

Таблица 3

Сравнение кинетики и распадающихся значений начальной концентрации вещества в водной среде и периода времени от момента внесения вещества в водную систему до момента измерения

Концентрация, моль/(л·10 ¹¹)		$t_{\text{дет}} \text{ сут}$		$t_{\text{опр}} \text{ сут}$	
$C_1(t)$	$C_2(t)$	C_0			
8,97	0	0,005			
7,86	0,63	8,5±1,0		1,8±1,3	
6,59	1,87	6,0		-	
5,75	2,56	8,5±1,8		9,0±4,3	
5,06	2,89	13,0		-	
4,05	4,1	8,7±2,3		17,0±5,5	
Среднее		8,5±0,7			

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

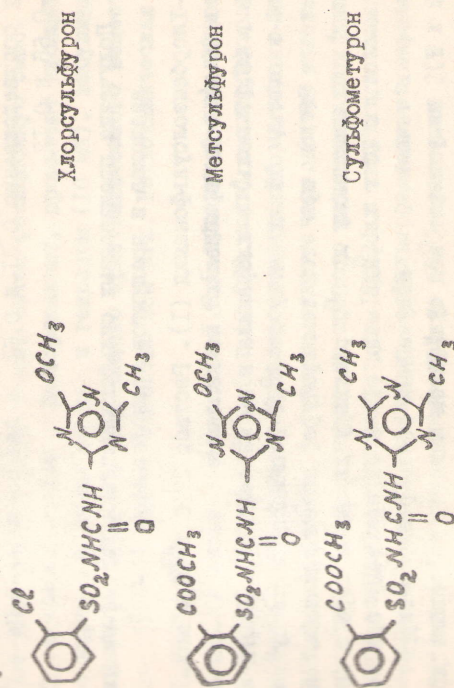
1. Халиков И. С., Бугаков А. А., Савин Ю. И. Фото-химическая трансформация сульфометурона в воде // Агрохимия. - 1989. - № 10. - С. 109-112.
2. Халиков И. С., Савин Ю. И. Исследование трансформации сульфометурона в воде // Агрохимия. - 1989. - № 7. - С. 112-115.
3. Халиков И. С., Помещиков В. Д., Савин Ю. С. Сравнительная характеристика устойчивости гербицидов класса сульфонилмочевин в водных объектах // См. настоящий сборник.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА УСТОЙЧИВОСТИ ГЕРБИЦИДОВ ИЗ КЛАССА СУЛЬФОНИЛМОЧЕВИН В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

И.С.ХАЛИКОВ, В.Д.ПОМЕЩИКОВ, Ю.И.САВИН

Применение пестицидов в народном хозяйстве может быть одной из самых серьезных причин загрязнения природной среды и, в частности, водных объектов. В связи с этим усилия исследователей направлены главным образом на изучение персистентности загрязняющих веществ, а также на изучение продуктов их превращений в водных системах. В последнее время широкое применение получили новые гербициды

из класса сульфонилмочевин - хлорсульфурон, сульфометурон, метсульфурон и др. /3, 5/, однако поведение этих соединений в природных средах изучено недостаточно.



В настоящей работе рассматриваются результаты экспериментального исследования влияния физико-химических и микробиологических факторов на кинетику процессов трансформации хлорсульфурона, сульфометурона и метсульфурона в воде.

Экспериментальная часть

Масс-спектры сняты на хромато-масс-спектрометре "Nemad R 10-10 C" путем непосредственного ввода образца в ионный источник при температурах, близких к температурам плавления индивидуальных веществ. Энергия ионизации - 70 эВ.

