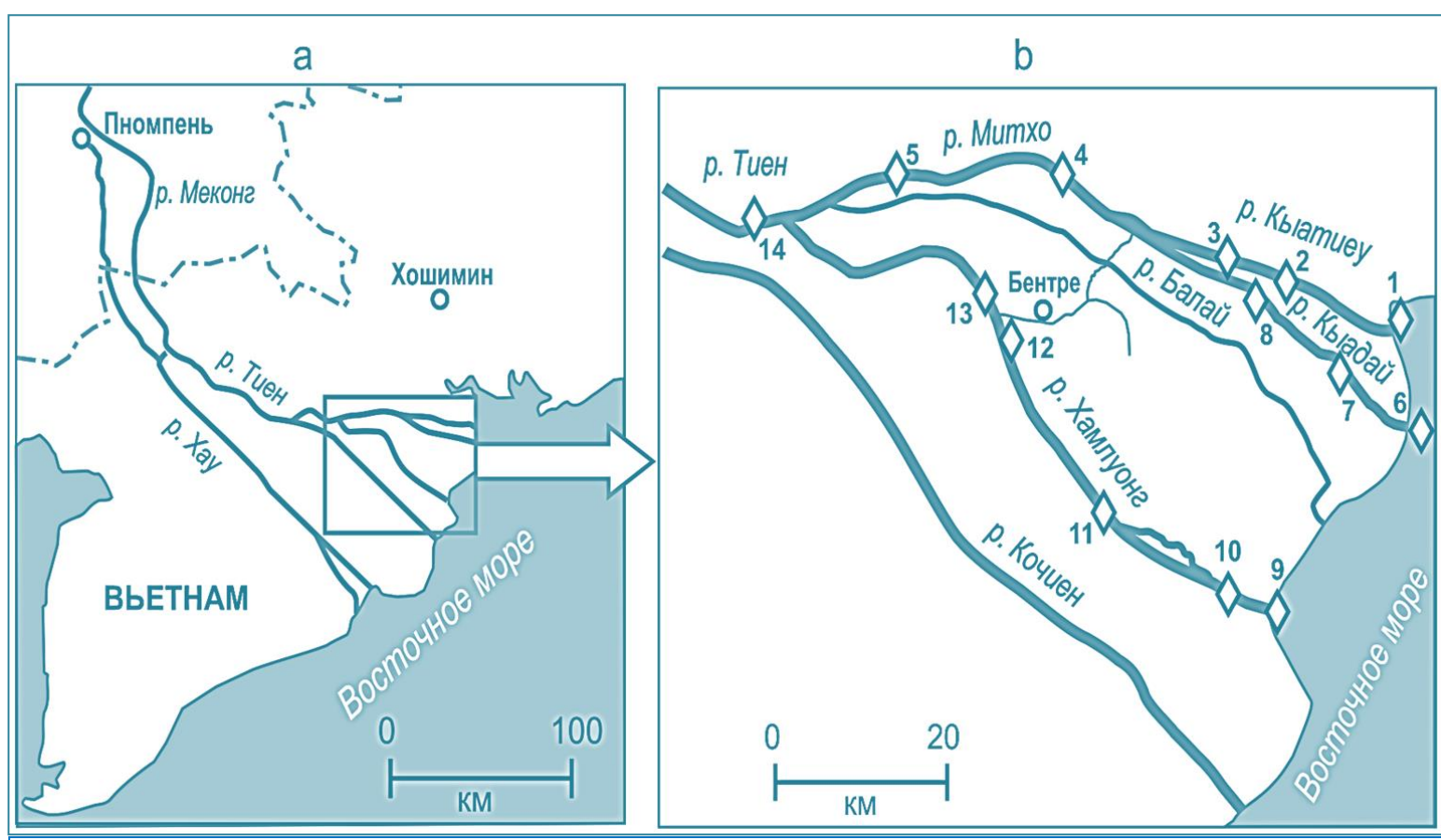


Рис. 1. Схема-карта нижней части дельты Меконга на территории Вьетнама (а) и расположения станций отбора проб (1-6) на реке Хамлуонг (б)

