

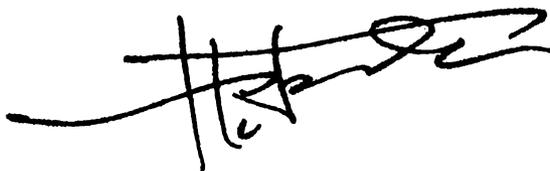
**БОТАНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**ТОМ XLII**

*ОТДЕЛЬНЫЙ ОТТИСК*



**ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР**



**Н. В. Тимофеев-Ресовский**

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИЗЛУЧЕНИЙ И ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БИОГЕОЦЕНОЛОГИИ**

С 16 рисунками

(Получено 25 X 1956)

### **I. Введение**

§ 1. За первые два десятилетия нашего века, в основном под влиянием замечательных идей и работ В. И. Вернадского, сформулировалась геохимия, как особая наука об истории и судьбе химических элементов в земной коре. Судьба химических элементов в земной коре определяется, как известно, двумя основными группами факторов: внутренними и внешними геологическими процессами. При этом внутренние геологические процессы, главным образом горообразование и вулканизм в широком смысле слова, являются, в основном, поставщиками магматического материала на поверхность земного шара и в земную кору. На дальнейшую судьбу и распределение химических элементов в земной коре, гидросфере и атмосфере они влияют лишь косвенно, частично определяя интенсивность и направление денудационных процессов. Последующее распределение, рассеяние и концентрация химических элементов в земной коре в значительной мере определяются внешними геологическими процессами денудационного характера, в которых принимают участие воздух, вода и живые организмы, в связи с колебаниями общеклиматических факторов, изменениями интенсивности и направления стока гидрометеоров и вариациями в распределении биомассы на поверхности Земли. Наряду с этим, большое значение в судьбе элементов имеют, как особенно ясно было показано А. Е. Ферсманом и В. М. Гольдшмитом, строение атомов и ионные радиусы различных химических элементов; ими определяются процессы сорбции и изоморфизма, играющие весьма существенную роль как в образовании пород, так и в миграции элементов в биосфере, в том числе и в биогенной миграции.

§ 2. Начиная с конца второго десятилетия текущего века В. И. Вернадский особенно много внимания уделял роли живых организмов в геохимических процессах. К 1926 г. им было сформулировано общее учение о биосфере (Вернадский, 1926б). Сохранив старый Зюссковский термин, он вложил в него совершенно новое содержание. Биосфера, в понимании В. И. Вернадского, обнимает всю ту часть поверхности Земли, в которой основную геохимическую роль играют живые организмы. В нее входит, таким образом, не только собственно пленка живых организмов (выделяемая Е. М. Лавренко в отношении растений в понятие фитосферы), но и вся тропосфера, гидросфера и большая часть толщи осадочных пород и продуктов денудации. Большинство осадочных пород и продуктов денудации является либо преимущественно, либо частично образованиями

биогенного происхождения; эту часть общей биосферы В. И. Вернадский иногда называет остатками былых биосфер.

§ 3. В связи с большой и специфической ролью, которую играют живые организмы в геохимии биосферы, В. И. Вернадским была сформулирована особая дисциплина — биогеохимия. Основными ее задачами являются изучение участия живых организмов в энергетических процессах биосферы, в круговороте, миграции и концентрации химических элементов, в денудационных процессах, в формировании почв, природных вод и осадочных пород.

§ 4. Биогеохимия при этом является дисциплиной геохимической и изучает живые организмы лишь в качестве одного из геохимических факторов. Кроме того, на современном этапе развития, она неизбежно является наукой «больших масштабов». Ее хронологическая проекция (установление и изучение биогеохимических провинций) также должна являться пока районированием в рамках общего изучения геохимических ландшафтов.

§ 5. Но, наряду с биогеохимией, уже сейчас возможно и необходимо развитие «встречной» биологической дисциплины. Биогеохимия в сравнительно больших масштабах изучает преимущественно результат биогеохимической деятельности живых организмов, концентрируя свое внимание на общих геохимических закономерностях и частной геохимии отдельных элементов. Задачей же соответствующей биологической дисциплины должно являться детальное изучение отдельных элементарных биоценозов в их тесной связи со всеми косными компонентами занимаемой ими территории; при этом необходимо охватить круговорот энергии и элементов, перераспределение элементов в пределах занимаемого биоценозом участка земной поверхности и связи в этом отношении данного биоценоза с соседними. Эта биологическая дисциплина будет вскрывать отдельные конкретные механизмы геохимической деятельности отдельных видов и определенных сообществ живых организмов и будет находиться в таких же отношениях к биогеохимии, в каких изучение микроэволюционных процессов находится по отношению к общему изучению макроэволюции (Тимофеев-Ресовский, 1940; Бауер и Тимофеев-Ресовский, 1943).

§ 6. Эта «встречная» биологическая дисциплина уже создана в формулировке В. Н. Сукачевым биогеоценологии (Сукачев, 1945, 1947, 1948, 1949; Сукачев и др., 1950). Большинство школ и направлений классической биоценологии занимается, в сущности, лишь процессами формирования и перестроек сообществ живых организмов, вынося, так сказать, за скобки, как само собой разумеющуюся, связь биоценоза с биотопом. Биогеоценология в понимании В. Н. Сукачева естественно устраняет разрыв между биоценозом и соответствующим биотопом, объединяя их в общее понятие биогеоценоза; при этом исследовательская задача ставится в «геохимическом стиле» В. И. Вернадского. Задачей биогеоценологии является, по В. Н. Сукачеву, изучение баланса энергии и химических элементов живых и косных компонентов в пределах биогеоценоза.

§ 7. Биогеоценология ставит себе, таким образом, важные и современные задачи. Она, в сущности, должна явиться главной основой будущего рационального изучения и использования человеком естественных биологических продуктивных сил Земли. В частности, велика будет и ее роль в получении человеком, путем накопления определенными живыми организмами, некоторых редких и рассеянных элементов в сверх-кларковых концентрациях. Конечно, для создания с помощью биогеоценологических исследований рациональных основ освоения и изучения биологических производительных сил Земли и для нахождения конкретных биогеохимических механизмов необходимо скорейшее развитие комплексных стационарных работ по изучению биогеоценозов.

§ 8. Наряду с таким изучением природных биогеоценозов, их классификацией и биогеоценологическим анализом природных ландшафтов, совершенно необходимо развитие экспериментальной биогеоценологии (Тимофеев-Ресовский, Порядкова, Сокурова и Тимофеева-Ресовская, 1957). Задачей этой дисциплины должно являться создание «искусственных биогеоценозов» или выделение мелких природных участков определенного, точно известного биогеоценологического состава; их можно экспериментально подвергать определенным энергетическим воздействиям, вносить в них точно контролируемые вещества или производить качественные и количественные изменения в сообществах живых организмов. В таких экспериментах полностью сохраняются задачи и цели биогеоценологических исследований. Развитие экспериментальной биогеоценологии может сильно ускорить и уточнить накопление соответствующего материала и тем заметно облегчить работу как общей биогеоценологии, так и биогеохимии.

§ 9. Кроме чисто теоретических задач, экспериментальная биогеоценология может разрешать и ряд практических задач, непосредственно связанных с агрономией в широком смысле слова, с использованием природных ресурсов и изучением воздействия человека (в особенности через современную промышленность) на биологические ресурсы и протекание биогеохимических процессов в природе.

§ 10. Из геологии хорошо известна большая разница в пластах, образовавшихся на суше и в водоемах. В водоемах, как морских, так и пресноводных, механизм осадкообразования, геохимические процессы, условия миграции и концентрации элементов, а также характер участия во всех этих процессах живых организмов иные, чем на суше. Суша и водоем занимают также различное место в столь мощном факторе перераспределения элементов, каким является сток. Поэтому совершенно закономерно говорить о геохимии моря (Виноградов, 1935—1944), о геохимии почв (Виноградов, 1950) или геохимических ландшафтах суши (Перельман, 1955). В экспериментальной биогеоценологии вся методика работ с водоемами также весьма резко отличается от таковой при работе с наземными биоценозами. Надо ожидать, что среди биогеохимических механизмов в водоемах ведущими окажутся иные, чем на суше. Совершенно ясно, например, что на суше особую роль играет почвообразование и взаимоотношения между почвами и стоком; в водоемах же морского и озерного типа особую роль играет концентрация элементов в донных отложениях в зависимости от условий стока, климата и от характера биологической продуктивности и состава биоценозов водоема.

§ 11. Биогеоценологическое исследование водоемов, кроме того, имеет еще особое значение в связи с рядом чисто практических вопросов. Как известно, промышленная деятельность человека связана с образованием весьма больших масс сточных вод, загрязненных, часто в очень сильной степени, продуктами отхода различных производств. В последнее время появляются воды, содержащие те или иные концентрации целого ряда радиоактивных изотопов. В связи с этим перед экспериментальной биогеоценологией водоемов встают специальные задачи, связанные с загрязнением природных вод и возможными методами их биологической очистки и дезактивации.

§ 12. Возможности экспериментально-биогеоценологических исследований участков суши и пресноводных водоемов практически не ограничены. В отдельных опытах можно варьировать состав биоценозов, состав вносимых в биогеоценоз веществ, способ, время и место их внесения и, наконец, можно варьировать формы энергетических воздействий на биоценозы. Особенно интересные возможности представляет собой применение ионизирующих излучений и метода меченых атомов в эксперимен-

тальной биогеоценологии. Применение радиоактивных изотопов позволяет не только изучать влияние на биомассу и структуру сообществ определенного, точно дозируемого фактора (ионизирующее излучение), но и проследивать, с достаточной точностью в количественном отношении, распределение соответствующих элементов по различным живым и косным компонентам биогеоценоза. В связи с этим, в нашей лаборатории начат ряд опытов (с применением метода меченых атомов) по экспериментальной биогеоценологии как наземных и внутрипочвенных сообществ, так и водоемов. В настоящем сообщении будут приведены результаты некоторых из этих опытов.