ИК-спектры сняты на спектрофотометре "Specord - M 80". УФ-спектры регистрировали на спектрофотометре UV -240 "Shimadzu". Соединения I, II, IV и V определяли на жидкостном хроматографе "Waterz" с УФ-детектором (230 и 254 нм), колонка RP 8, 8 x 100 мм, 10 мкм. В качестве подвижной фазы использовали систему растворителей: ацетонитрил-0,1%-ный раствор фосфорной кислоты в объемном соотношении 4:7 с добавлением 0,25 г додецилсульфата натрия на 1 л приготовленного раствора. Скорость элюирования - 1 мл/мин, времена удерживания соединений I, II, IV и V составляли соответственно 9,3; 9,6; 22,9 и 19,2 мин.

Соединения Па, Ш, У, VI и VII, меченные изотопом углерода ¹⁴C, и их радиохимическую чистоту определяли методом ТСХ на пластинках "Silufol" с последующей регистрацией излучения вдоль хроматограмм на жидкостном синциллиционном счетчике "IZ19 Raskbeta". В качестве подвижных фаз использовали две системы растворителей: хлороформ-

этиловый спирт в общем соотношении 10:1 (октета I) и хлорформ-этиловый спирт (10:1) в добавленном пяти капель раствора аммиака (октета II). Значения R_f для соединений III и IV в системе I составили соответственно 0,11 и 0,61, а для соединений Pa и UI в системе II — 0,60 и 0,13.

Получение проантоновых сульфоновых, их меченных аналогов и продуктов трансформации (I—VII)

О-Хлорбензолсульфонид (I). Раствор 27,6 г (0,4 моль) нитрита натрия в 60 мл воды прибавляют по каплям в течение 30 мин к раствору 34,6 г (0,27 моль) о-хлоранилина в 40 мл соляной кислоты и 40 мл уксусной кислоты, охлажденному до 0°C. Реакционную массу выдерживают в течение 10 мин при этой температуре, затем приливают при перемешивании к охлажденному до 0°C раствору двуокиси серы в 400 мл уксусной кислоты с 10 г хлорида меди (I) и выдерживают при комнатной температуре в течение 1 ч. Полученный раствор экстрагируют эфиром (250 мл х I), высушивают над сульфатом магния, упаривают до объема 50 мл и прибавляют по каплям к 500 мл раствора аммиака. Смесь нагревают до 70°C и перемешивают при этой температуре в течение 1 ч. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают небольшим количеством воды и эфира и получают 38,2 г (74%) в виде белых кристаллов с т.пл. 186–188°C (из 50%-го изопропилового спирта).

Масс-спектр: 191 (45) $[M]^+$, 175 (II) $[M - NH_2]^+$, 128 (I6) $[O - Cl - C_6H_4 - NH_2]^+$, 127 (32) $[O - Cl - C_6H_4 - NH]^+$, III (52) $[M - SO_2 - NH_2]^+$. Метил-2-(аминосulфонил)-бензоат (II). Суспензию 5 г (0,027 моль) имиды о-сульфобензойной кислоты в 20 мл (0,46 моль) метилового спирта при охлаждении насыщают хлористым водородом и кипятят при перемешивании в колбе с обратным холодильником в течение одного часа. Раствор упаривают под вакуумом досуха. Остаток растворяют в 50 мл этилацетата, промывают небольшим количеством насыщенного раствора карбоната калия, высушивают над сульфатом магния и упаривают под вакуумом. Получают 3,85 г (65%) II в виде белых кристаллов с т.пл. 122–125°C.

Масс-спектр: 215 (II,6) $[M]^+$, 199 (85,8) $[M - NH_2]^+$, 184 (34,8) $[M - OCH_3]^+$, 151 (23,2) $[O - CH_3 - O - C_6H_4 - NH_2]^+$. ИК-спектр (δ , см⁻¹): 3330, 3220 (NH_2); 1715 ($C=O$); 1340, 1160 ($R - SO_2 - N =$). $[^{14}C]$ -метил-2-(аминосulфонил)-бензоат (IIa). Соединение IIa получили по модифицированной нами методике [8] с радиохимическим выходом 40%, удельной активностью 190 МБк/г. Радиохимическая чистота не ниже 98%, т.пл. 122–124°C.