**ВВЕДЕНИЕ.** Реки Вьетнама – это важный источник биопродукционных, транспортных и рекреационно-туристических, хозяйственно-водных и минеральных ресурсов государства. Одной из самых значимых речных систем служит дельта реки Меконг. Антропогенное воздействие на реки возрастает в развивающемся государстве с ростом экономики, сельского хозяйства, промысла природных ресурсов и урбанизации территорий. Поэтому, целью данного исследования было изучение уровней концентраций тяжелых металлов и металлоидов в воде, донных отложениях и гидробионтах: рыбах и креветках в реках нижней части дельты реки Меконг для оценки качества минеральных и биоресурсов и его сравнение с таковым в охраняемых акваториях: реки Кагау и Лонгтау в Канзэ.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.** Исследования проводили в мае 2021 г. и в ноябре-декабре 2022 г. на реке Хамлуонг в дельте Меконга, а также реках Кагау (полигон I) и Лонгтау (полигон II) (рис. 1, 2). В пробах природных объектов определяли следующие химические элементы: Ag, As, Be, Cd, Co, Cu, Fe, Mo, Ni, Pb, Se, Sb, Tl, V, Zn. После термической обработки проб, согласно руководящим документам, в образцах проб измеряли указанные элементы на масс-спектрометре PlasmaQuant MS ELIT в Центре коллективного пользования «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ. Оценку хемотоксического состояния в акваториях путем сравнения полученных уровней концентраций загрязнителей с нормативными показателями качества воды: их предельно допустимыми концентрациями (ПДК) и пределом безопасных концентраций (ПБК). Использовали нормативы установленные во Вьетнаме, России и «Голландские листы» (Нидерланды). К критическим элементам относили тяжелые металлы (ТМ) и металлоиды (МЛД), концентрации которых превышали ПДК, а потенциально критическим – элементы, концентрации которых превышали ПБК.

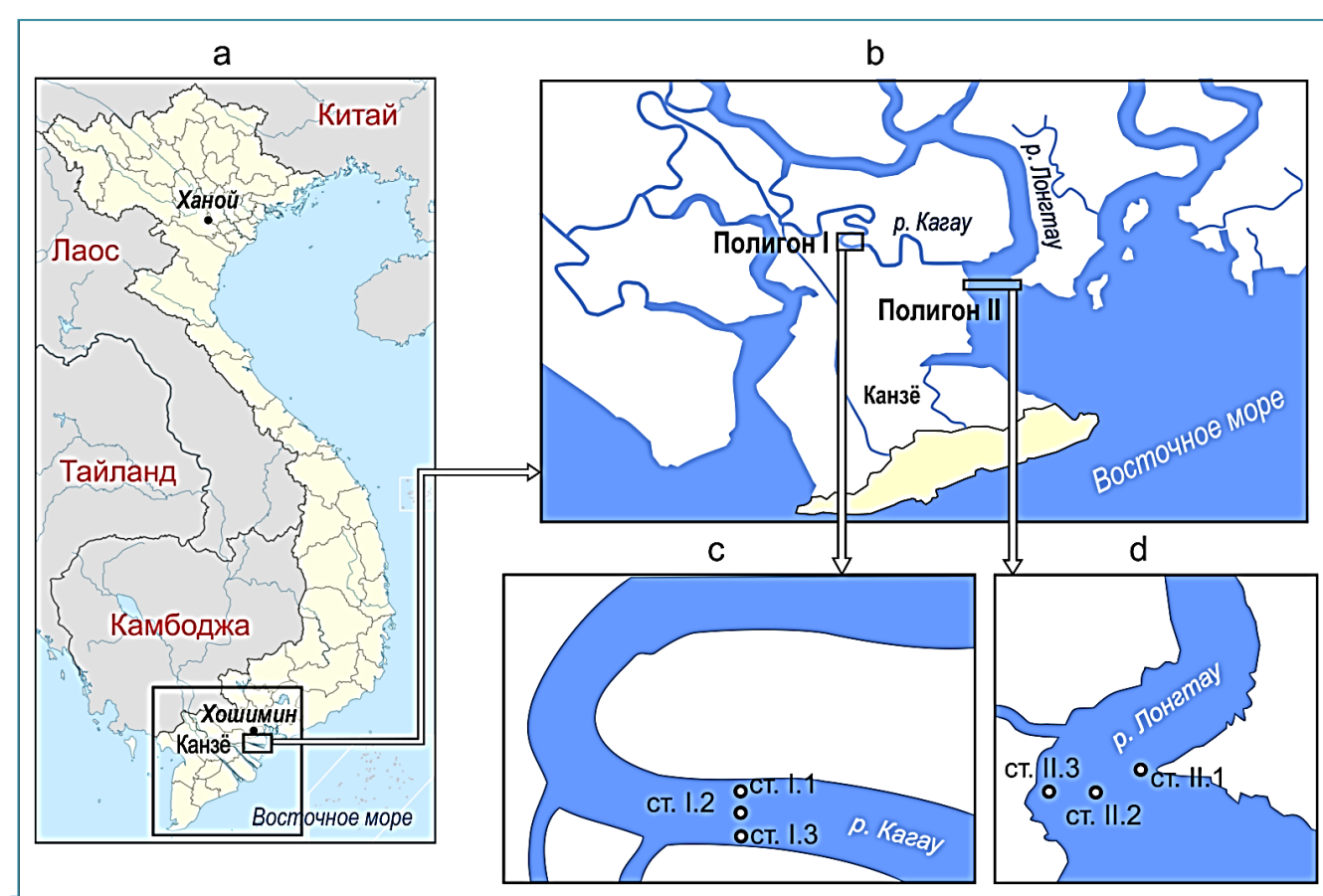


Рис. 2. Биосферный заповедник Канзэ (а), схема полигонов (б) и станций на полигоне I в р. Кагау (с) и на полигоне II в р. Лонгтау (д)