Основной задачей этого сообщения является не подробное описание окончательных результатов того или иного опыта, а иллюстрация, с помощью краткого изложения нескольких различных работ, общего направления и возможностей экспериментальной биогеоценологии при применении метода меченых атомов. В тексте будут даны лишь некоторые рисунки, подытоживающие результаты опытов, и соответствующие таблицы с цифровым материалом.

В проведении опытов участвовали Б. М. Агафонов, Н. В. Куликов, Н. А. Порядкова, Е. Н. Сокурова и Е. А. Тимофеева-Ресовская.

## II. Результаты некоторых опытов с наземными фитоценозами и бактериальными педоценозами

§ 13. Для проведения опытов с элементарными наземными биогеоценозами были сооружены серии специальных изолированных грядок длиной в 20 м и шириной и глубиной по 1 м. Нижние 50 см этих грядок были засыпаны песчано-щебнистой подпочвой, а верхние 50 см плодородной луговой почвой; подпочва и почва во всех грядках были, конечно, одинаковыми (рис. 1). Часть этих грядок служила контролем, а в другие вносились разные количества раствора осколков урана, от 1 до 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup> почвы; верхний слой почвы, толщиной примерно в 20 см, тщательно перекапывался, перемешивался и заравнивался железными граблями. Все грядки, контрольные и активные, засеивались одинаковым избыточным количеством одинаковой смеси семян 15 различных видов травянистых растений, с таким расчетом, чтобы образовалось перенасыщенное, сложное, трехъярусное сообщество: первый (верхний) ярус образовывали пшеница, ячмень, овес, горох, чина и лен; второй ярус — вика, чечевица, люпин синий и просо; третий — люпин желтый, эспарцет, люцерна, клевер и тимофеевка.

§ 14. Над сообществами в течение всего сезона проводились визуальные наблюдения и периодически подсчитывалось число экземпляров каждого вида на пробных площадках каждой грядки; в период цветения большинства однолетних видов было убрано по три пробные площадки с каждой грядки, с точным подсчетом, промером и взвешиванием всех растений каждого вида; а в конце вегетации, осенью, была тщательно снята и взвешена общая биомасса с каждой грядки. Из почвы и из всех видов растений брались пробы для измерения активности. Параллельно из почвы всех грядок периодически брались пробы для определения в них общей массы, числа и группового состава почвенных бактерий.

§ 15. Визуальные наблюдения над сообществами растений показали, что на грядках, в которые было внесено радиоактивное вещество дозами по 1 и по 5 милликюри на 1 м<sup>2</sup>, всходы были дружнее и сообщества развивались несколько быстрее и лучше по сравнению с контролем; третья грядка, в которую было внесено 25 милликюри на 1 м<sup>2</sup> на глаз почти не отличалась от контрольных, а четвертая и пятая грядки, в которые было внесено соответственно по 50 и по 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup> раствора излу-

чателей, показывали заметное на глаз угнетение сообществ. Промежуточная уборка показала, что на грядах со слабыми дозами излучателей (1 и 5 милликюри на 1 м<sup>2</sup>) число растений было несколько повышено (примерно на 5%), а их вес весьма значительно превышал контроль (примерно на 60—65%); средняя доза и обе сильные (25, 50 и 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup>) дали весьма заметное (на 16—26%) понижение по сравнению с контролем числа растений и несколько меньшее, но все же значительное понижение их веса (8—24%). Конечная уборка дала повышение общей биомассы по сравнению с контролем на 16 и 40% в первых двух дозах (1 и 5 милликюри на 1 м<sup>2</sup>) и понижение на 5—12% в сильных дозах. На

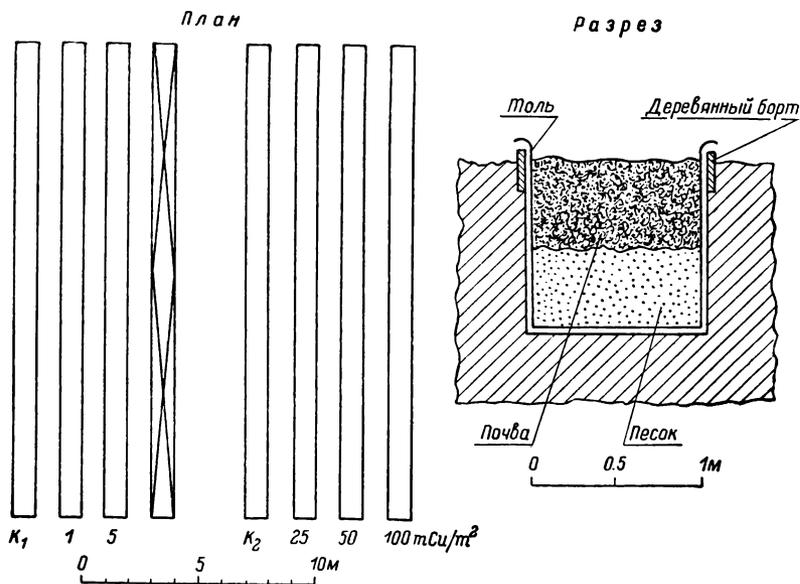


Рис. 1. Схематический чертеж гидроизолированных грядок для опытов по внесению излучателей в почву.

Слева — в плане, справа — в разрезе. К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub> — контрольные грядки.

рис. 2 приведены отклонения от контроля в процентах числа (1) и веса (2) растений при промежуточной уборке и общего веса сухой зеленой массы при конечной уборке (3). Соответствующий цифровой материал приведен в табл. 1 и 2.

§ 16. Рассмотрение сообществ по отдельным видам составляющих их растений показало, что различные виды и группы видов реагируют на внесение излучателей весьма по разному (рис. 3). Особенно выделяется группа в составе четырех видов (рис. 4, группа 2: люпин желтый, эспарцет, люцерна и клевер), которая дает отклонения в весе в положительную сторону от контроля не только при слабых, но и при наиболее сильных дозах излучателей, чего не наблюдается у растений группы 1 (рис. 4), в которую входят все остальные виды. В группе 1 наблюдается вполне нормальная стимуляция слабыми и прогрессирующее угнетение сильными дозами излучателя, в то время как группа 2, показывая такую же стимуляцию слабой дозой, почти не отличается от контроля в случае трех следующих доз и резко превышает контроль при самой сильной дозе излучений.

Указанное явление наблюдается и при рассмотрении сообществ по трем ярусам. Растения двух первых ярусов дают при слабых дозах излучения весьма небольшое положительное отклонение в числе экземпляров

ТАБЛИЦА 1

Влияние внесения излучателя на общее число и вес всех растений в возрасте 7—8 недель, с трех пробных метровых площадок каждой грядки [варианты: 2 контроля (К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub>) и 5 радиоактивных грядок со внесением излучателей в количествах 1, 5, 25, 50 и 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup> поверхности]

Доза излучателей (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> )	Показатели	Число растений	Общий вес (в г)	Средний вес 1 растения (в г)
0	К <sub>1</sub> . . . . .	2107	4516	2.14
1	{ Абс. . . . .	2226	7630	3.42
	{ В % от К <sub>1</sub>	105%	169%	160%
5	{ Абс. . . . .	2173	7106	3.23
	{ В % от К <sub>1</sub>	103%	157%	151%
0	К <sub>2</sub> . . . . .	2418	6989	2.88
25	{ Абс. . . . .	2029	6493	3.20
	{ В % от К <sub>2</sub>	84%	93%	111%
50	{ Абс. . . . .	1784	5708	3.20
	{ В % от К <sub>2</sub>	74%	82%	111%
100	{ Абс. . . . .	1837	5350	2.89
	{ В % от К <sub>2</sub>	76%	76%	100%

ТАБЛИЦА 2

Сухой вес всей (скошенной) биомассы в конце вегетации с двух контрольных (К<sub>1</sub> и К<sub>2</sub>) и пяти радиоактивных грядок (см. табл. 1)

Показатели	Варианты опыта — контрольные грядки и с внесением излучателя (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> )						
	К <sub>1</sub>	1 мил-ликюри	5 мил-ликюри	К <sub>2</sub>	25 мил-ликюри	50 мил-ликюри	100 мил-ликюри
В г . . . . .	7885	9140	10945	8530	8050	7915	7545
В % от К . . . .	100%	116%	140%	100%	95%	93%	88%

и резкое увеличение веса; при сильных же дозах снижается как число, так и вес растений двух первых ярусов. Третий ярус, дав повышение веса растений при слабых дозах, резко увеличивает число и, особенно, вес растений при наиболее сильной дозе (рис. 5). При заметном угнетении первого яруса при сильной дозе разрастается, в связи с освобождением эдафического пространства, третий ярус, который состоит как раз из видов, давших своеобразную псевдостимуляцию при наиболее высоких концентрациях излучателей. Таким образом, внесение излучателей в почву в малых дозах вызывает лишь незначительные, а при высоких концентрациях — весьма заметные сдвиги в качественном составе и ярусной структуре сообществ. Цифровой материал приведен в табл. 3—7.

