

## ЭКОТОКСИКОКИНЕТИКА И ЭКОТОКСИКОДИНАМИКА ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ В УСЛОВИЯХ ТРОПИКОВ

Академик РАМН СОФРОНОВ Г. А.<sup>1</sup>, РУМАК В. С.<sup>2</sup>, ЛАЗАРЕНКО Д. Ю.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ГУ «Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины СЗО РАМН», Санкт-Петербург,

<sup>2</sup>Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва,

<sup>3</sup>Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург

**Софронов Г. А., Румак В. С., Лазаренко Д. Ю.** Экоотоксикокинетика и экоотоксикодинамика токсичных химических веществ в условиях тропиков // Мед. акад. журн. 2010. Т. 10. № 4. С. 183–190. ГУ «Научно-исследовательский институт экспериментальной медицины СЗО РАМН», Санкт-Петербург, 197376, ул. Академика Павлова, 12; Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, 119071; Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург, 194044.

В работе представлены данные исследований экоотоксикокинетики и экоотоксикодинамики токсичных химических веществ в условиях тропиков. Показано мощное влияние климата тропиков на последствия для природы и человека применения военных гербицидов во Вьетнаме.

*Ключевые слова:* военные гербициды, тропики Вьетнама, экоотоксикокинетика диоксинов, влияние на экосистемы, здоровье человека, тропическая токсикология.

**Sofronov G. A., Roumak V. S., Lazarenko D. Y.** Ecotoxicokinetics and ecotoxicodynamics of toxic chemical substances in conditions of tropics // Med. Acad. Journ. 2010. Vol. 10. № 4. P. 183–190. Research Institute of Experimental Medicine of the RAMS, St. Petersburg, 197376; A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, 119071; S.M. Kirov Russian Military Medical Academy, St. Petersburg, 194044.

This article presented data of researches ecotoxicokinetics and ecotoxicodynamics of toxic chemical substances in conditions of tropics. Is shown powerful influence of a climate of tropics on consequences for the nature and the person of application of military herbicides in Vietnam.

*Key words:* military herbicides, tropics of Vietnam, ecotoxicokinetics of dioxins, influence of on the ecosystem, human health, tropical toxicology.

Для корреспонденции: Софронов Генрих Александрович, академик РАМН, руководитель Отдела экологической физиологии НИИ экспериментальной медицины СЗО РАМН, тел. (812) 234-37-47, e-mail: gasofronov@mail.ru

### ВВЕДЕНИЕ

Известно, что химические загрязнения окружающей среды в региональных и глобальном масштабах оказывают негативное влияние на все компоненты биосферы. Повышенный уровень загрязненности атмосферы, почв, водоемов привел к избыточным нагрузкам на окружающую среду, с которыми биосфера подчас не справляется. Это отрицательно сказывается на протекании естественных природных циклов и уже вторично – на состоянии окружающей среды. Раскрытие закономерностей в формировании ответных реакций природной среды на воздействие химических загрязнителей составляет невероятно сложную научную задачу и, безусловно, требует системного подхода. В этом смысле университетский характер организации научных исследований, когда к исследованию какой-либо проблемы привлекается широкий круг специалистов в области биологии, химии, медицины, математики и др., наилучшим образом способствует получению системных научных

представлений, в том числе и в области экологической токсикологии.

Экологическая токсикология – сравнительно новое научное направление, Международным научным комитетом по проблемам окружающей среды выделенное в качестве самостоятельного в 1969 г. Сегодня экотоксикологию определяют как «междисциплинарное научное направление, связанное с токсическими эффектами химических веществ на живые организмы, преимущественно на популяции организмов, и биоценозы, входящие в состав экосистем. Она изучает источники поступления вредных веществ в окружающую среду, их распределение в этой среде, действие на живые организмы. Человек, несомненно, является наивысшей ступенью в ряду биологических мишеней» [1]. Другими словами, экотоксикология призвана изучать экологические и токсикологические эффекты химических загрязнителей на уровне популяций, сообществ и экосистем во взаимосвязи с судьбой экотоксикантов (их перемещением, превращениями и удалением – экотокси-

кокинетикой) в окружающей среде. Отметим одну важную особенность токсического действия химических веществ на экосистемном уровне: здесь окружающая среда выступает активным фактором, определяющим особенности поведения химического вещества в природных системах, особенности их взаимодействия с различными компонентами биоты, в конечном счете, меру ущерба, наносимого живым организмам, их популяциям и экосистемам. Климато-географические характеристики конкретного региона имеют решающее значение для экотоксикокинетики, а также токсических эффектов химических загрязнителей на уровне биологических эффектов экосистем (экотоксикодинамики).