2-амино-2- $[^{14}C]$ -4,6-диметилпиридин (III).

0,83 г (0,007 моль) уксусно-кишлого гуанидина, 0,075 г (0,0008 моль) соляно-кислого $[^{14}C]$ -гуанидина, 1,62 г (0,015 моль) карбоната калия, 8 мл (0,08 моль) ацетилцетона кипятят с обратным холодильником в течение двух часов. Затем реакционную смесь охлаждают до 0°C, выпавший осадок отфильтровывают, промывают насыщенным раствором карбоната калия (5 мл) и гексаном (10 мл), высушивают и получают 0,61 г (64%) III в виде белого кристаллического вещества с т.пл. 152–155°C и общей активностью 250 МБк. Радиохимическая чистота III — не менее 98%.

2-Хлор-N[(4-метокси-6-метил-1,3,5-триазин-2-ил)-аминокарбонил]-бензолсульфонид (IV). 5 г (0,026 моль) о-хлорбензолсульфонамида, 2,6 г (0,026 моль) н-бутилсульфоната, 50 мл абс. о-ксилола кипятят при перемешивании в течение одного часа. Затем при непрерывном перемешивании пропускают до полного насыщения ток фосгена (температура кипения смеси падает до 120°C) и кипятят в течение 1,5 ч. Реакционную массу охлаждают, отфильтровывают от незначительных примесей и приливают к нагретой до 60°C суспензии 2,9 г (0,021 моль) 2-амино-4-метокси-6-метил-1,3,5-триазина в 50 мл абс. бензола. Смесь перемешивают при этой температуре в течение 1,5 ч, отфильтровывают и получают 3,85 г (41%) IV в виде белого кристаллического вещества с т.пл. 175–177°C.

Масс-спектр: 358 (2) $[M]^+$, 322 (2) $[M - Cl]^+$, 217 (5) $[O - Cl - C_6H_4 - SO_2 - NCO]^+$, 218 (4) $[O - Cl - C_6H_4 - SO_2 - NCO]^+$, 191 (9) $[O - Cl - C_6H_4 - SO_2 - NH_2]^+$, 175 (18) $[O - Cl - C_6H_4 - SO_2]^+$, 166 (5) $[OCN - N(CH_3) - N(CH_3) - N(CH_3) - CH_3]^+$. $[^{14}C]$ -метил-2-(4-метокси-6-метил-1,3,5-триазин-2-ил)-аминокарбонил]-аминосulфонил]-бензоат (V). 0,5 г (0,0023 моль) $[^{14}C]$ -метил-2-(аминосulфонил)-бензоата с общей активностью 95 МБк, 0,25 г (0,0025 моль) н-бутил-изоцианата и 50 мл абс. о-ксилола нагревают с обратным холодильником до температуры 130–135°C и при этой температуре и непрерывном перемешивании пропускают ток фосгена до полного насыщения раствора (температура кипения падает до 120°C). Реакционную смесь кипятят в течение одного часа, охлаждают до температуры 50°C, прибавляют 0,32 г (0,0023 моль) 2-амино-4-метокси-6-метил-1,3,5-триазина, нагревают до температуры 100°C, перемешивают при этой температуре в течение одного часа, охлаждают до комнатной температуры и оставляют на 16 ч. Выпавший осадок отфильтровывают, прибавляют 30 мл ацетона и еще раз отфильтровывают от непрореагировавшего триазина. Продукт высушивают из ацетонового раствора эфиром, фильтруют, высушивают на воздухе и получают 0,34 г (32,2%) V в виде белого кристаллического вещества с общей активностью

17,6 МПа в радиационной чистотой не ниже 98%. Т.пл. 163-165°C,

пл. точка [3] - 163-165°C.

Масса-спектр (δ см⁻¹): 1735, 1705 (C=O); 1370, 1170

(C-NH); 1360, 1180 (R-SO₂-N=).