ТАБЛИЦА 3

Число и вес растений 7—8-недельного возраста с трех пробных метровых площадок двух контрольных и пяти радиоактивных грядок (см. табл. 1); все виды разбиты на 7 систематических групп

Доза излучения (в милл. рентген на 1 см <sup>2</sup> )	Показатели	Группы растений														просо		лен			
		Всего растений		горох и чина		вика, чечевица и эспарцет		люпин желтый и синий		люцерна и клевер		пшеница, ячмень и овес		число		вес (в г.)		число		вес (в г.)	
		число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)	число	вес (в г.)		
0	K <sub>1</sub> . . . . .	2107	4516	158	1012	170	214	38	193	220	46	882	2653	103	98	412	237				
	Абс. . . . .	2226	7630	172	1440	186	328	51	464	221	66	978	4584	98	221	396	327				
1	В % от K <sub>1</sub>	105% <sup>0</sup>	169% <sup>0</sup>	109% <sup>0</sup>	142% <sup>0</sup>	109% <sup>0</sup>	153% <sup>0</sup>	134% <sup>0</sup>	240% <sup>0</sup>	101% <sup>0</sup>	145% <sup>0</sup>	111% <sup>0</sup>	172% <sup>0</sup>	95% <sup>0</sup>	225% <sup>0</sup>	96% <sup>0</sup>	138% <sup>0</sup>				
	Абс. . . . .	2173	7106	158	1214	173	268	51	292	169	44	1005	4633	80	140	410	352				
5	В % от K <sub>1</sub>	103% <sup>0</sup>	157% <sup>0</sup>	100% <sup>0</sup>	121% <sup>0</sup>	102% <sup>0</sup>	125% <sup>0</sup>	134% <sup>0</sup>	151% <sup>0</sup>	78% <sup>0</sup>	96% <sup>0</sup>	114% <sup>0</sup>	174% <sup>0</sup>	86% <sup>0</sup>	142% <sup>0</sup>	100% <sup>0</sup>	148% <sup>0</sup>				
	Абс. . . . .	2418	6989	151	1293	205	401	55	205	273	69	1133	4470	106	138	467	307				
25	Абс. . . . .	2029	6493	149	1225	195	419	54	324	267	70	685	3859	100	129	429	230				
	В % от K <sub>2</sub>	84% <sup>0</sup>	93% <sup>0</sup>	99% <sup>0</sup>	95% <sup>0</sup>	95% <sup>0</sup>	104% <sup>0</sup>	98% <sup>0</sup>	158% <sup>0</sup>	98% <sup>0</sup>	101% <sup>0</sup>	60% <sup>0</sup>	86% <sup>0</sup>	94% <sup>0</sup>	97% <sup>0</sup>	92% <sup>0</sup>	94% <sup>0</sup>				
50	Абс. . . . .	1784	5708	128	1223	197	515	47	275	249	94	798	3318	61	60	321	233				
	В % от K <sub>2</sub>	74% <sup>0</sup>	82% <sup>0</sup>	85% <sup>0</sup>	94% <sup>0</sup>	95% <sup>0</sup>	128% <sup>0</sup>	86% <sup>0</sup>	134% <sup>0</sup>	92% <sup>0</sup>	136% <sup>0</sup>	70% <sup>0</sup>	74% <sup>0</sup>	58% <sup>0</sup>	45% <sup>0</sup>	69% <sup>0</sup>	76% <sup>0</sup>				
100	Абс. . . . .	1887	5350	107	851	193	428	54	295	352	181	637	3019	64	88	334	244				
	В % от K <sub>2</sub>	76% <sup>0</sup>	76% <sup>0</sup>	71% <sup>0</sup>	66% <sup>0</sup>	94% <sup>0</sup>	107% <sup>0</sup>	98% <sup>0</sup>	144% <sup>0</sup>	129% <sup>0</sup>	362% <sup>0</sup>	56% <sup>0</sup>	68% <sup>0</sup>	60% <sup>0</sup>	66% <sup>0</sup>	72% <sup>0</sup>	79% <sup>0</sup>				

ТАБЛИЦА 4

Число и вес 7—8-недельных растений, разбитых по высоте на ярусы, с трех пробных метровых площадок двух контрольных и пяти радиоактивных грядок

Доза излучателей (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> )	Показатели	Всего		1-й ярус		2-й ярус		3-й ярус	
		число	вес (в г)	число	вес (в г)	число	вес (в г)	число	вес (в г)
0	K <sub>1</sub> . . . . .	2038	4453	1497	3902	286	472	255	79
1	Абс. . . . .	2099	7430	1543	6351	289	940	267	139
	В % от K <sub>1</sub>	103%	167%	103%	163%	101%	199%	105%	176%
5	Абс. . . . .	2024	6776	1572	6062	249	622	203	92
	В % от K <sub>1</sub>	99%	152%	105%	155%	87%	132%	80%	116%
0	K <sub>2</sub> . . . . .	2370	6979	1731	6070	321	786	318	123
25	Абс. . . . .	1879	6216	1263	5274	317	814	299	128
	В % от K <sub>2</sub>	79%	89%	73%	87%	99%	104%	94%	104%
50	Абс. . . . .	1784	5708	1252	4774	262	799	270	135
	В % от K <sub>2</sub>	75%	82%	72%	78%	82%	102%	85%	110%
100	Абс. . . . .	1741	5054	1078	4110	257	742	406	262
	В % от K <sub>2</sub>	73%	72%	62%	67%	80%	94%	128%	213%

На рис. 6 приведены результаты двукратной фиксации распределения различных видов растений по ярусам в контроле и на трех грядках с раз-

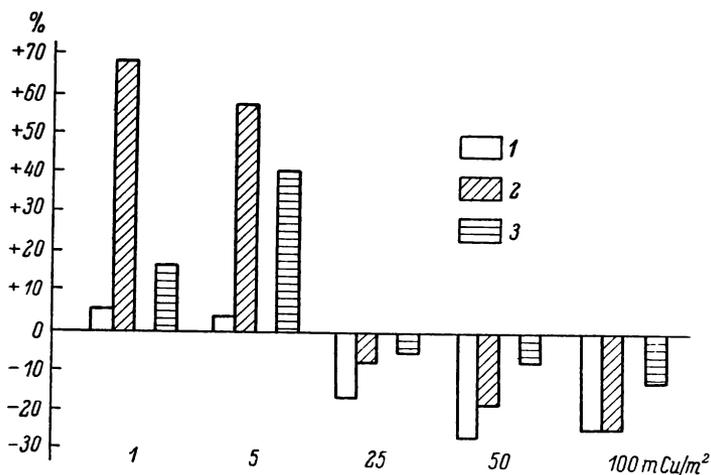


Рис. 2. Отклонения от контроля в процентах числа растений (1) и их общего веса (2) с трех пробных метровых площадок каждой грядки в 7—8-недельном возрасте и общего веса (3) всей биомассы грядок при конечной уборке.

По оси абсцисс — количество внесенного излучателя (в милликюри на 1 м<sup>2</sup> поверхности); по оси ординат — отклонение от контроля.

личными дозами излучателя. Все 20 видов на опытных грядках распределены в порядке занимаемого ими яруса в контроле при первом учете.

ТАБЛИЦА 5

Число 7—8-недельных растений с трех пробных метровых площадок каждой грядки; растения разбиты по ярусам, с указанием процентного участия каждого яруса в общем числе растений, принятом за 100%

Доза излучателей (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> )	Всего растений		1-й ярус		2-й ярус		3-й ярус	
	число	%	число	%	число	%	число	%
0 (К <sub>1</sub> ) . . . . .	2038	100%	1497	74%	286	14%	255	12%
1 . . . . .	2099	100	1543	74	289	14	267	12
5 . . . . .	2024	100	1572	78	249	12	203	10
0 (К <sub>2</sub> ) . . . . .	2370	100	1731	74	321	14	318	12
25 . . . . .	1879	100	1263	67	317	17	299	16
50 . . . . .	1784	100	1252	70	262	15	270	15
100 . . . . .	1741	100	1078	62	257	15	406	23

ТАБЛИЦА 6

Вес 7—8-недельных растений с трех пробных метровых площадок каждой грядки; растения разбиты по ярусам с указанием процентного участия каждого яруса в общем весе растений, принятом за 100%

Доза излучателей (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> )	Всех растений		1-й ярус		2-й ярус		3-й ярус	
	вес (в г)	в %	вес (в г)	в %	вес (в г)	в %	вес (в г)	в %
0 (К <sub>1</sub> ) . . . . .	4453	100%	3902	88%	472	10%	79	2%
1 . . . . .	7430	100	6351	85	940	13	139	2
5 . . . . .	6776	100	6062	89	622	10	92	1
0 (К <sub>2</sub> ) . . . . .	6979	100	6070	87	786	11	123	2
25 . . . . .	6216	100	5274	85	814	13	128	2
50 . . . . .	5708	100	4774	84	799	14	135	2
100 . . . . .	5114	100	4110	80	742	15	262	5

ТАБЛИЦА 7

Распределение числа и веса растений по ярусам на 5 радиоактивных грядках в процентах от такого же распределения в контроле, принятого за 100%

Доза излучателей (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> )	1-й ярус		2-й ярус		3-й ярус	
	число	вес	число	вес	число	вес
0 (К) . . . . .	100%	100%	100%	100%	100%	100%
1 . . . . .	100	99	100	120	100	80
5 . . . . .	105	103	86	100	83	60
25 . . . . .	90	94	121	145	133	100
50 . . . . .	95	96	107	127	125	100
100 . . . . .	84	92	107	136	191	250

Из рисунка ясно видно, что слабые дозы к концу вегетации дают перестройку, совершенно сходную с контролем; при сильных же дозах уже с самого начала сообщество резко изменяется, а к концу вегетации многие виды выпадают, а остающиеся совершенно иначе, чем в контроле, распределяются по ярусам.