Достоверной иллюстрацией этого заключения являются последствия химической войны США во Вьетнаме в период 1962–1971 гг.

### КРАТКАЯ СПРАВКА О СЦЕНАРИИ ХИМИЧЕСКОЙ АГРЕССИИ США ВО ВЬЕТНАМЕ

Многочисленные литературные свидетельства, в том числе официальные документы армии США, дают достаточно полное представление о масштабах операции Ranch Hand, предпринятой армией США для срыва наступательных действий военных формирований Народно-демократической республики Вьетнам и партизан в Центральном и Южном Вьетнаме.

За 10 лет войны над территориями Центрального и, в особенности, Южного Вьетнама было распылено около 91 тыс. т химикатов, преимущественно дефолиантов. Они представляли собою бинарные смеси химических соединений (всего было использовано 14 рецептов), расфасованных в емкости разной окраски (оранжевой, белой, голубой), чему соответствовали названия целевых препаратов: «Оранжевый агент», «Белый агент», «Голубой агент» (табл. 1).

Кроме дефолиантов, в больших количествах использовались отравляющее вещество раздражающего действия CS (9 тыс. т) и инсектицид малатион (3,0 тыс. т), весьма токсичный для человека. Среди примененных дефолиантов 62% составлял «Оранжевый агент» – смесь *n*-бутиловых эфиров 2,4,5-трихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4,5-Т) и 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) в весовом отношении 1,24 : 1. Препарат 2,4,5-Т в качестве микропримеси (в среднем 1910 мкг/кг) содержал 2,3,7,8-тетрахлордibenzo-*n*-диоксин (ТХДД, диоксин), наиболее токсичный и опасный из всех химических загрязнителей. Количественные оценки распыленного над Вьетнамом диоксина варьируют от 170 до 500 кг и более [3, 4].

За период 1962–1971 гг. (87% с 1966 по 1971 г.) дефолиантами было обработано свыше 1,6 млн га

(по некоторым оценкам более 2 млн га), или 10% территории Южного Вьетнама. Норма расхода гербицидов составила в среднем 43,2 л/га, что в 30 раз превышает рекомендуемую для сельскохозяйственных целей [5, 6]. Отдельные районы подвергались обработке дефолиантами повторно до трех раз. Кроме того, использовались напалм и механическое уничтожение почвенного и растительного покрова с помощью бульдозеров. Таким способом было уничтожено более 300 тыс. га земель.

В результате химической агрессии на огромной территории погибли уникальные лесные массивы и сельскохозяйственные угодья Южного Вьетнама (табл. 2). Пострадали 4,8 млн крестьян в 22000 деревень в 10 южно-вьетнамских провинциях [4].

События почти 50-летней давности в короткий срок привели к формированию на обработанных химикатами территориях экологической катастрофы, затронувшей наземные и водные экосистемы, а также здоровье и благополучие миллионов людей.

### ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СУДЬБА (ЭКОТОКСИКОКИНЕТИКА) ДИОКСИНОВ В ТРОПИКАХ ВЬЕТНАМА

Мониторинг химического загрязнения природной среды Южного Вьетнама, пострадавшей во время войны, осуществлялся путем динамического контроля содержания в абиотических и биотических компонентах диоксиноподобных соединений (ДПС). Такую методологию определили два ведущих обстоятельства: высокая устойчивость ДПС в объектах окружающей среды и чрезвычайная опасность ДПС, в особенности ТХДД, как экотоксиканта.

Наиболее систематические исследования выполнены во Вьетнаме сотрудниками лаборатории аналитической токсикологии Института проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН (А. Н. Клюев, Е. С. Бродский, С. С. Юфит, А. А. Шелепчиков, Д. Б. Фешин и др.). Ими были определены уровни ДПС в различных природных матрицах, в продуктах питания, готовой пище, в биосубстратах человека в загрязненных провинциях Южного Вьетнама, а также в незагрязненных военными ДПС районах Северного Вьетнама. Анализ полученной информации в сопоставлении с литературными данными, полученными в других районах планеты, позволил прийти к фундаментальным заключениям о своеобразии экотоксикокинетики ДПС в условиях тропиков.

Как уже отмечалось, диоксины весьма устойчивы в окружающей среде. Период их полураспада в почвах и донных осадках, в зависимости от климатических условий, может составлять десятки лет (табл. 3).