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.** Результаты исследования показали, что самая неблагоприятная экологическая ситуация наблюдалась в отношении концентрации взвешенного вещества. Его концентрация в водах речных рукавов в дельте Меконга была на всех станциях выше норматива от 2 до 11 раз, за исключением ст. 7, 8, 12 где значения были немного ниже нормы или незначительно ее превышали (Таблица 1). Концентрации ТМ и МЛД во взвеси были высокими: 9 элементов (V, Cu, Ni, Co, Pb, Cd, Be, Cr, Ba) отнесены к критическим элементам (их концентрации превысили ПДК) и 4 элемента (Mo, As, Se, Tl) отнесены к потенциально критическим элементам (их концентрации превысили ПБКнд) – нормативы, установленные для валового содержания элементов в поверхностных водах.

Река	№ станции, горизонт отбора проб	С <sub>взв</sub> , мг/л	№ станции, горизонт отбора проб	С <sub>взв</sub> , мг/л	№ станции, горизонт отбора проб	С <sub>взв</sub> , мг/л
Тиен	14ПВ	24,2-26,3	4ПВ	22,5-29,0	9ПВ	96,1-152,3
	14Д	74,5	4Д	35,9	9Д	188,8
Кыадай	1ПВ <sub>прилив</sub>	50,3-105,5	5ПВ	22,4-23,3	10ПВ	44,9-84,9
	1Д <sub>прилив</sub>	152,0	5Д	23,4	10Д	155,3
	1ПВ <sub>отлив</sub>	94,9-190,5	6ПВ	24,0-35,2	11ПВ	30,6-40,7
	1Д <sub>отлив</sub>	199,0	6Д	20,9	11Д	74,7
	2ПВ	55,1-141,6	7ПВ	17,2-34,6	12ПВ	18,8-25,5
	2Д	228,6	7Д	12,6	12Д	35,6
Митхо	3ПВ	24,5-34,7	8ПВ	18,0-20,8	13ПВ	28,1-29,1
	3Д	51,4	8Д	23,4	13Д	61,9

Концентрации растворенной формы микроэлементов в воде рек были ниже на несколько порядков величин чем для взвеси. К критическим элементам, в растворенной форме в воде отнесены Cu, Zn (Рис.3), Ni, Fe, Mo, а к потенциально критическим – Pb, Cd, Co, Ag, Se (Таблица 2). В реках буферной зоны заповедника Канзэ по уровням концентраций растворенной формы микроэлементов в воде к критическим элементам отнесены только 2 элемента: Cu, Mo, а к потенциально критическим – Pb, Zn, As, Se. Концентрация поллютантов во взвеси в р. Кагау и Лонгтау была на порядки величин выше, чем растворенной формы, как и в реках дельты Меконга. К критическим элементам отнесены V, Cu, Ni, Co, а к потенциально критическим – Pb, As, Tl.