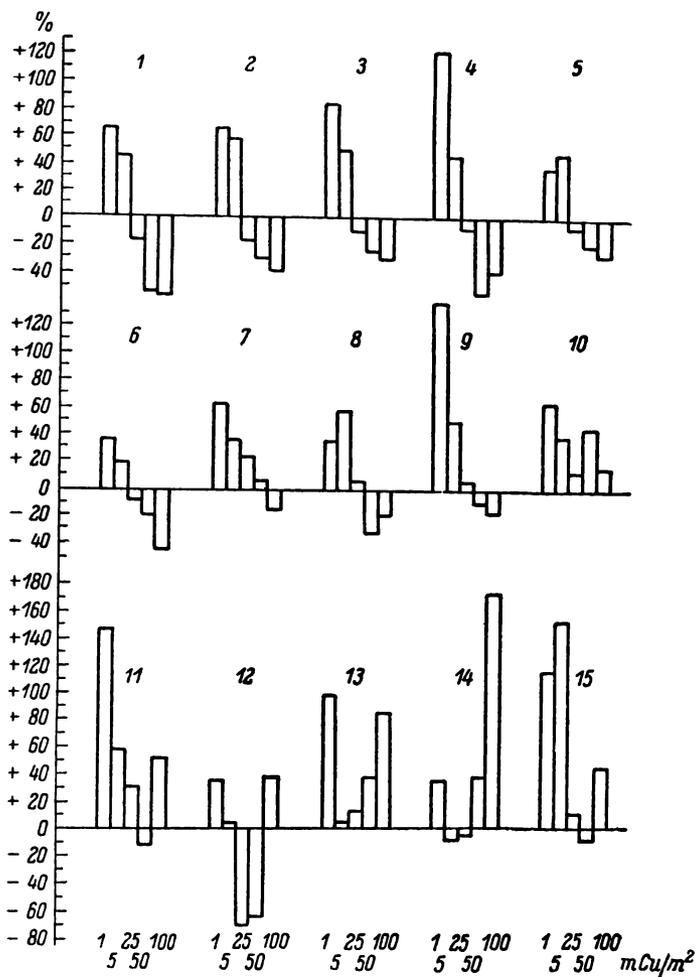


Рис. 3. Отклонения веса различных видов растений от контроля на пяти грядах с возрастающими количествами излучателей в почве (1,5, 25, 50 и 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup>).

1 — пшеница; 2 — ячмень; 3 — овес; 4 — просо; 5 — лен; 6 — горох; 7 — чина; 8 — чечевица; 9 — люпин синий; 10 — вика; 11 — люпин желтый; 12 — эспарцет; 13 — люцерна; 14 — клевер; 15 — сорняки. Показатели на осях координат те же, что и на рис. 2.

§ 17. Концентрация излучателей в растениях оказалась заметно различной у отдельных видов и в систематических группах в целом. Различия наблюдались как в общем уровне активности, так и в распределении излучателей по основным органам растений (рис. 7). Как видно из рисунка, у злаков и льна активность корней и, особенно, зеленой массы понижена, у однолетних бобовых повышена концентрация излучателей в корнях, у многолетних бобовых — в зеленой массе. Чрезвычайно низкая концентрация излучателей наблюдается у всех видов в семенах. Общая активность надземной массы всех видов растений в среднем лишь

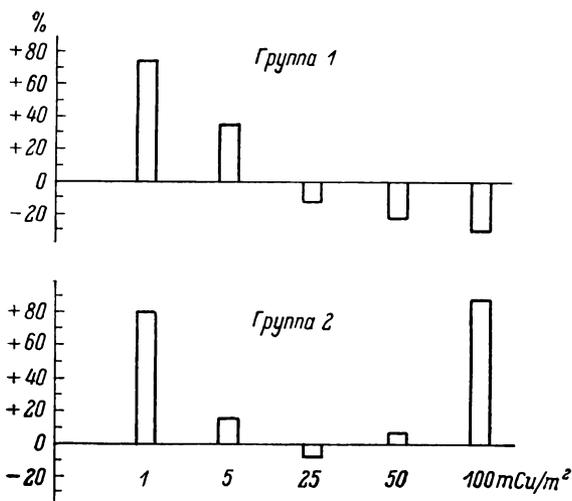


Рис. 4. Отклонения веса растений от контроля на пяти грядках с возрастающим количеством излучателей в почве (1, 5, 25, 50 и 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup>).

Осредненные данные по двум группам видов растений: группа 1 — пшеница, ячмень, овес, просо, лен, горох, чина, чечевица и люпин синий; группа 2 — люпин желтый, эспарцет, люцерна и клевер.

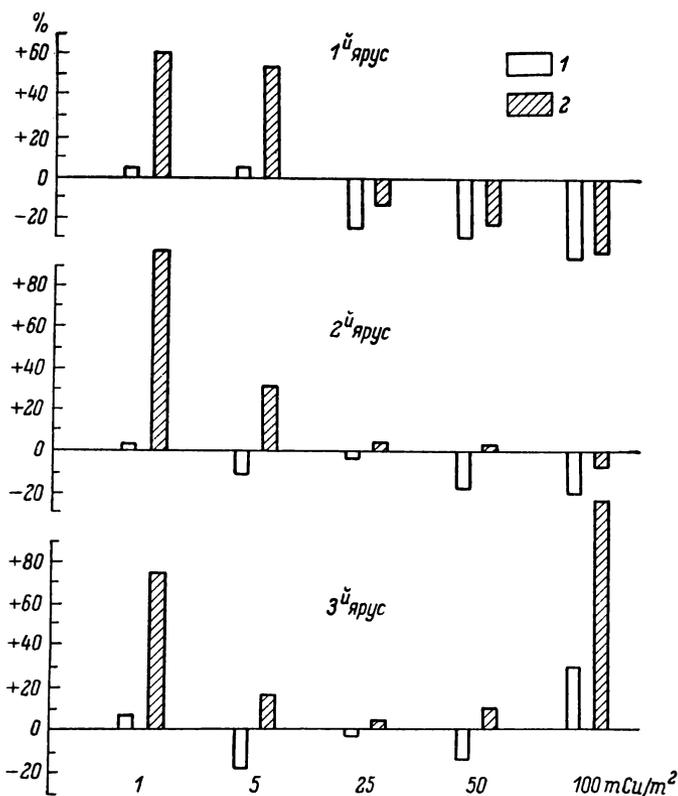


Рис. 5. Процентные отклонения от контроля числа растений (1) и их веса (2) по трем ярусам на пяти грядках с разным содержанием излучателей в почве (1, 5, 25, 50 и 100 милликюри на 1 м<sup>2</sup>).

Показатели на осях координат те же, что и на рис. 2.

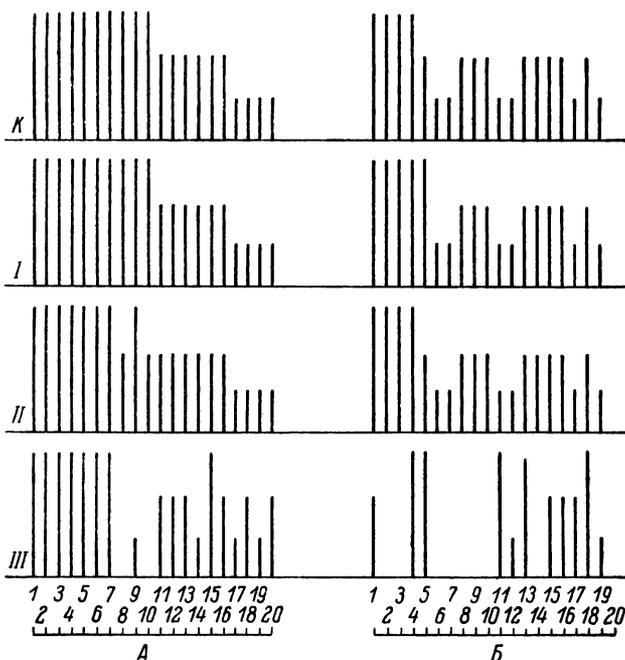


Рис. 6. Графическое изображение перестройки фитоценозов, состоящих из 20 видов растений, в течение периода вегетации в контроле (К) и под влиянием слабой (I), средней (II) и сильной (III) доз излучателей.

Виды растений расположены от первого до двадцатого в порядке ярусности в контроле в начале вегетации. Высокими столбиками обозначены виды первого, средними — виды второго и низкими столбиками — виды третьего яруса. А — результат учета в начале вегетации, Б — в период разгара цветения.

1 — пшеница; 2 — овес; 3 — ячмень; 4 — вика; 5 — конопля; 6 — чечевица; 7 — рожь; 8 — бобы; 9 — нут; 10 — фасоль; 11 — просо; 12 — многолетние травы; 13 — горох; 14 — соя; 15 — горчица; 16 — гречиха; 17 — клевер; 18 — рыжик; 19 — морковь; 20 — шпинат.

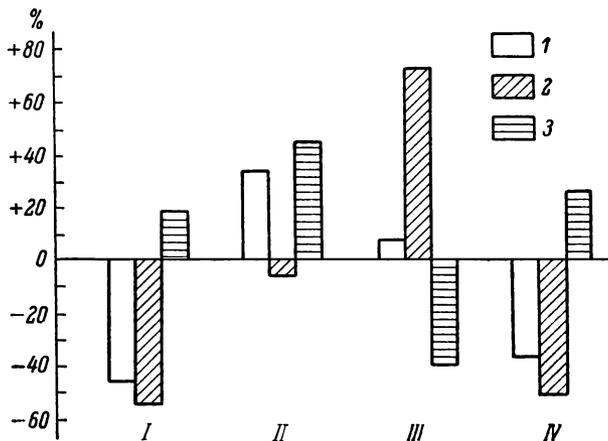


Рис. 7. Процентные отклонения концентраций активности в корнях (1) и надземной массе (2), а также их отношения (3) в четырех группах растений от соответствующих средних величин по всем видам растений.

Группы растений: I — злаки (пшеница, ячмень, овес и просо); II — однолетние бобовые (горох, чина, вика, чечевица, люпин синий и люпин желтый); III — многолетние бобовые (эспарцет, люцерна и клевер); IV — лен.