Военные гербициды, применявшиеся в операции Ranch Hand армией США во Вьетнаме, и площади поражения ими [2]

Наименование гербицида	Сроки применения	Количество (тыс. т)	Площадь поражения (млн га)
«Оранжевый агент»	1962–1970	57,0	1,6
«Белый агент»	1966–1971	20,8	0,7
«Голубой агент»	1962–1970	10,7	0,3

Распределение обработанной гербицидами территории Южного Вьетнама с различными типами растительности [5]

Тип растительности	Общая площадь (тыс. га)	Площадь территории, подвергшаяся обработке	
		тыс. га	% общей площади
Сомкнутый лес	5800	1077	18,6
Открытый (прозрачный) лес	2000	100	5,0
Бамбуковые заросли	800	40	5,0
Мангровый лес	500	151	30,2
Каучуковые плантации	100	30	30,0
Смешанная древесная растительность	1100	36	3,3
Всего лесных территорий	10300	1434	13,9
Посевы риса	3000	236	7,9
Всего лесов и посевов	13300	1670	13
Итого	17226	1670	9,7

Период полураспада ( $t_{1/2}$ ) диоксинов в условиях Балтийского региона при среднегодовой температуре +7 °C [7]

Конгенер	$t_{1/2}$		
	В воздухе, дней	В воде, месяцев	В почве и донных осадках, лет
2,3,7,8-ТХДД	8	5	103
1,2,3,7,8-ПеХДД	15	10	114
1,2,3,4,7,8-ГкХДД	31	20	274
ОХДД	165	41	148

Наиболее быстрая деградация диоксинов (дибензо-*n*-диоксинов, ПХДД и дибензофуранов, ПХДФ) происходит в атмосферном воздухе при воздействии ультрафиолетового излучения. Фотолиз диоксинов возможен на поверхности почвы и воды. Механизм разложения ПХДД/ПХДФ в воде, донных осадках и почвах остается до конца невыясненным.

Существует ряд устоявшихся положений о кругообороте ДПС в природе. В частности, полагают, что вследствие высокой липофильности диоксины сорбируются в верхнем слое почв, а крайне низкая растворимость в воде препятствует их проникновению вглубь [8]. Многолетние наблюдения на территориях, сильно загрязненных 2,4,5-Т и 2,4-Д в США и Канаде, свидетельствуют об отсутствии 2,3,7,8-ТХДД на глубине более 5–20 см [9, 10]. С поверхности почвы диоксины могут попадать в атмосферу. Активность этого процесса определяется целым рядом

факторов: скоростью ветра, температурой воздуха, влажностью, дисперсностью частиц, растительным покровом и др.

Химико-аналитические исследования в Южном Вьетнаме привнесли принципиально новые представления о поведении диоксинов в окружающей среде.

Расчеты, проведенные Н. А. Ключевым [5], свидетельствуют, что величина загрязнения почвы по окончании войны могла составлять 163 мг 2,3,7,8-ТХДД на 1 га, или в среднем 50 нг/кг на площади 1,7 млн га. Реальные же уровни 2,3,7,8-ТХДД в почвах Южного Вьетнама, установленные в 90-х гг. прошлого столетия и позднее, оказались существенно ниже расчетных (табл. 4).

Данные, представленные в табл. 4, позволяют сделать дополнительные заключения: имеют место отчетливая мозаичность загрязнений, а также быст-

рая динамика снижения количества 2,3,7,8-ТХДД в почвах. Полагают, что в настоящее время на территории Южного Вьетнама существуют три источника «военных» диоксинов: места заправки самолетов и хранения «Оранжевого агента», опыленное пространство и зоны «вторичного загрязнения диоксидами» [13]. Отмеченные зоны сформировались вследствие применения напалма в ходе войны, сжигания обработанных дефолиантами листья, древесины и сельскохозяйственных отходов, а также в результате трансграничного переноса диоксинов.

Климатические характеристики тропического Вьетнама – мощная инсоляция, высокая температура воздуха (среднегодовая температура +27 °С) и высокая влажность – обеспечивают ускоренное фотохимическое разложение 2,3,7,8-ТХДД в воздухе, а также интенсивную биodeградацию в верхних слоях почвы. Тропические ливни вносят свою лепту в миграцию диоксинов, смывая их в реки и далее в океан.

Как было установлено, в условиях тропиков существует еще один механизм перемещения диоксинов: их вертикальная миграция в почве [14] (табл. 5).