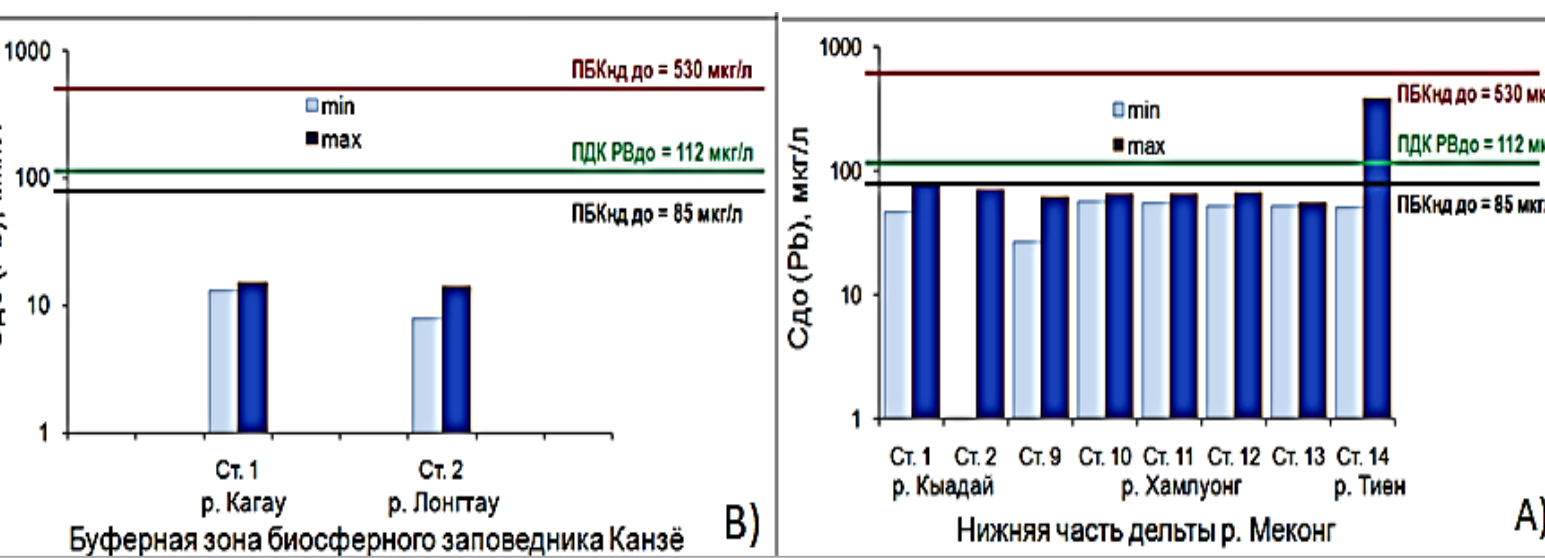
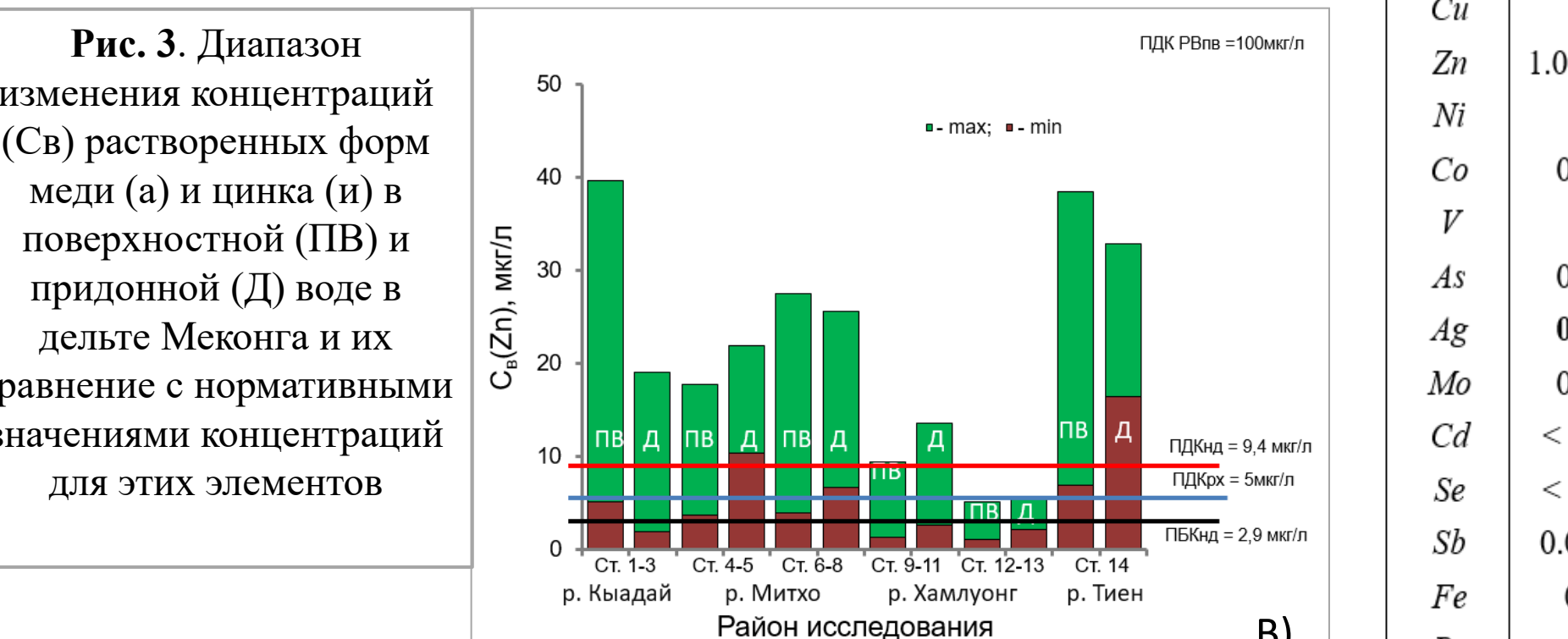
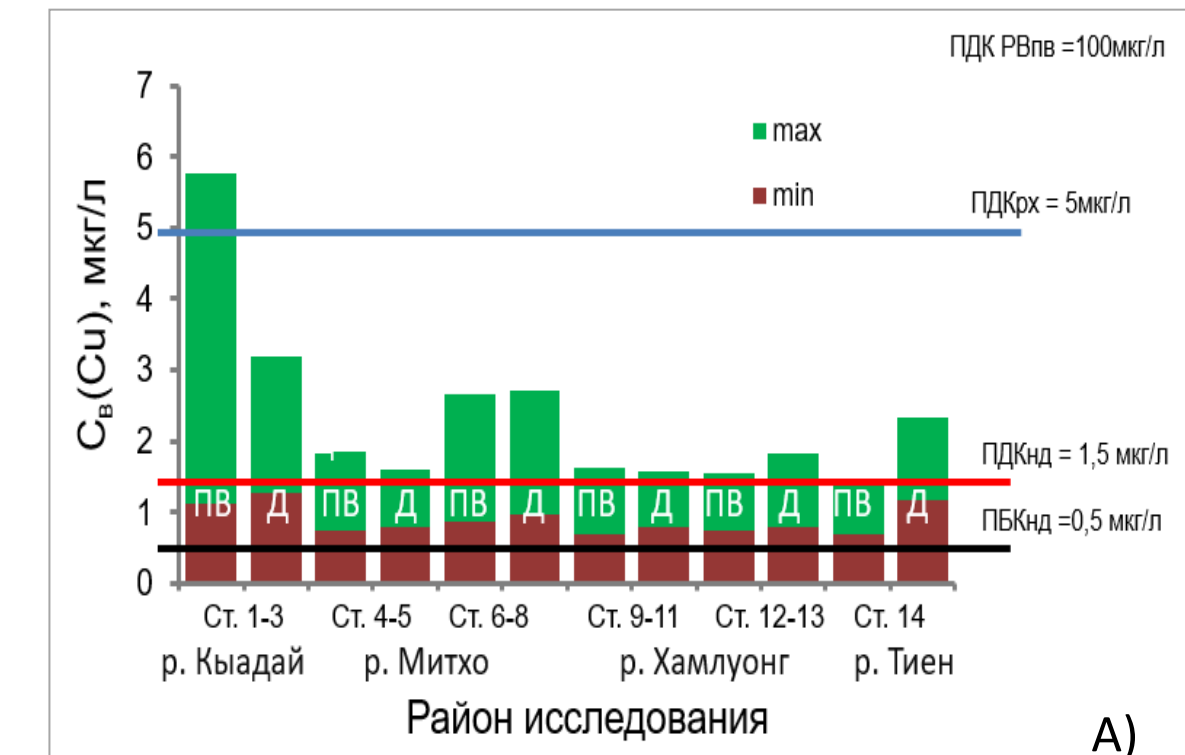