ТАБЛИЦА 8

Концентрация активности (число частиц в минуту на 1 г сухого вещества) в трех основных частях (корни, надземная масса и у некоторых видов семена) 14 видов культурных растений и группы сорняков

Виды	Варианты опыта по дозам излучателя												Усреднение на 18 милликюри на 1 м <sup>2</sup>		
	1 милликюри на 1 м <sup>2</sup>		5 милликюри на 1 м <sup>2</sup>		25 милликюри на 1 м <sup>2</sup>		50 милликюри на 1 м <sup>2</sup>		100 милликюри на 1 м <sup>2</sup>		семена		корни		
	надземная масса	корни	надземная масса	корни	надземная масса	корни	надземная масса	корни	надземная масса	корни	надземная масса	корни	надземная масса	корни	
Пшеница . . . . .	130	750	280	1300	32	2630	40	1060	5500	80	3600	9700	100	590	1990
Ячмень . . . . .	65	1240	300	2060	14	3170	24	1080	3610	60	1530	8390	70	350	1850
Овес . . . . .	60	540	270	2160	20	2910	40	1250	4410	50	2780	10420	120	510	2040
Просо . . . . .	80	220	485	1800	40	2000	50	1980	5900	160	2290	7710	200	550	1760
Среднее . . . . .	85	690	330	1830	26	2680	38	1340	4850	85	2550	9080	120	500	1910
Горох . . . . .	330	1080	790	3590	36	5840	56	1860	12510	80	7520	21950	90	1170	4500
Чина . . . . .	100	290	380	1320	12	3800	52	1880	10520	70	4720	18220	100	770	3415
Чечевица . . . . .	300	1500	510	2300	54	8520	90	3840	14290	130	5400	19030	260	1080	4560
Вика . . . . .	100	2700	440	5120	6	9760	56	1760	18070	160	3850	34510	410	700	7010
Люпин желтый . . . . .	310	820	810	2440	—	5910	—	4410	9810	—	9670	12890	—	1720	3185
Люпин синий . . . . .	80	960	200	2070	—	5620	—	1430	12860	—	3870	31520	—	645	5300
Среднее . . . . .	203	1225	520	2800	27	6575	64	2530	13010	110	5840	23020	215	1013	4663
Эспарцет . . . . .	300	960	770	2500	—	8600	—	5770	17270	—	9490	29050	—	2015	5840
Люцерна . . . . .	360	540	430	1750	—	5080	—	3090	5390	—	6990	9810	—	1925	1827
Клевер . . . . .	830	1310	1080	1740	—	5080	—	4830	9250	—	12720	18010	—	2350	3540
Среднее . . . . .	495	930	1080	1740	—	5080	—	4830	10620	—	9810	18960	—	1862	3735
Среднее бобовые . . . . .	300	1180	710	2340	27	6080	50	3295	12210	110	7130	21665	215	1297	4350
Лен . . . . .	70	450	290	860	20	1140	90	1670	7060	230	2860	12600	370	540	2210
Сорняки . . . . .	400	780	700	2040	—	3160	—	5140	8130	—	12240	16260	—	2030	3040
Общее среднее . . . . .	235	945	580	2080	26	4680	55	2730	9635	100	5965	17340	160	1080	3470

несколько ниже активности почвы; таким образом, фитоценоз выносит на поверхность заметную часть содержащихся в почве излучателей, кото-

ТАБЛИЦА 9

Концентрация активности (число частиц в минуту на 1 г сухого веса, в пересчете на грядку в 18 милликюри на 1 м<sup>2</sup>) корней и надземной массы в среднем для всех растений и для четырех различных групп и отношение этих концентраций для тех же групп. Все эти числа, кроме того, выражены в процентах от среднего значения для всех растений. Видовой состав групп — см. рис. 7

Группы растений	Показатели	Среднее число частиц (в минуту на 1 г)		Отношение концентраций активности в корнях и в надземной массе
		корни	надземная масса	
Злаки	Абс. . . . .	1910	500	3.8
	% от среднего .	55	46	119
Однолетние бобовые	Абс. . . . .	4660	1010	4.6
	% от среднего .	134	94	144
Многолетние бобовые	Абс. . . . .	3740	1860	2.0
	% от среднего .	108	172	62
Лен	Абс. . . . .	2210	540	4.1
	% от среднего .	64	50	128
Среднее из всех растений	Абс. . . . .	3470	1080	3.2
	% . . . . .	100	100	100

рая с отмиранием надземной массы будет отложена в верхний перегнойный слой почвы. Цифровые данные приведены в табл. 8—10.

ТАБЛИЦА 10

Активность почвы и растений (в кюри на 1 кг) в среднем на дозу в 18 милликюри на 1 м<sup>2</sup>. «Коэффициенты накопления» — отношение активности в растениях к активности почвы

Объект	Кюри на 1 кг в среднем на дозу в 18 милликюри на 1 м <sup>2</sup>	«Коэффициент накопления» (к/п)
Почва . . . .	$6.0 \cdot 10^{-5}$	—
Корни растений . . . .	$2.0 \cdot 10^{-5}$	0.33
Надземная масса . . . .	$5.0 \cdot 10^{-6}$	0.083
Семена . . . .	$1.5 \cdot 10^{-7}$	0.0025

§ 18. В почвах тех же самых грядок, на которых высевались описанные сообщества растений, определялось общее количество и состав бактериальной флоры. При всех концентрациях излучателей, даже самых сильных, заметно угнетавших высшие растения, наблюдалась стимуляция как

ТАБЛИЦА 11

Общее количество бактерий (на 1 г сухого веса) в почвах с различным количеством раствора излучателей

Время после внесения раствора излучателей	Количество раствора излучателей, внесенного на 1 м <sup>2</sup> почвы											
	1 милликюри		5 милликюри		25 милликюри		50 милликюри		100 милликюри		% от конт-роля	% от конт-роля
	количество клеток	% от конт-роля	количество клеток	% от конт-роля	количество клеток	% от конт-роля	количество клеток	% от конт-роля	количество клеток	% от конт-роля		
1 месяц . . . . .	8.85 · 10 <sup>5</sup>	790/0	8.98 · 10 <sup>5</sup>	1010/0	8.02 · 10 <sup>5</sup>	910/0	5.81 · 10 <sup>5</sup>	660/0	3.35 · 10 <sup>5</sup>	380/0		
1½ месяца . . . . .	5.15 · 10 <sup>5</sup>	173	13.20 · 10 <sup>5</sup>	258	14.74 · 10 <sup>5</sup>	286	5.85 · 10 <sup>5</sup>	116	5.51 · 10 <sup>5</sup>	109		
2 месяца . . . . .	14.85 · 10 <sup>5</sup>	118	27.75 · 10 <sup>5</sup>	187	8.58 · 10 <sup>5</sup>	58	19.32 · 10 <sup>5</sup>	130	21.24 · 10 <sup>5</sup>	143		
3 месяца . . . . .	7.98 · 10 <sup>5</sup>	223	9.19 · 10 <sup>5</sup>	116	12.54 · 10 <sup>5</sup>	158	8.58 · 10 <sup>5</sup>	108	8.26 · 10 <sup>5</sup>	104		
4 месяца . . . . .	4.54 · 10 <sup>5</sup>	176	12.76 · 10 <sup>5</sup>	283	5.15 · 10 <sup>5</sup>	113	6.78 · 10 <sup>5</sup>	150	5.76 · 10 <sup>5</sup>	127		
В среднем . . . . .	8.27 · 10 <sup>5</sup>	1430/0	14.37 · 10 <sup>5</sup>	1740/0	9.80 · 10 <sup>5</sup>	1180/0	9.27 · 10 <sup>5</sup>	1120/0	8.82 · 10 <sup>5</sup>	1070/0		

ТАБЛИЦА 12

Количество сухой бактериальной массы, вырастающей на агаровых пластинках через 20 часов культивирования из 1 г сухой почвы через 2 месяца после внесения в нее раствора излучателей

Доза излучателей (в милликюри на 1 м <sup>2</sup> почвы)	Общее количество сухой бактериальной массы		Сухая бактериальная масса споровых форм	
	вес (в г)	% от контроля	вес (в г)	% от контроля
0 (К) . . . . .	73.5	100%	77.4	100%
1 . . . . .	81.0	124	92.9	120
5 . . . . .	126.1	173	103.1	134
25 . . . . .	119.3	162	87.4	113
50 . . . . .	167.4	228	155.1	202
100 . . . . .	135.4	184	124.6	161

общего веса бактериальной массы, так и числа бактерий на 1 г сухой почвы. Результаты соответствующих определений, выраженные в процентах от контроля, показаны на рис. 8. Бактерии разделялись на три группы: 1) менее терморезистентные споровые формы, 2) то же, более терморези-

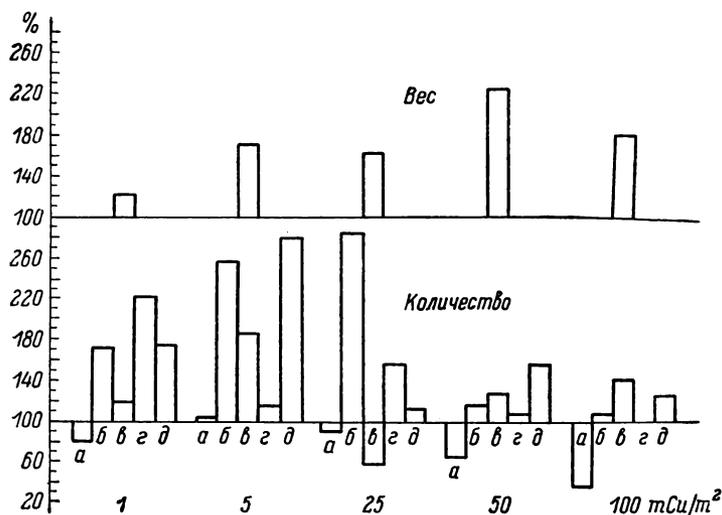


Рис. 8. Отклонения (%) общего количества бактерий и веса бактериальной массы от контроля в почвах с различным содержанием раствора излучателей.