Масса-спектр: 241 (21) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺, 210 (100)

184 (17) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺, 199 (28) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺,

123 (96) [H₂N-N⁺(CH₃)₂]⁺, 149 (27) [OCH₃-N⁺(CH₃)₂]⁺,

160 (66) [H₂N-N⁺(CH₃)₂]⁺.

[14C] - метил-2-[(4,6-диметилпиримидин-2-ил)-аминокарбо-

нил-3-(аминосулфонил)-бензоат (УП). 0,5 г (0,0023 моль) [14C] - мет-

ил-2-(аминосулфонил)-бензоата, 0 общей активностью 95 МБк, 0,25 г

(0,0025 моль) n-бутил-изонитрата, 50 мл абс. o-ксилола нагревают о

братным холодильником до температуры 130-135°C и при непрерывном

перемешивании пропускают ток фосгена до насыщения раствора (темпера-

тура кипения падает до 120°C). Затем реакционную смесь кипятят в

течение одного часа, добавляют после охлаждения 0,29 г (0,0023 моль)

2-амино-4,6-диметилпиримидина и выдерживают при комнатной темпера-

туре в течение 16 ч. Выпавший осадок отфильтровывают, промывают не-

большим количеством ацетона и получают 0,61 г (72%) УП в виде белых

кристаллов с общей активностью 70 МБк и радиохимической чистотой не

ниже 98%.

Т.пл. - 199-202°C (из метилового спирта), по данным [3] -

203-205°C.

ИК-спектр (δ см⁻¹): 1735, 1695 (C=O); 1555, 1270

(C-NH); 1360, 1180 (R-SO₂-N=).

Масса-спектр: 241 (21) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺,

210 (100) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺, 199 (28) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺,

184 (17) [o-CH₃COO-C₆H₄-SO₂NCO]⁺, 149 (27) [OCH₃-N⁺(CH₃)₂]⁺,

123 (96) [H₂N-N⁺(CH₃)₂]⁺.

Метил-2-[[2-[14C]-4,6-диметилпиримидин-2-ил)-аминокарбо-

нил-3-(аминосулфонил)-бензоат (УП). К раствору 1,0 г (0,0041 моль)

2-метилбензоат-(сулфонил)-изонитрата в 30 мл абс. o-ксилола при-

бавляют 0,44 г (0,0036 моль) 2-амино-2-[14C]-4,6-диметилпиримидина

с общей активностью 185 МБк. Реакционную смесь выдерживают при

температуре 25°C в течение 16 ч, осадок отфильтровывают, промывают

небольшим количеством ацетона и получают 1,16 г (89%) УП в виде бе-

лых кристаллов с общей активностью 170 МБк и радиохимической чистотой

не ниже 98%. Т.пл. - 200-203°C, по данным [3] - 203-205°C.

Результаты и обсуждение

Результаты проведенных исследований по изучению гидролиза, фотохимической и биологической трансформации сульфометурона, хлорсульфурона и метосульфурона представлены в табл. 1-3.

Таблица 1

Зависимость скорости гидролиза производных сульфонилмочевин от pH и температуры воды

Препарат	pH	Температура, °C	Константа скорости, сут ⁻¹	Период полу-распада, сут
Сульфометурон	5,0	22	0,064±0,002	10,8
	7,0	22	0,0108±0,0006	63,6
	8,0	22	0,0019±0,0003	365,0
	7,0	41	0,098±0,005	6,9
	7,0	55	0,30±0,01	2,3
Метосульфурон	5,0	26	0,052±0,004	13,3
	8,2	26	0,0016±0,0003	433,0
	5,0	50	0,320±0,003	2,2
	5,0	60	1,23±0,03	0,6
	8,2	42	0,0073±0,0005	95,0
Хлоросульфурон	5,0	25	0,022±0,001	32,0
	7,0	25	0,0002±0,0001	3500,0
	7,5	25	0,0002±0,0001	3500,0
	5,0	41	0,417±0,025	1,7
	5,0	55	0,964±0,036	0,7