Рис. 4. Диапазон изменения концентрации свинца (С<sub>до</sub>) в ДО в реках в дельте Меконга (А) и в заповеднике Канзэ (В) и нормативные значения концентрации для этих элементов

Установлены также критические элементы для донных отложений (ДО). В дельте Меконга к критическим элементам ДО отнесен только для Pb (рис.4), а к потенциально критическим Co, Cd, V, Be, Se (Рис.5). В обеих реках Канзе по всем элементам, для которых установлены нормативы, для ДО ПДК не была превышена. Здесь выявлено незначительное количество только потенциально критических элементов в ДО, это - Co, Ni, Se и Tl.

Анализ величин концентраций в гидробионтах как продуктовом сырье и продуктах питания показал, что в рыбах из рек дельты Меконга концентрации микроэлементов превышают ПДК<sub>ПВ</sub> для рыбы как пищевого продукта: для Cd и Pb – у всех исследованных видов рыб, для Zn и As – в некоторых видах. В креветках наблюдали также превышение ПДК<sub>ПВ</sub> для Cd, Cu и Pb.

В реках же заповедника Канзэ в тушках рыб не наблюдали превышение ПДК<sub>ПВ</sub> как и в креветках. Была также проведена оценка аккумуляционной способности гидробионтов в отношении ТМ и МЛД. Кн у разных видов гидробионтов варьировали от нескольких единиц до  $n \times 10^4$ . Самые высокие значения Кн отмечены для As, Se, Zn, Fe, Co, Tl и у отдельных видов для Cu ( $n \times 10^3 - n \times 10^4$ ). Для таких элементов как Mo, Pb, Cd и Ag характерны низкие Кн, которые не превышали  $n \times 10^2$ .