Конгенеры ПХДД/ПХДФ обнаружены даже на глубине 300–350 см (табл. 6).

Причиной столь необычного (для северного полушария Земли) поведения диоксина в тропической экосфере может быть установленная способность 2,3,7,8-ТХДД образовывать коллоидные растворы, поскольку коллоидная растворимость диоксина на 2–3 порядка превышает истинную [15]. Миграция диоксинов вглубь почвы приводит, с одной стороны, к обеднению поверхностных слоев почвы диоксином, а с другой – к возможному загрязнению грунтовых вод и дальнейшему распространению экотоксиканта.

Получены доказательства появления «военных» диоксинов на территориях, никогда не подвергавшихся воздействию «Оранжевого агента». В частности, 2,3,7,8-ТХДД обнаружен в донных отложениях залива Ня Чанг, удаленном на многие десятки километров от мест применения «Оранжевого агента», но связанном с очагами загрязнения рекой Кай [16, 17]. Как и в случае наземных загрязнений, в донных отложениях залива Ня Чанг концентрация диоксинов с течением времени снижается, оставаясь, однако, весьма значимой (табл. 7).

Спектр конгенов ПХДД/ПХДФ в донных отложениях совпадает с таковыми в «Оранжевом агенте», что свидетельствует о «военном» происхождении выявленных загрязнений. Оценить в полной мере реальную опасность остаточных количеств диоксинов затруднительно, поскольку до настоящего времени экологические нормативы для морской среды не установлены [17].

В экспедициях 2003–2006 гг. Е. С. Бродским и сотрудниками даны характеристики современных уровней диоксинового загрязнения окружающей среды Южного Вьетнама [12]. Забор проб почв, донных отложений, сырых пищевых продуктов (рыба, мясо) и готовых блюд, а также биопроб людей (кровь, грудное молоко, плацента) производили в провинции Куанг Чи, подвергавшейся во время войны интенсивным обработкам дефолиантами.

Как было установлено, почвы и донные отложения имели относительно низкий уровень диоксинового загрязнения (от 0,01 до 3 нг/кг) со следовыми количествами 2,3,7,8-ТХДД (от 0 до 2,5 нг/кг). Если полагать, что исходный (расчетный) уровень загрязнения почв в конце войны мог составлять 50 нг/кг, то период полувыведения 2,3,7,8-ТХДД из поверхностных слоев оказывается равным всего лишь 3–4 годам. Как уже отмечалось, причиной столь быстрого снижения концентрации 2,3,7,8-ТХДД в поверхностных слоях тропических почв может быть не только ускоренное разложение диоксинов, но и вымывание их в более глубокие слои.

В сырых пищевых продуктах ПХДД/ПХДФ обнаруживались лишь в следовых количествах. Напротив, в готовой пище уровень диоксинов оказался значительно выше, что авторы работы объясняют особенностями культуры приготовления пищи местными жителями. Обычно пища готовится на открытом огне, при этом в качестве жиров используется, как правило, свежее сало.

Пробы крови отбирались у ветеранов (10 человек), которые во время войны подвергались прямому воздействию «Оранжевого агента», а затем проживали на территории, загрязненной диоксидами. Другая группа обследованных – 10 мужчин, которые родились после войны и проживали в том же регионе. В целом, в крови людей суммарная токсичность ПХДД/ПХДФ оказалась достаточно низкой, однако у мужчин, родившихся после войны, уровень в крови 2,3,7,8-ПХДД оказался несколько выше, чем у ветеранов.

Высокий уровень общего диоксинового загрязнения обнаружен в пробах грудного молока и плаценты. Установлено присутствие практически всех токсичных конгенов ПХДД/ПХДФ. Около 20% общего диоксинового эквивалента составил 2,3,7,8-ТХДД (на уровне в среднем 1,6 нг/кг липидов). Однако высокие концентрации других конгенов не позволили авторам исследования отнести обнаруженное загрязнение крови и плаценты к первичным, сформировавшимся после применения «Оранжевого агента». По-видимому, текущие уровни загрязнений грудного молока и плаценты обусловлены другими современными источниками диоксинов.