а — через 1 месяц после внесения раствора излучателей в почву; б — через 1½ месяца; в — через 2 месяца; г — через 3 месяца; д — через 4 месяца.

стентные и 3) неспоровые бактерии. Слабые концентрации излучателей более или менее равномерно повышали количество особей всех трех групп бактерий; при более высоких концентрациях соотношения этих форм сдвигались сперва в пользу неспоровых, а затем в пользу менее терморезистентных споровых бактерий; результаты соответствующих подсчетов показаны в процентах от контроля на рис. 9. Таким образом, бактериаль-

ТАБЛИЦА 13

Изменение общего количества бактерий (на 1 г сухой почвы) в почвах с различными количествами внесенного излучателя

Время после внесения раствора излучателей	Количество излучателей, внесенное на 1 кг почвы												
	Контроль	0,25 милликюри		1 милликюри		4 милликюри		16 милликюри		64 милликюри		128 милликюри	
		количество бактерий альных клеток											
1/2 месяца . . . . .	2.19 · 10 <sup>6</sup>	2.16 · 10 <sup>6</sup>	99% конт-ль	2.01 · 10 <sup>6</sup>	92% конт-ль	2.05 · 10 <sup>6</sup>	94% конт-ль	1.21 · 10 <sup>6</sup>	55% конт-ль	7.21 · 10 <sup>5</sup>	33% конт-ль	7.95 · 10 <sup>5</sup>	36% конт-ль
1 месяц . . . . .	1.20 · 10 <sup>6</sup>	1.47 · 10 <sup>6</sup>	123	5.00 · 10 <sup>5</sup>	42	5.77 · 10 <sup>5</sup>	48	6.08 · 10 <sup>5</sup>	51	2.84 · 10 <sup>5</sup>	24	3.99 · 10 <sup>5</sup>	33
2 месяца . . . . .	8.99 · 10 <sup>5</sup>	1.49 · 10 <sup>6</sup>	166	8.92 · 10 <sup>5</sup>	99	7.29 · 10 <sup>5</sup>	81	4.59 · 10 <sup>5</sup>	51	3.66 · 10 <sup>5</sup>	41	1.56 · 10 <sup>5</sup>	17
3 месяца . . . . .	5.52 · 10 <sup>5</sup>	9.77 · 10 <sup>5</sup>	177	5.10 · 10 <sup>5</sup>	92	5.62 · 10 <sup>5</sup>	102	9.65 · 10 <sup>5</sup>	175	3.95 · 10 <sup>5</sup>	71	1.32 · 10 <sup>5</sup>	24
4 месяца . . . . .	6.85 · 10 <sup>5</sup>	4.92 · 10 <sup>5</sup>	71	5.29 · 10 <sup>5</sup>	77	8.25 · 10 <sup>5</sup>	120	1.75 · 10 <sup>5</sup>	25	3.16 · 10 <sup>5</sup>	46	1.24 · 10 <sup>5</sup>	1.3
5 месяцев . . . . .	2.42 · 10 <sup>5</sup>	3.79 · 10 <sup>5</sup>	157	2.98 · 10 <sup>5</sup>	123	1.47 · 10 <sup>5</sup>	61	5.50 · 10 <sup>5</sup>	23	3.04 · 10 <sup>5</sup>	13	1.42 · 10 <sup>5</sup>	6
6 месяцев . . . . .	4.32 · 10 <sup>5</sup>	4.66 · 10 <sup>5</sup>	108	8.27 · 10 <sup>5</sup>	191	3.90 · 10 <sup>5</sup>	90	2.72 · 10 <sup>5</sup>	63	1.72 · 10 <sup>5</sup>	40	1.97 · 10 <sup>5</sup>	4.6
7 месяцев . . . . .	2.12 · 10 <sup>5</sup>	2.48 · 10 <sup>5</sup>	117	1.99 · 10 <sup>5</sup>	94	2.00 · 10 <sup>5</sup>	94	6.80 · 10 <sup>5</sup>	32	1.84 · 10 <sup>5</sup>	0.9	1.82 · 10 <sup>5</sup>	0.09
10 месяцев . . . . .	3.82 · 10 <sup>5</sup>	5.36 · 10 <sup>5</sup>	140	1.68 · 10 <sup>5</sup>	48	3.15 · 10 <sup>5</sup>	85	8.30 · 10 <sup>5</sup>	22	2.40 · 10 <sup>5</sup>	6	3.4 · 10 <sup>5</sup>	0.1

ТАБЛИЦА 14

Изменение количества бактерий в почвах через 5 месяцев после внесения раствора излучателей

Доза излучателей (в милликури на 1 м <sup>2</sup> почвы)	Количество бактерий на 1 г сухой почвы, определяемое методом прямого счета		Количество бактерий, вырастающих на безазотистой среде (на 1 г сухой почвы)		Количество бактерий, вырастающих на мясо-пептонном агаре (на 1 г сухой почвы)	
	количество клеток	% от контроля	количество клеток	% от контроля	количество клеток	% от контроля
0 (К) . . . . .	2.78 · 10 <sup>9</sup>	100%	1.69 · 10 <sup>5</sup>	100%	8.90 · 10 <sup>5</sup>	100%
4 . . . . .	5.57 · 10 <sup>9</sup>	207	2.21 · 10 <sup>5</sup>	131	3.43 · 10 <sup>5</sup>	39
12.5 . . . . .	3.04 · 10 <sup>9</sup>	109	1.86 · 10 <sup>5</sup>	110	2.20 · 10 <sup>5</sup>	25
50 . . . . .	1.86 · 10 <sup>9</sup>	67	1.84 · 10 <sup>5</sup>	108	4.57 · 10 <sup>5</sup>	51

ная флора почвы во всех активных грядках оказалась стимулированной; особенно высокие положительные отклонения от контроля по массе и числу бактерий дали более слабые дозы. Тот факт, что дозы, уже заметно угнетающие растения, являются еще стимулирующим по отношению

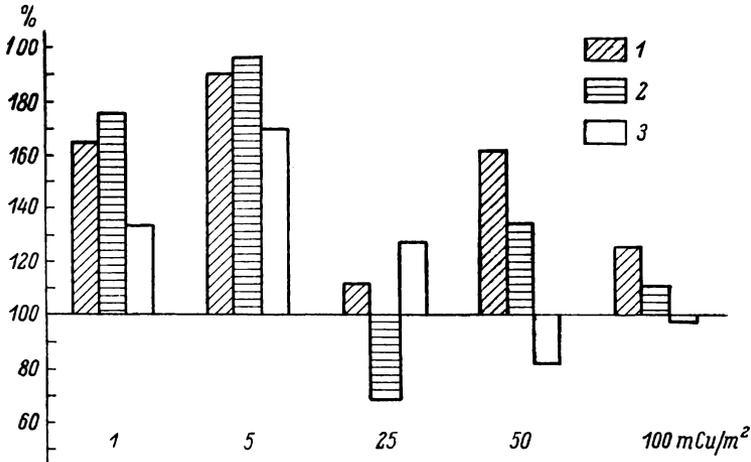


Рис. 9. Отклонение от контроля (%) количества бактерий в почвах с различным содержанием раствора излучателей.

1 — общее количество бактерий при определении методом прямого счета; 2 — количество азотфиксаторов; 3 — количество бактерий, вырастающих на мясо-пептонном агаре.

к бактериальной флоре почвы, вполне понятен, так как бактерии обладают значительно более высокой радиорезистентностью по сравнению с высшими растениями. Специальные опыты с почвой в сосудах показали, что заметное угнетение бактериальной флоры наступает лишь при значительно более высоких концентрациях излучателей, превышающих 5 милликури на 1 кг почвы, когда наступает резкое изменение в количественных отношениях разных форм в пользу аэробных и неспоровых бактерий (рис. 10). Цифровой материал приведен в табл. 11—17.

ТАБЛИЦА 15

Изменение количества различных групп бактерий на 1 г сухой почвы при внесении на 1 кг почвы 0.25 и 128 милликюри раствора излучателей