Виды гидробионтов, у которых Кн микроэлементов составляют величины  $\geq n \times 10^3$  рекомендовано использовать в качестве индикаторов химического загрязнения в отношении соответствующих поллютантов.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ.** Таким образом, по результатам определения концентраций ТМ и МЛД в компонентах речных экосистем (вода, донные отложения, взвешенное вещество, гидробионты: рыбы и креветки) дана оценка экологического состояния природных ресурсов рек по нормативным показателям ПДК и ПБК, определены критические и потенциально критические элементы для минеральных и биоресурсов рек в восточном районе нижней части дельты Меконга и реках Канзэ, критические элементы рекомендованы для первоочередного мониторинга. В целом качество минеральных (особенно ДО) и биоресурсов в реках Канзе лучше, чем в дельте Меконга, что свидетельствует об эффективности природоохранных мер в заповеднике.

Таблица 2. Диапазон концентраций ТМ и МЛД (С<sub>р</sub>) в акваториях р. Хамлуонг и нормативные показатели (жирным шрифтом выделены данные, превышающие одно из нормативных значений; н.д. – нет данных). Относительная ошибка определения элементов составляла не более  $\pm 10\%$ .

Микроэлемент	Диапазон изменения концентрации с 6 ст., мкг/л	ПДК <sub>р</sub> , мкг/л (номер станции с повышенной концентрацией, С <sub>р</sub> )	ПДК <sub>ст</sub> , мкг/л (номер станции с повышенной концентрацией, С <sub>р</sub> )	ПБК <sub>ст</sub> , мкг/л (номер станции с повышенной концентрацией, С <sub>р</sub> )	ПДК <sub>гр</sub> , мкг/л для источников категории А1
Pb	0.10-1.333	10	11	0.3 (ст. 6)	20
Cu	0.68-1.17	5	1.5	0.5 (ст.1-6)	100
Zn	1.01-8.07-31.61	50	9.4 (ст. 6)	2.9 (ст. 1-5)	500
Ni	0.39-1.28	10	5.1	3.3.	100
Co	0.002-0.482	10	2.8	0.2 (ст. 3)	n.d.
V	0.13-0.87	1	4.3	0.9	n.d.
As	0.007-0.255	10	2.5	1.0	10
Ag	0.012-0.043	n.d.	1.2	0.01 (ст. 1,2,4,5)	n.d.
Mo	0.014-1.383	1	290	4.3	n.d.
Cd	< 0.002-0.061	10	0.4	0.08	5
Se	< 0.002-0.042	2	5.3	0.09	n.d.
Sb	0.0024-0.0088	n.d.	6.5	0.4	n.d.
Fe	0.46-32.35	100	n.d.	n.d.	500
Be	< 0.003	0.3	0.2	0.02	n.d.
Tl	0.0024-0.0070	n.d.	1.6	0.06	n.d.