Средняя токсичность почв Южного Вьетнама (нг/кг) [11, 12]

Год	Место отбора проб	Число проб	Средняя токсичность	Максимальное значение	Минимальное значение
1995	д. Бинь Ми	4	11,1	20,9	5,3
	д. Тань Бинь	7	2,7	3,6	0,3
1998	Место заправки авиации «Оранжевым агентом» вблизи г. Биен Хоа	11 (13)	41,5 (62,4)	94,9 (351,4)	21,6 (3,4)
2001	д. Бинь Ми	5	0,6	1,0	0,2
	д. Тань Бинь	6	0,9	2,7	0,2
2002	Бассейн р. Кай (почва)	1	9,0	–	–
	Бассейн р. Кай (донные отложения)	7	3,0	6,4	0,3
	Остров Че в заливе Ня Чанг	4	0,1	0,4	0,01
	Северный Вьетнам, вблизи г. Халонг	2	4,2	6,1	2,3
2003	Провинция Куанг Чи, Южный Вьетнам	28	1,1	10,38	0,01

Таблица 5

Концентрация 2,3,7,8-ТХДД (нг/кг) в пробах почв, отобранных вблизи д. Тань Бинь и г. Биен Хоа, Южный Вьетнам [14]

	Деревня Тань Бинь, арбузное поле				Дренажная канава рядом с бывшим аэродромом США, г. Биен Хоа		
	0–5	50	120	170	0–5	20	40
Глубина, см							
2,3,7,8-ТХДД	0,08	<0,05	<0,05	0,21	30,9	51,7	83,0

Таблица 6

Результаты анализа проб, отобранных на юге Вьетнама, нг/кг [15]

Конгенер	Глубина отбора, см								
	30	60	90	120	150	200	250	300	350
<i>Деревня Бинь Ми</i>									
2,3,7,8-ТХДД	53,0	17,1	145,3	9,6	13,6	15,5	16,4	15,8	10,4
2,3,7,8-ТХДФ	0	1,6	20,4	0	0	0	0	9,7	0,2
<i>Колодец в деревне Тху Зау Мот</i>									
2,3,7,8-ТХДД	5,1	8,2	8,2	15,0	17,0	14,5	9,7	6,0	13,8
2,3,7,8-ТХДФ	9,8	3,1	3,5	1,4	0,8	1,8	4,0	0	4,1

Таблица 7

Суммарное количество полихлорированных дибензо-*n*-диоксинов (ПХДД) и дибензофуранов (ПХДФ) в донных отложениях залива Ня Чанг [16]

Номера участков, где отбирались пробы	ПХДД+ПХДФ (нг/кг)		
	1998	2001	2002
50	16,8	7,9	6,35
36	–	2,4	0,38
5	–	3,1	2,55
33	15,6	4,2	3,11
16	9,4	1,8	1,48

Итак, результаты динамического контроля загрязненных диоксинами объектов окружающей среды Южного Вьетнама свидетельствуют о большей скорости исчезновения диоксина из почв и донных отложений по сравнению с регионом Балтийского моря. Мощное влияние климатических факторов

тропиков обеспечивает ускоренную деградацию диоксинов, а также их ранее не известную вертикальную миграцию в почвах. В аспекте темы настоящего сообщения отмеченные обстоятельства имеют определяющее значение. И, наконец, заметим, что, несмотря на высокий темп снижения токсичности

почв и донных осадков, в отдельных «горячих точках» Южного Вьетнама, где во время войны находились базы хранения дефолиантов и заправки ими самолетов, сохраняются чрезвычайно высокие уровни загрязнения почв 2,3,7,8-ТХДД.

### ОТДАЛЕННЫЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ХИМИЧЕСКОЙ АГРЕССИИ ДЛЯ ТРОПИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ И ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА

Сегодня почти 50 лет отделяют нас от начала химической войны США во Вьетнаме. Последствия этих событий по масштабам и мерам ущерба для живой природы и человека остаются беспрецедентными.

**Наземные тропические экосистемы.** До войны облик наземных экосистем Южного Вьетнама определяли высокоствольные влажные тропические леса. «Тропические лесные сообщества – это сложно организованные и богатые видами животных и растений наземные биологические системы с внутренней цикличностью обменных и восстановительных процессов» [18]. На территории Вьетнама тропические леса содержат не менее 7050 видов растений, из которых 3140 видов составляют деревья [19].

Химическая война принципиально изменила облик и состав наземных экосистем. Тропические леса были уничтожены на огромных площадях. Полагают, что в объемном исчислении погибли до 42 млн м деревьев [18]. На месте первичных лесов возникли саванноподобные растительные сообщества. Такие растительные сообщества не свойственны природе равнинных территорий Вьетнама. Важно заметить, что сформировавшиеся травяные злаковые сообщества не пригодны для выпаса скота и сенокосения.