При изучении скорости гидролиза этих соединений нами установлено, что она существенно зависит от pH и температуры среды. Так при pH=5,0 гидролиз протекает значительно быстрее, чем в нейтральной и щелочной средах. Исследование влияния температуры на скорость гидролиза этих веществ показало, что с увеличением температуры скорость гидролиза возрастает. Средние значения энергии активации для сульфометурона, хлоросульфурона и метосульфурона соответственно составляют 19, 24 и 20 ккал/моль.

Сравнение констант скорости гидролиза этих соединений позволило расположить их по гидролитической устойчивости в следующий ряд: хлоросульфурон > метосульфурон > сульфометурон.

Таблица 2

Влияние микрорганов на трансформацию
хлорсульфурона и метосульфурона в речной воде
(р. Протва)

Препарат	Концентрация мг/л	Температура °C	Время сут	Средняя численность микрорганов в 10^6 кл/мл
Хлорсульфурон	1	20	31	7,9 $0,000 \pm 0,001$
	2	20	31	7,9 $0,0004 \pm 0,0003$
	3*	20	31	7,9 $0,0004 \pm 0,0007$
	4	0	31	-
Метосульфурон	5	20	26	8,2 $0,0016 \pm 0,0003$
	6*	20	26	8,2 $0,0014 \pm 0,0003$

* Стерильный контроль.

Таблица 3

Фотолиз производных сульфонилмочевин в водном растворе
на солнечном свете (широта 55° N, г. Обнинск, май-июнь,
средняя дневная температура $21-25^{\circ}$ C, ночная $13-15^{\circ}$ C)

Препарат	Номер опыта	pH	Константа скорости деградации k сут ⁻¹	Период полу- распада $T_{1/2}$ сут
Сульфометурон	I	5,0	$0,131 \pm 0,006$	5,3
	2*	5,0	$0,040 \pm 0,004$	17,3
	3	7,9	$0,047 \pm 0,002$	14,7
	4*	7,9	$0,005 \pm 0,001$	154,0
Метосульфурон	5	5,0	$0,032 \pm 0,005$	22,2
	6*	5,0	$0,025 \pm 0,006$	29,4
	7	7,9	$0,0021 \pm 0,0003$	343,0
	8*	7,9	$0,0018 \pm 0,0003$	396,0
Хлорсульфурон	9	5,0	$0,017 \pm 0,002$	40,7
	10*	5,0	$0,020 \pm 0,003$	35,4
	11	7,9	-	-
	12*	7,9	-	-

Примечания. I, 2, 5, 6, 9, 10 - деионизированная вода;
3, 4, 7, 8, 11, 12 - речная вода; * - темновой контроль.

Авторы /4/, исследуя спектральные свойства хлорсульфурона методом оптической ПМР, сделали предположение о наличии различных конформаций молекулы, стабилизированных внутри- и межмолекулярными водородными связями. С помощью рентгеноструктурного анализа ими было показано, что молекулы хлорсульфурона в кристалле объединены водородными связями в centrosymmetричные димеры.

Можно было ожидать, что характер водородных связей не будет изменяться и при переходе от кристаллов к раствору. Кроме этого, учитывая близость строения хлорсульфурона к другим сульфонилмочевинам, можно было предположить, что молекулярное взаимодействие в водных средах, приводящее к образованию ассоциатов, будет характерно не только для хлорсульфурона, но и для метосульфурона и метсульфурона.

С целью проверки высказанных предположений нами было проведено оптофотометрическое исследование ассоциации этих соединений в водной среде /2/. Показано, что молекулы хлорсульфурона, метосульфурона и метсульфурона в растворе с концентрациями от 1×10^{-5} до 1×10^{-7} г/мл существуют в виде смеси мономеров и димеров. Поучены константы равновесия мономер-димер для этих веществ, по которым можно определить процентное содержание веществ в растворе в мономерной и димерной форме.