Группа бактерий	Время после внесения в почву раствора излучателей	Контроль	0.25 милликюри		128 милликюри	
		количество клеток	количество клеток	% от контроля	количество клеток	% от контроля
Споровые бактерии, выдерживающие прогревание в течение 10 мин. при 80°C	1/2 месяца	1.23 · 10 <sup>6</sup>	1.25 · 10 <sup>6</sup>	101%	—	—
	1 месяц	1.21 · 10 <sup>6</sup>	6.25 · 10 <sup>5</sup>	52	2.12 · 10 <sup>5</sup>	18%
	2 месяца	1.89 · 10 <sup>5</sup>	3.03 · 10 <sup>5</sup>	160	2.52 · 10 <sup>4</sup>	13
	3 месяца	3.62 · 10 <sup>5</sup>	6.30 · 10 <sup>5</sup>	177	9.55 · 10 <sup>4</sup>	27
	4 месяца	2.46 · 10 <sup>5</sup>	4.25 · 10 <sup>5</sup>	173	2.51 · 10 <sup>3</sup>	1
	5 месяцев	1.45 · 10 <sup>5</sup>	2.40 · 10 <sup>5</sup>	165	6.48 · 10 <sup>2</sup>	0.45
	6 месяцев	1.93 · 10 <sup>5</sup>	1.01 · 10 <sup>5</sup>	52	5.10 · 10 <sup>2</sup>	0.26
	7 месяцев	2.07 · 10 <sup>4</sup>	2.36 · 10 <sup>4</sup>	114	0	0
10 месяцев	7.2 · 10 <sup>4</sup>	4.0 · 10 <sup>5</sup>	556	2.7 · 10 <sup>1</sup>	0.04	
Споровые бактерии, выдерживающие прогревание в течение 30 мин. при 80°C	1/2 месяца	1.13 · 10 <sup>6</sup>	9.08 · 10 <sup>5</sup>	80%	—	—
	1 месяц	5.52 · 10 <sup>5</sup>	—	—	1.62 · 10 <sup>5</sup>	29%
	2 месяца	5.32 · 10 <sup>4</sup>	6.65 · 10 <sup>4</sup>	125	0	0
	3 месяца	1.85 · 10 <sup>5</sup>	2.12 · 10 <sup>5</sup>	115	0	0
	4 месяца	1.27 · 10 <sup>5</sup>	1.70 · 10 <sup>5</sup>	134	2.51 · 10 <sup>3</sup>	2
	5 месяцев	2.06 · 10 <sup>4</sup>	3.38 · 10 <sup>4</sup>	164	6.22	0.003
	6 месяцев	6.1 · 10 <sup>3</sup>	6.14 · 10 <sup>3</sup>	100	6.37	1
	7 месяцев	6.25 · 10 <sup>3</sup>	6.34 · 10 <sup>3</sup>	101	0	0
10 месяцев	2.1 · 10 <sup>5</sup>	9.7 · 10 <sup>4</sup>	46	0	0	
Неспоровые бактерии.	1/2 месяца	9.6 · 10 <sup>6</sup>	9.1 · 10 <sup>5</sup>	95%	—	—
	1 месяц	—	7.33 · 10 <sup>5</sup>	—	1.37 · 10 <sup>5</sup>	—
	2 месяца	7.10 · 10 <sup>5</sup>	1.19 · 10 <sup>6</sup>	168	1.31 · 10 <sup>5</sup>	18%
	3 месяца	1.96 · 10 <sup>5</sup>	3.47 · 10 <sup>5</sup>	177	3.65 · 10 <sup>4</sup>	19
	4 месяца	4.43 · 10 <sup>4</sup>	6.70 · 10 <sup>5</sup>	15	1.01 · 10 <sup>2</sup>	2
	5 месяцев	9.7 · 10 <sup>4</sup>	1.39 · 10 <sup>5</sup>	143	7.72 · 10 <sup>2</sup>	0.8
	6 месяцев	2.39 · 10 <sup>5</sup>	3.65 · 10 <sup>5</sup>	153	1.92 · 10 <sup>4</sup>	8
	7 месяцев	1.91 · 10 <sup>5</sup>	2.24 · 10 <sup>5</sup>	117	1.82 · 10 <sup>2</sup>	0.095
10 месяцев	1.72 · 10 <sup>5</sup>	1.34 · 10 <sup>5</sup>	78	0	0	
Анаэробы.	5 месяцев	8.40 · 10 <sup>4</sup>	9.35 · 10 <sup>4</sup>	111%	8.22 · 10 <sup>2</sup>	0.98%
	6 месяцев	1.06 · 10 <sup>5</sup>	1.24 · 10 <sup>5</sup>	117	0	0
	7 месяцев	5.00 · 10 <sup>4</sup>	3.81 · 10 <sup>4</sup>	76	4.13 · 10 <sup>1</sup>	0.08

ТАБ

Изменение количества споровых и неспоровых бактерий в почве на 1 г су

Группа бактерий	Время после внесения в почву раствора излучателей	Контроль	1 милликури	
		количество клеток	количество клеток	% от контроля
Споровые бактерии, выдерживающие прогревание в течение 10 мин. при 80° С.	1 месяц . . . . .	2.68 · 10 <sup>5</sup>	4.28 · 10 <sup>5</sup>	160%
	1½ месяца . . . . .	2.42 · 10 <sup>5</sup>	5.13 · 10 <sup>5</sup>	150
	2 месяца . . . . .	3.14 · 10 <sup>5</sup>	7.19 · 10 <sup>5</sup>	229
	3 месяца . . . . .	4.61 · 10 <sup>5</sup>	4.71 · 10 <sup>5</sup>	102
	4 месяца . . . . .	3.53 · 10 <sup>5</sup>	5.77 · 10 <sup>5</sup>	168
	В среднем . . . . .	3.28 · 10 <sup>5</sup>	5.42 · 10 <sup>5</sup>	165%
Споровые бактерии, выдерживающие прогревание в течение 30 мин. при 80° С.	1 месяц . . . . .	—	—	—
	1½ месяца . . . . .	2.03 · 10 <sup>5</sup>	2.97 · 10 <sup>5</sup>	146%
	2 месяца . . . . .	2.43 · 10 <sup>5</sup>	2.91 · 10 <sup>5</sup>	120
	3 месяца . . . . .	—	—	—
	4 месяца . . . . .	0.82 · 10 <sup>5</sup>	3.39 · 10 <sup>5</sup>	413
	В среднем . . . . .	1.76 · 10 <sup>5</sup>	3.09 · 10 <sup>5</sup>	175%
Неспоровые бактерии.	1 месяц . . . . .	6.17 · 10 <sup>5</sup>	2.75 · 10 <sup>5</sup>	45%
	1½ месяца . . . . .	1.73 · 10 <sup>5</sup>	3.77 · 10 <sup>5</sup>	218
	2 месяца . . . . .	11.71 · 10 <sup>5</sup>	10.35 · 10 <sup>5</sup>	88
	3 месяца . . . . .	3.32 · 10 <sup>5</sup>	13.00 · 10 <sup>5</sup>	391
	4 месяца . . . . .	1.01 · 10 <sup>5</sup>	2.23 · 10 <sup>5</sup>	221
	В среднем . . . . .	4.79 · 10 <sup>5</sup>	6.42 · 10 <sup>5</sup>	134%

ЛИЦА 16

вах с различными количествами излучателей (количество клеток хой почвы)

5 милликюри		25 милликюри		50 милликюри		100 милликюри	
количество клеток	% от контроля						
$6.85 \cdot 10^5$	255%	$4.05 \cdot 10^5$	151%	$4.55 \cdot 10^5$	174%	$2.84 \cdot 10^5$	106%
$4.84 \cdot 10^5$	142	$4.55 \cdot 10^5$	130	$3.59 \cdot 10^5$	105	$1.96 \cdot 10^5$	58
$5.73 \cdot 10^5$	215	$3.92 \cdot 10^5$	125	$12.37 \cdot 10^5$	394	$9.76 \cdot 10^5$	311
$3.65 \cdot 10^5$	79	$3.17 \cdot 10^5$	69	$3.98 \cdot 10^5$	86	$3.44 \cdot 10^5$	75
$9.07 \cdot 10^5$	256	$2.87 \cdot 10^5$	81	$2.17 \cdot 10^5$	61	$2.75 \cdot 10^5$	78
$6.23 \cdot 10^5$	190%	$3.69 \cdot 10^5$	112%	$5.33 \cdot 10^5$	162%	$4.15 \cdot 10^5$	126%
—	—	—	—	—	—	—	—
$5.80 \cdot 10^5$	263%	$2.31 \cdot 10^5$	114%	$2.46 \cdot 10^5$	121%	$1.01 \cdot 10^5$	50%
$2.86 \cdot 10^5$	118	$0.95 \cdot 10^5$	39	$4.29 \cdot 10^5$	181	$4.42 \cdot 10^5$	182
—	—	—	—	—	—	—	—
$2.20 \cdot 10^5$	268	$0.383 \cdot 10^5$	47	$0.324 \cdot 10^5$	40	$0.388 \cdot 10^5$	47
$3.45 \cdot 10^5$	196%	$1.21 \cdot 10^5$	69%	$2.36 \cdot 10^5$	134%	$1.93 \cdot 10^5$	110%
$2.14 \cdot 10^5$	35%	$3.97 \cdot 10^5$	64%	$1.26 \cdot 10^5$	20%	$0.51 \cdot 10^5$	8.2%
$8.35 \cdot 10^5$	483	$10.29 \cdot 10^5$	594	$2.26 \cdot 10^5$	131	$3.55 \cdot 10^5$	205
$21.02 \cdot 10^5$	179	$4.66 \cdot 10^5$	40	$6.95 \cdot 10^5$	59	$11.47 \cdot 10^5$	98
$5.64 \cdot 10^5$	166	$9.37 \cdot 10^5$	282	$4.60 \cdot 10^5$	138	$4.82 \cdot 10^5$	145
$3.69 \cdot 10^5$	366	$2.27 \cdot 10^5$	224	$4.61 \cdot 10^5$	457	$3.01 \cdot 10^5$	298
$3.15 \cdot 10^5$	170%	$8.15 \cdot 10^5$	128%	$3.94 \cdot 10^5$	82%	$4.67 \cdot 10^5$	98%

ТАБЛИЦА 17

Количество бактерий на 1 г сухой почвы в среднем по всем опытам в 9 временных точках и в 10 повторностях