На примере тропических лесов провинции Куанг Чи (Южный Вьетнам) установлено, что после полного разрушения леса не восстанавливаются [18]. Лесобразующие (лесные) виды деревьев оказались не приспособленными к развитию в новых условиях. В короткий по историческим меркам срок существовавшее веками сочетание дикой тропической природы и сельскохозяйственных угодий сменилось образованием огромных пустошей. Появление на обширных пространствах открытых ландшафтов повлекло за собою изменение климата и гидрологического режима. Мощная инсоляция, высокая температура приземного воздуха, тропические ливни и ветры быстро уничтожают плодородный слой почв. Разрушение привычной среды обитания животных резко снизило их численность и биоразнообразие, привело к выраженным структурно-функциональным перестройкам их популяций [20]. Уменьшилась площадь плодородных земель и понизилась урожай-

ность сельскохозяйственных культур. Геохимические последствия изменения природной среды ухудшили состав питьевой воды.

«Применение массированных способов разрушения тропического леса относится к категории наиболее губительных техногенных катастроф, которые влекут за собой катастрофу экологическую: полное восстановление экосистемы тропического леса до первичного уровня на территории эоцида невозможно, по крайней мере, в исторически обозримый период» [20].

**Морские сообщества.** В начале 90-х гг. получены первые данные о деградации экосистем коралловых рифов залива Ня Чанг в Южно-Китайском море [16]. Катастрофически снижается численность и биоразнообразие обитателей коралловых рифов, увеличивается площадь дна, занятого мягкими грунтами. Получены веские доказательства возможного вклада диоксинсодержащих гербицидов в развитие деградационных процессов в морских экосистемах. Как уже отмечалось (табл. 7), в иле и донных гидробионтах обнаружены диоксины с характерным для «Оранжевого агента» профилем конгенов. Совпадает время появления диоксинов и признаков разрушения экосистем в акватории залива Ня Чанг. Мониторинговые исследования свидетельствуют о продолжающемся снижении покрытия дна живыми кораллами и об изменении структуры сообществ во всех исследованных точках [17]. Экодиагностические исследования проф. А. В. Смурова и сотрудников свидетельствуют, что морская среда неблагоприятна для существования многих групп донных организмов на большей части акватории залива Ня Чанг. Массированное токсическое воздействие диоксинов на морские донные организмы повлекло за собой угнетение, прежде всего, герматипных и фотосинтезирующих организмов, а также гетеротрофных бактерий, обеспечивающих устойчивость донных экосистем [16, 17]. Выявлена очень важная и пока необъяснимая особенность морской среды: несмотря на продолжающееся снижение количества диоксинов в донных отложениях, токсичность диоксинсодержащих компонентов в морских средах с течением времени не только не уменьшается, но, напротив, возрастает. В этом существенное отличие морских сред от речных. Безусловно, эти наблюдения требуют своего развития и достоверного объяснения.

**Здоровье человека.** Планомерные медико-биологические исследования состояния здоровья людей, проживающих на территориях, подвергнутых во время войны интенсивным обработкам «Оранжевым агентом», начались лишь в 1989 г. после создания совместного Российско-Вьетнамского тропического научно-исследовательского и технологического центра (1988).

Первое представительное ретроспективное эпидемиологическое обследование взрослого населения Южного Вьетнама выполнено в 1989–1990 гг. в уезде Тан Уен провинции Шонг Бе (ныне Бинь Зьонг). Оно охватывало жителей обработанной «Оранжевым агентом» деревни Бинь Ми.

Химико-аналитическое исследование по объективным причинам было проведено еще позже, в 1995–2001 гг. Тем не менее в отобранных пробах почвы был обнаружен 2,3,7,8-ТХДД (табл. 4). В продуктах питания (1995–1996 гг., рыба, утка, курица, свинина, куриные яйца, свиной и куриный жиры) содержание 2,3,7,8-ТХДД колебалось в пределах 0,79–31,5 нг/кг сырого веса. В грудном молоке (1995 г., объединенная проба от 6 женщин с историей 1–2 родов) концентрация диоксина была установлена на уровне 8,8 нг/л.

В качестве группы сравнения было представлено население близлежащих необработанных «Оранжевым агентом» деревень. Согласно данным химико-аналитических исследований, содержание 2,3,7,8-ТХДД в почве этих населенных пунктов было в среднем в 5–6 раз ниже, 2,3–4,3 нг/кг сухого веса (1996 г.; почва, 10 проб).