Авторы /1/ при исследовании реакций гидролиза арилсульфонил-триазинилмочевин показали, что лимитирующей стадией гидролиза является отщепление димера. Данные работ /1, 2, 4/ хорошо согласуются с полученными нами результатами по гидролитической стабильности хлорсульфурона, метосульфурона и метсульфурона.

При исследовании продуктов гидролиза этих гербицидов методами ЯМР и β -спектрометрии в растворе наряду с неизменными препаратами были обнаружены следующие соединения: для хлорсульфурона - хлорбензолсульфонамид и 2-амино-4-метил-6-метокси-1,3,5-триазин; для метосульфурона - метил-2-(аминосифонил)-бензоат, имид о-сульфонной кислоты и 2-амино-4-метил-6-метокси-1,3,5-триазин; для метсульфурона - метил-2-(аминосульфонил)-бензоат, имид о-сульфонной кислоты и 2-амино-4,6-диметилпиридин.

На основании полученных данных схему гидролиза производных сульфонилмочевин можно представить в следующем виде:

видимому, это связано с разной основностью триазинового и пиримидинового циклов, входящих в структуру этих соединений, и, следовательно, их разным влиянием на C-N-связь сульфонилмочевинного фрагмента.

Влияние микробиологических процессов на скорость разложения хлорсульфурона, метсульфурона и сульфометурона оценивали путем изучения трансформации этих соединений в стерильной и нестерильной речной воде.

Из табл. 2 видно, что константы скорости разложения метсульфурона и сульфометурона в стерильном и нестерильном вариантах не имеют достоверных различий. Это свидетельствует об отсутствии микробиологической трансформации этих соединений в водной среде при данных концентрациях в течение всего периода инкубации. Средняя численность микроорганизмов в нестерилизованной воде с сульфометуроном оказалась ниже, чем в контрольных вариантах, что указывает на бактериостатическое действие этого соединения в исследуемых концентрациях.

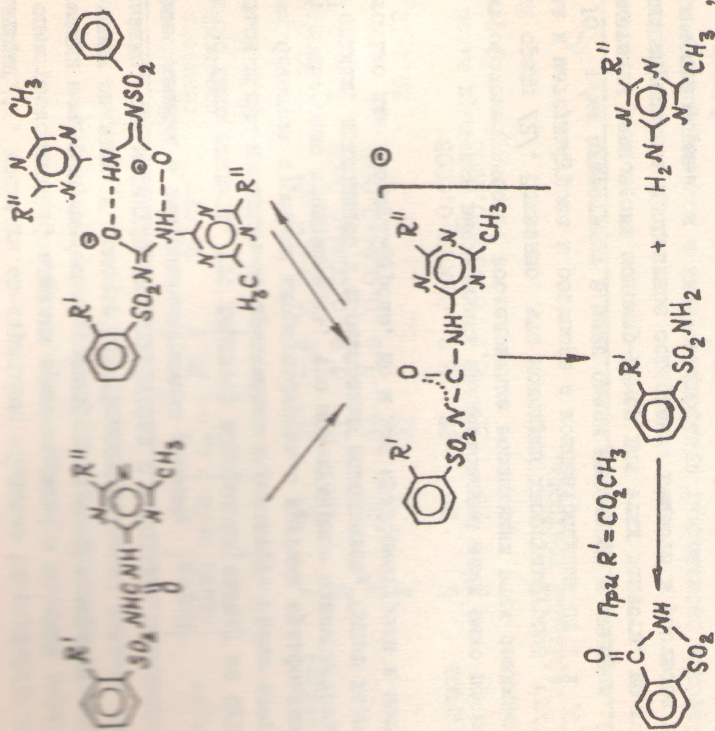
В отличие от сульфометурона и метсульфурона кривые убыви концентрации хлорсульфурона в нестерилизованной речной воде состоят из двух частей, характеризующихся медленной ($k = 0,0017 \pm 0,0001 \text{ сут}^{-1}$) и более быстрой ($k = 0,027 \pm 0,003 \text{ сут}^{-1}$) скоростью разложения гербицида.