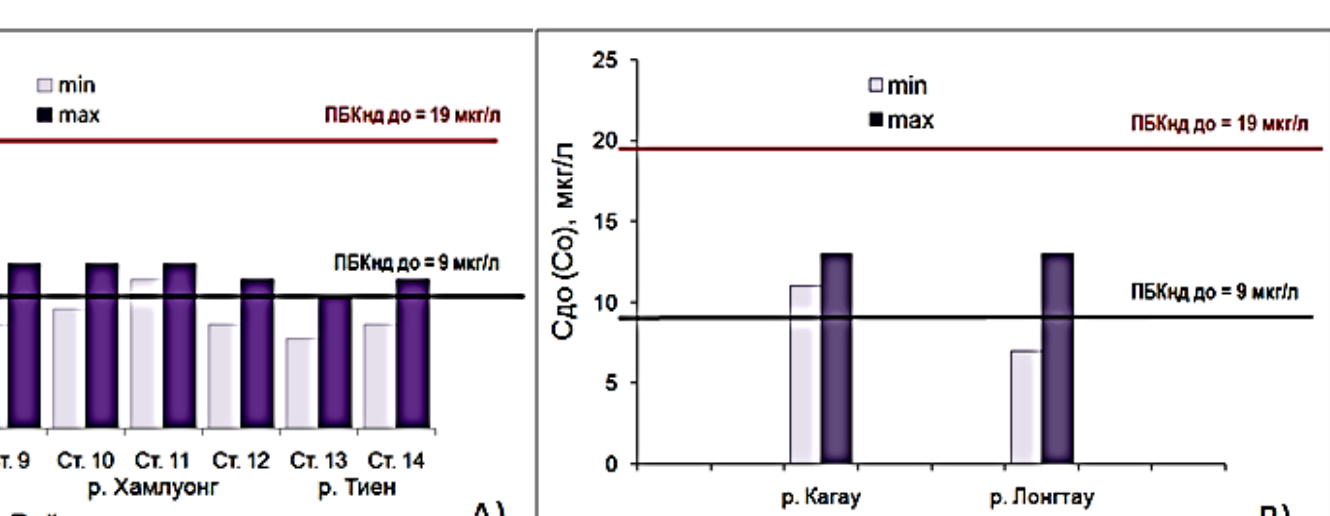


Рис. 5. Диапазон изменения концентрации кобальта (С<sub>до</sub>) в ДО в реках в дельте Меконга (А) и в заповеднике Канзэ (В) и нормативные значения для этих элементов

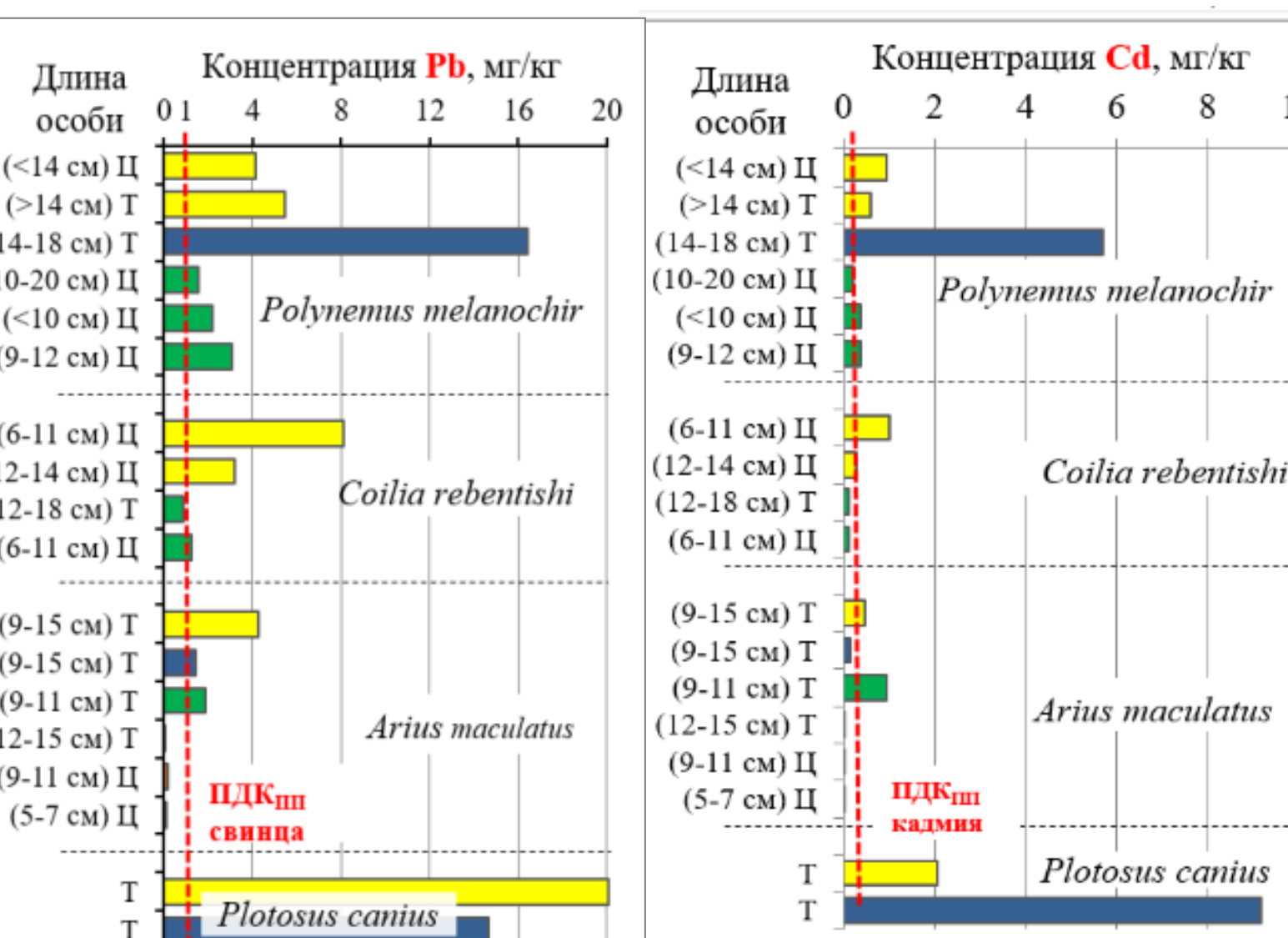


Рис. 6. Концентрации ТМ свинца и кадмия и ПДК<sub>ПВ</sub> в рыбах, где: Т – тушка особи, Ц – целая особь, - р. Кыадай; - р. Митхо; - р. Хамлуонг