Углубленные медицинские обследования крестьян, проживающих на загрязненных территориях, ветеранов войны с историей прямых контактов с «Оранжевым агентом», а также ветеранов, вернувшихся на север страны, где дефолианты не применялись, динамический контроль заболеваемости пострадавшего населения позволил прийти к ряду серьезных обобщений.

К их числу, прежде всего, следует отнести методологию выявления разнообразных нарушений здоровья и установление причинной связи с интоксикацией диоксином. Идентификация отдаленных последствий острого либо хронического отравления диоксином стала основой изучения и описания различных его проявлений на доклиническом и клиническом уровнях, а также расшифровки ключевых звеньев патогенеза обнаруженных расстройств здоровья. Многообразие патологических состояний, зарегистрированных у людей, экспонированных диоксином, хорошо укладывается в понятие диоксиновой патологии. Диоксиновая патология – это совокупность патологических состояний от достаточно специфических проявлений в виде поражений кожных покровов (хлоракне), неходжкинской лимфомы, саркомы мягких тканей и др. до широкого спектра заболеваний различных органов и систем с достоверно установленной причинной связью с острым либо хроническим воздействием диоксином.

Научные основы, методология выявления диоксиновой патологии и результаты многолетних иссле-

дований представлены в целом ряде наших публикаций последних лет, в частности в монографии [4].

Хотелось бы особо подчеркнуть, что диоксиновые загрязнения окружающей среды – важная, но не единственная причина ухудшения здоровья пострадавшего во время войны населения. Катастрофические последствия химической войны для экосистем привели к масштабным перестройкам биогеоценозов огромных территорий Южного Вьетнама. Резко ухудшились условия жизни населения вследствие разрушения привычного ареала обитания, традиционного пищевого рациона и т. д. Расширились природные очаги многих инфекционных заболеваний с активацией эпидемических процессов. В частности, хорошей иллюстрацией этого положения является вспышка заболевания чумой именно в период войны, в 1965–1972 гг. [21].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткое рассмотрение проблемы последствий химического уничтожения тропических экосистем со всей очевидностью свидетельствует, что именно климатические особенности тропиков сформировали своеобразие характера реакций окружающей среды на химическую агрессию, экотоксикокинетики основного загрязнителя – диоксина, а также нарушений здоровья населения. Познание сложных взаимоотношений химических загрязнителей с тропическими экосистемами становится предметом самостоятельного направления в экологической токсикологии. Есть серьезные методологические основания определить его как *тропическую токсикологию*, которая призвана изучать и устанавливать закономерности кругооборота (превращения) в природе химических загрязнителей, а также их взаимодействия с живыми организмами в условиях тропиков.

## Литература

1. Безель В.С. Основы экологической токсикологии // Общая токсикология / Под ред. Б. А. Курляндского, В. А. Филова. М.: Медицина, 2002. С. 545–586.
2. Hoang Dinh Cau. Environment and people's health in Vietnam 30 years after the Ranch Hand operation // Proceedings Reports of the Vietnam-US scientific conference on human health and environmental effects of Agent orange / Dioxin, March 3–6, 2002. Hanoi, 2004. P. 619–655.
3. Westing A.N. Ecological consequences of the Second Indochina War. Sipri Stockholm., Sweden, 1976.
4. Позняков С.П., Румак В.С., Софронов Г.А., Умнова Н.В. Диоксины и здоровье человека: Научные основы выявления диоксиновой патологии. СПб.: Наука, 2006.
5. Клюев А.Н. Предисловие. Российские химики-аналитики во Вьетнаме (к 15-летию создания совмес-