Можно было предположить, что в начальный момент, когда идет приращивание микроорганизмов к хлорсульфурону, скорость процесса обусловлена главным образом гидролизом, а затем (после перегиба кривой) — деятельностью микроорганизмов. В пользу этого предположения говорит тот факт, что, несмотря на достаточно высокую скорость разложения хлорсульфурона в нестерилизованной речной воде, концентрации образующихся продуктов о-хлорбензолсульфонамида и 2-амино-4-метил-6-метокси-1,3,5-триазина на порядок ниже, чем концентрации этих же веществ при гидролизе в воде с $\text{pH} = 5,0$, хотя скорости этих процессов соизмеримы.

Обычно существенный вклад в трансформацию химических веществ в водной системе вносят фотохимические процессы.

Сравнение спектра солнечного излучения и спектров поглощения сульфометурона, метсульфурона и хлорсульфурона показало, что превращение сульфометурона может происходить за счет прямого фотоллиза, а метсульфурона и хлорсульфурона — за счет процессов фотосенсибилизации.

Из табл. 3 видно, что константы скорости разложения хлорсульфурона и метсульфурона в опытных и контрольных (темновых) вариантах не имеют достоверных различий. На основании этих данных можно сделать вывод о том, что хлорсульфурон и метсульфурон не подвергаются



где $R' - \text{Cl}, \text{COOCH}_3$; $R'' - \text{CH}_3, \text{OCH}_3$; $Z - \text{N}, \text{OCH}_3$.
Как видно из схемы, гидролитическое разложение хлорсульфурона метсульфурона и сульфометурона происходит через обратимую стадию образования димера и последующего разрыва C-N-связей сульфонилмочевинного фрагмента их молекул с образованием соответствующих бензолсульфонамидов и гетероциклических аминов. В случае метсульфурона и сульфометурона ($R' - \text{COOCH}_3$) происходит дальнейшее превращение метил-2-(аминосульфонил)-бензоата до имиды о-сульфобензойных кислот.

Гидролитическая устойчивость хлорсульфурона, метсульфурона и сульфометурона коррелирует с химической структурой этих соединений. Так, молекулы хлорсульфурона и метсульфурона отличаются между собой лишь заместителями в ортоположении бензольного кольца ($R' - \text{Cl}$ или COOCH_3). Нетрудно заметить, что по совокупности индукционного, мезомерного и таутомерного эффектов группа COOCH_3 оказывает более сильное, по сравнению с атомом хлора, влияние на C-N-связь, ослабляя ее и делая метсульфурон менее устойчивым к гидролизу, чем хлорсульфурон. В свою очередь молекулы метсульфурона и сульфометурона отличаются между собой гетероциклическими радикалами. Метсульфурон оказался более устойчивым к гидролизу, чем сульфометурон. По-

фотохимическому превращению под действием солнечного света. Скорость трансформации этих веществ обусловлена только процессами гидролиза. Авторы /9/, исследуя прямой фотолиз ^{14}C - сульфометурона (метка в фенильном кольце) в воде при 300-400 нм и интенсивности, равной половине интенсивности обычного летнего солнечного излучения, показали, что соединение практически полностью разрушается в течение двух недель. Единственным идентифицированным промежуточным продуктом был метил-2-(аминосульфонил)-бензоат, максимальный уровень которого в сосуде с дистиллированной водой составлял 6%.