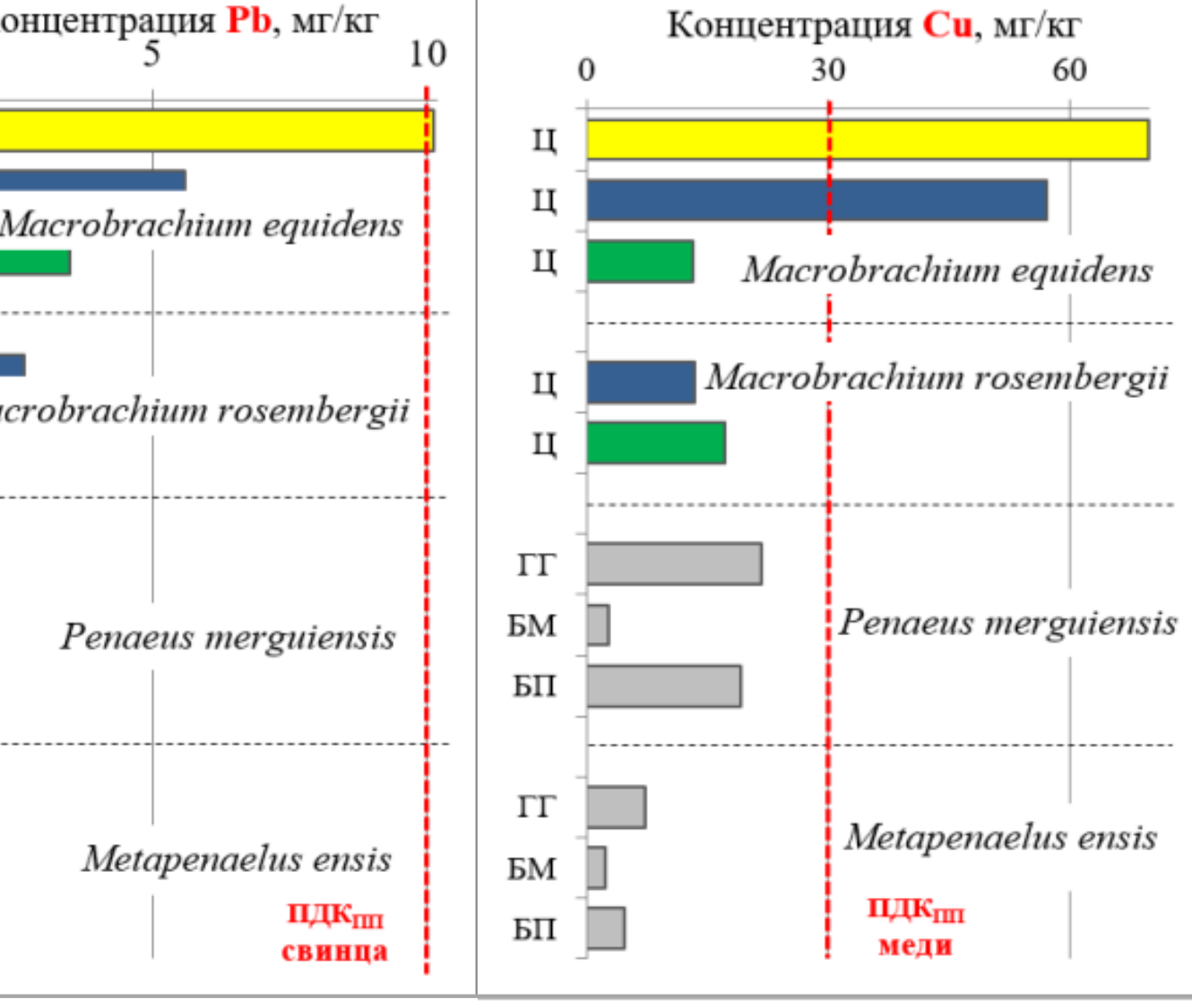


Рис. 7. Концентрации ТМ свинца и меди и ПДК<sub>ПВ</sub> в креветках, где: Ц – особь целиком, ГГ – головогрудь, БМ – брюшная мышца, БП – брюшной панцирь, - р. Кыадай; - р. Митхо; - р. Хамлуонг; - р. Лонгтау