- тного Российско-Вьетнамского Тропического научно-исследовательского и технологического центра // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Диоксины во Вьетнаме (методологические вопросы анализа, уровни загрязненности, распространение и детоксикация). Инф. вып. № 7. М.: ВИНТИ, 2003. С. 7–17.
6. Юфит С. С., Клюев А. Н. Детоксикация почв, загрязненных диоксинами в ходе войны в Южном Вьетнаме (1961–1975 гг.). Обзор новейших технологий // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Диоксины во Вьетнаме (методологические вопросы анализа, уровни загрязненности, распространение и детоксикация). Инф. вып. № 7. М.: ВИНТИ, 2003. С. 32–52.
  7. Sinkonen S., Paasivirta J. Degradation Half-life of PCDDS, PCDFS and PCBS for environmental fate modeling // *Chemosphere*. 2000. Vol. 40. P. 943–949.
  8. Freeman R.A., Hileman F.D., Noble R.W., Schroy J.M. Solving Hazardous Waste Problems // J. H. Exner (Eds.). ACS Symposium Series Num. 1987. 338.
  9. Jong A.I. Human and environmental risk of chlorinated dibenzodioxins and related compounds / Tucker R. E., Jong A. I., Gray A. P. (Eds.). New York: Plenum Press, 1983. P. 173–190.
  10. Hallet D.J., Kornelson P.J. Persistence of 2,4-dichlorophenol, 2,4,5-trichlorophenol, 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin and 2,3,7,8-tetrachlorodibenzofuran in soil of a forest ecosystem treated with 2,4,D/2,4,5-T herbicide in Eastern Canada // *Organochalogen Compounds*. 1992.
  11. Юфит С.С., Клюев Н.А., Шелепчиков А.А. Ранжирование почв Южного Вьетнама по уровню загрязненности. К вопросу о времени полураспада диоксинов во Вьетнаме // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Диоксины во Вьетнаме (методологические вопросы анализа, уровни загрязненности, распространение и детоксикация). Инф. Вып. № 7. М.: ВИНТИ, 2003. С. 171–180.
  12. Бродский Е.С., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б. и др. Современные уровни загрязнения окружающей среды Вьетнама в регионах массированного распыления «Оранжевого агента» (на примере провинции Куанг Чи) // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Окружающая среда и здоровье человека в загрязненных диоксинами регионах Вьетнама (состояние проблемы через 40 лет после химической войны США во Вьетнаме). М.: ВИНТИ, 2010 (в печати).
  13. Юфит С.С., Клюев Н.А., Фешин Д.Б. и др. Изменение профиля конгенов ПХДД/Ф при распространении загрязнения от мест распыления ОА по территории Вьетнама // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Диоксины во Вьетнаме (методологические вопросы анализа, уровни загрязненности, распространение и детоксикация). Инф. вып. № 7. М.: ВИНТИ, 2003. С. 156–170.
  14. Клюев Н.А., Шелепчиков А.А., Фешин Д.Б., Бродский Е.С. Вертикальная миграция ПХДД/ПХДФ в почвах Вьетнама // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Диоксины во Вьетнаме (методологические вопросы анализа, уровни загрязненности, распространение и детоксикация). Инф. вып. № 7. М.: ВИНТИ, 2003. С. 114–130.
  15. Шелепчиков А.А. Изомерноспецифический анализ и детоксикация полихлорированных дибензо-п-диоксинов и дибензофуранов в условиях субкритической экстракции: Автореф. дис. ... канд. хим. наук. М., 2001. 24 с.
  16. Смуров А.В., Павлов Д.С. Современное состояние прибрежных коралловых рифов Южного Вьетнама (залив Нячанг) – как возможное следствие загрязнения диоксинсодержащими гербицидными рецептурами // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Отдаленные последствия применения «Оранжевого агента»/диоксина армией США во Вьетнаме (проблемы общей и тропической экотоксикологии). Инф. вып. № 8. М.: ВИНТИ, 2003. С. 173–187.
  17. Смуров А.В. Основы экологической диагностики. Биологические и информационные аспекты. М.: Ойкос, 2003. 188 с.
  18. Кузнецов А.Н., Фан Лыонг, Кузнецова С.П., Нгуен Данг Хой. Антропогенная трансформация лесных экосистем в годы химической войны США во Вьетнаме и особенности их текущего состояния // Диоксины суперэкоотоксиканты XXI века: Окружающая среда и здоровье человека в загрязненных диоксинами регионах Вьетнама (состояние проблемы через 40 лет после химической войны США во Вьетнаме). М.: ВИНТИ, 2010 (в печати).
  19. Кузнецов А.Н. Анализ флоры муссонных тропических лесов Вьетнама: состав жизненных форм // Бюл. МОИП, отд. Биологии. Т. 113. Вып. 1. 2008. С. 21–31.
  20. Соколов В.Е., Шилова С.А. Отдаленные биологические последствия войны в Южном Вьетнаме. М.: ИПЭЭ РАН, 1996.
  21. Сунцов В.В., Сунцова Н.А. Особенности экологии чумы в пострадавших от применения «Оранжевого агента» регионах Вьетнама // Диоксины – суперэкоотоксиканты XXI века: Окружающая среда и здоровье человека в загрязненных диоксинами регионах Вьетнама (состояние проблемы через 40 лет после химической войны США во Вьетнаме). М.: ВИНТИ, 2010 (в печати).