Как видно из табл. 3, фотохимическая трансформация сульфометурона в деионизированной и речной воде протекает со значительной скоростью и вносит существенный вклад в общий процесс трансформации препарата. Константы скорости фотолиза сульфометурона в деионизированной и речной водах соответственно равны $0,100 \pm 0,007$ и $0,043 \pm 0,002$ сут $^{-1}$. Снижение скорости фотолиза в речной воде, по-видимому, обусловлено ослаблением солнечного излучения растворенными и взвешенными веществами.

При исследовании продуктов фототрансформации ^{14}C - сульфометурона радиохроматографическим методом нами обнаружен новый продукт 2- [(2- ^{14}C -4,6-диметилпиридин-2-ил)-аминокарбонил] -аминосульфонил] -бензойная кислота, который оказался основным продуктом фотолиза препарата. Среди продуктов гидролиза сульфометурона это соединение не обнаружено.

Полученные результаты по трансформации сульфометурона под действием солнечного света хорошо согласуются с данными, полученными нами при облучении водных растворов этого соединения светом с максимумом пропускания 254 нм /8/.

Таким образом, проведенные исследования показали, что основным путем трансформации хлорсульфурона, метсульфурона и сульфометурона является гидролиз, причем скорость гидролиза этих соединений падает с увеличением pH и уменьшением температуры среды. Гидролитическая устойчивость гербицидов снижается в ряду хлорсульфурон-метсульфурон-сульфометурон.

Метсульфурон и сульфометурон, в отличие от хлорсульфурона, не подвергаются микробиологической трансформации, но обладают небольшим бактериостатическим действием. Скорость разложения хлорсульфурона под действием микроорганизмов соизмерима со скоростью его гидролиза при pH = 5,0.

Для сульфометурона характерно фотохимическое разложение под действием естественного солнечного излучения.

Выявленные особенности трансформации производных сульфонимочевин необходимо учитывать при прогнозировании поведения этих гербицидов в природных средах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изучение гидролиза арилсульфонилтриазинилмочевин методами радиохроматографии и ЯМР-спектроскопии. XV Менделеевский съезд по общей и прикладной химии / В.И.Сорокин, С.М.Полозов, А.А.Куликов, А.А.Мандругин. - М.: Наука, 1989. - 291 с.
2. Исследования ассоциации сульфонилмочевин в водных растворах методом УФ-спектрофотометрии / Ю.И.Савин, И.С.Халиков, С.Л.Добрецов, С.И.Голенецкая, Е.Г.Стружков // Тр. ИЭМ. - 1990. - Вып. 18(149). - С. 87-93.
3. Макарова-Гурьянова Л.Т., Спирidonov Ю.Я., Шоталов В.П. Сульфонилмочевины - новые перспективные гербициды // Агрохимия. - 1987. - № 2. - С. 115-128.
4. Рентгенографические исследования строения перопептидного хлорсульфурона / Д.С.Юпит, А.С.Вязгин, Н.Л.Акимова и др. // Изв. ТСХА. - 1986. - № 5. - С. 170-173.
5. Савин Ю.И., Халиков И.С. Химия сульфонилмочевин и их поведение в окружающей среде // Гидрометеорология. Сер. Мониторинг состояния окружающей среды. Обзорная информация. - 1989. - Вып. 3. - С. 1-32.
6. Савин Ю.И., Халиков И.С., Помещиков В.Д. Исследование трансформации хлорсульфурона в воде // Агрохимия. - 1989. - № 9. - С. 102-105.
7. Халиков И.С., Савин Ю.И. Исследование трансформации сульфометурона в воде // Агрохимия. - 1989. - № 7. - С. 112-115.
8. Халиков И.С., Булгаков А.А., Савин Ю.И. Фотохимическая трансформация сульфометурона в воде // Агрохимия. - 1989. - № 10. - С. 109-112.
9. Harvey J., Dulka J.J., Anderson J.J. Properties of sulfoluron methyl affecting its environmental fate: aqueous hydrolysis and photolysis, mobility and adsorption on soils, and bioaccumulation potential. - J. Agric. Food Chem., 1985, vol. 33, p. 590-596.