Количество илучате- лей (в милликури на 1 кг воздушно-сухой почвы)	Общее количе- ство бактерий		Количество спо- ровых форм при прогревании в те- чение 10 мин. при 80°С		Количество спо- ровых форм при прогревании в течение 30 мин. при 80°С		Количество не- споровых форм		Аэробы <sup>1</sup>		Анаэробы	
	количество клеток	% от кон- тро- ля	количество клеток	% от кон- тро- ля	количество клеток	% от кон- тро- ля	количество клеток	% от кон- тро- ля	количество клеток	% от кон- тро- ля	количество клеток	% от кон- тро- ля
Контроль . . . . .	7.55 · 10 <sup>5</sup>	100%	4.07 · 10 <sup>5</sup>	100%	2.60 · 10 <sup>5</sup>	100%	3.48 · 10 <sup>5</sup>	100%	2.95 · 10 <sup>5</sup>	100%	8.00 · 10 <sup>4</sup>	1.00%
0.25 . . . . .	9.13 · 10 <sup>5</sup>	121	4.44 · 10 <sup>5</sup>	109	1.87 · 10 <sup>5</sup>	72	4.69 · 10 <sup>5</sup>	135	3.64 · 10 <sup>5</sup>	123	8.52 · 10 <sup>4</sup>	106
1 . . . . .	6.59 · 10 <sup>5</sup>	87	3.63 · 10 <sup>5</sup>	89	1.47 · 10 <sup>5</sup>	56	2.96 · 10 <sup>5</sup>	85	4.41 · 10 <sup>5</sup>	150	1.04 · 10 <sup>5</sup>	130
4 . . . . .	6.44 · 10 <sup>5</sup>	85	3.50 · 10 <sup>5</sup>	86	1.49 · 10 <sup>5</sup>	57	2.94 · 10 <sup>5</sup>	85	2.46 · 10 <sup>5</sup>	83	4.40 · 10 <sup>5</sup>	55
16 . . . . .	4.33 · 10 <sup>5</sup>	57	2.64 · 10 <sup>5</sup>	65	4.47 · 10 <sup>5</sup>	18	1.69 · 10 <sup>5</sup>	49	2.15 · 10 <sup>5</sup>	73	2.59 · 10 <sup>5</sup>	32
64 . . . . .	2.56 · 10 <sup>5</sup>	34	1.22 · 10 <sup>5</sup>	30	1.39 · 10 <sup>4</sup>	5	1.34 · 10 <sup>5</sup>	39	6.81 · 10 <sup>4</sup>	23	1.75 · 10 <sup>3</sup>	2
128 . . . . .	1.70 · 10 <sup>5</sup>	23	4.20 · 10 <sup>4</sup>	10	2.04 · 10 <sup>4</sup>	8	1.28 · 10 <sup>5</sup>	37	1.13 · 10 <sup>4</sup>	4	2.88 · 10 <sup>2</sup>	0.4

<sup>1</sup> Средние цифры по общему количеству аэробных бактерий из трех временных точек (на 5-й, 6-й и 7-й месяцы со времени внесения в почву илучателей), в которых определялось количество анаэробных бактерий.

§ 19. Вышеописанные опыты показали, что внесение слабых концентраций излучателей в почву вызывает заметную стимуляцию биомассы наземного фитоценоза и бактериальной флоры почвы, без ярко выраженной перестройки их ярусного и качественного состава (§§ 15 и 18). Повышение концентрации излучателей ведет к сокращению биомассы и сильной перестройке фитоценоза (§§ 16 и 18); угнетающее и заметно перестраи-

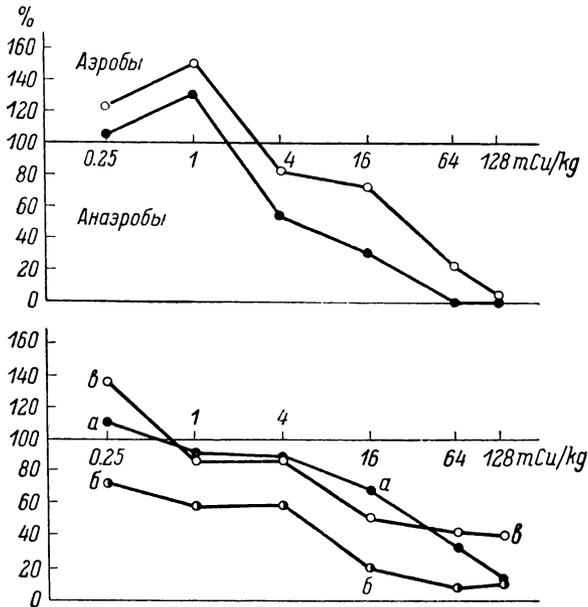


Рис. 10. Изменение, по сравнению с контролем, количества бактерий различных групп.

По оси абсцисс — количество излучателей в милликюри на 1 кг воздушно-сухой почвы (логарифмический масштаб), по оси ординат — число бактерий в процентах от контроля. а — споровые бактерии при прогревании в течение 10 мин. при 80° С; б — то же при прогревании в течение 30 мин. при 80° С; в — неспоровые бактерии.

вающее влияние на сообщество почвенных бактерий наступает лишь при очень высоких концентрациях излучателей в почве (§ 18). Растения в своей надземной массе выносят из почвы заметные количества излучателей, которые по отмирании зеленой массы откладываются в верхнем перегнойном слое почвы (§ 17).

### III. Результаты некоторых опытов в пресноводных водоемах

§ 20. Опыты по внесению излучателей в пресноводные водоемы проводились в аквариумах, в сериях связанных друг с другом слабопроточных бачков и в сериях наружных небольших прудов. В аквариумы вносились разные концентрации раствора осколков урана и наблюдалось развитие перифитона. Через пруды ежедневно пропускалось определенное количество раствора осколков урана слабой концентрации и наблюдались дезактивация воды и поглощение излучателей грунтом и биомассой. Через серии бачков пропускались слабые концентрации растворов различных отдельных элементов и изучались дезактивация воды и распределение элементов по разным косным и живым компонентам водоемов.

§ 21. В опытах с перифитоном употреблялись аквариумные банки, вмещавшие 5 л озерной воды; в часть из них добавлялся раствор оскол-

ков урана в концентрациях от 3 до 600 микрокюри на 1 л; опыты ставились в 10 повторностях на одном и том же стеллаже в оранжерее. Ниже

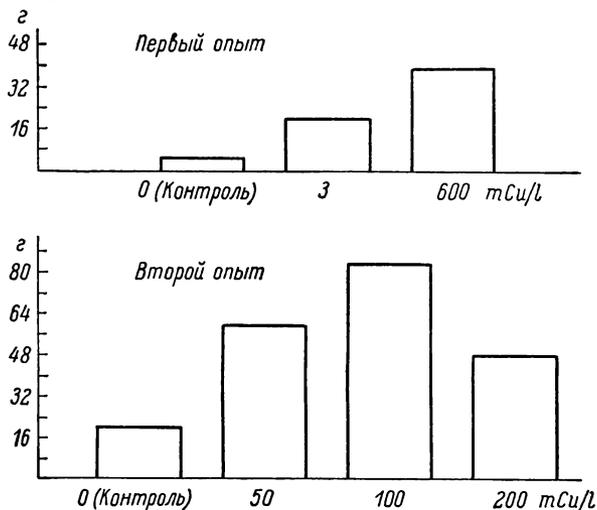


Рис. 11. Графическое изображение биомассы перифитона в трех вариантах первого и в четырех вариантах второго опыта.

Площади колонок пропорциональны весу биомассы. По оси абсцисс — количество излучателя, внесенного в воду; по оси ординат — вес биомассы.

приводятся результаты двух опытов: в первом было три варианта (контроль, 3 и 600 микрокюри на 1 л) и продолжался он около 3 месяцев

в весенний сезон, а второй опыт состоял из четырех вариантов (контроль, 50, 100 и 200 микрокюри на 1 л) и продолжался около 5 месяцев в течение весенне-летнего сезона. Во всех сосудах происходило постепенное обрастание поверхностей перифитомом. По окончании опыта перифитон тщательно снимался и взвешивался; в воде и в перифитоне определялась концентрация радиоактивности. Во втором опыте трижды (в марте, апреле и июне) определялся качественный состав перифитона и выявлялись массовые ведущие формы. На рис. 11 для обоих опытов приведены массы перифитона в граммах; из рисунка видно, что во всех вариантах биомасса перифитона значительно превышает контрольную. На рис. 12 для обоих опытов показаны отклонения биомассы перифитона в процентах от кон-

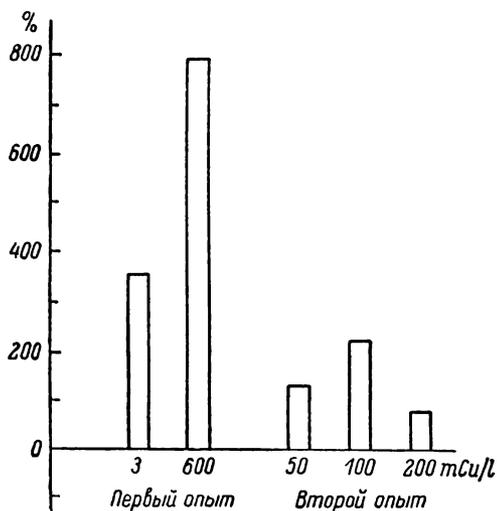


Рис. 12. Графическое изображение процентных отклонений от контроля общей биомассы перифитона в двух вариантах первого опыта и в трех вариантах второго опыта.

По оси абсцисс — количество излучателя, внесенного в воду; по оси ординат — величина отклонения от контроля.

троля; в первом опыте, в присутствии излучателей масса перифитона превышает контрольную в 4—8 раз, а во втором опыте — в 2—3½ раза.

Перифитон в этих опытах состоял преимущественно из водорослей и инфузорий. Повторный просмотр показал, что в присутствии разных концентраций излучателей происходит не только количественное, но и качественное изменение биоценозов перифитона; оно выражается преимущественно в том, что происходит, усиливаясь под влиянием более высокой концентрации, смена ведущих форм. В графической интерпретации это явление показано на рис. 13. Измерения концентраций излучателей

Варианты	Время взяты пробы	Ведущие формы перифитона									
		<i>Asterionella</i>	<i>Tabellaria</i>	<i>Vorticella</i>	<i>Colpidium</i>	<i>Synedra</i>	<i>Fragilaria</i>	<i>Cosmarium</i>	<i>Staurastrum</i>	<i>Nannula</i>	<i>Melosira</i>
Контроль	Март	■	■	■	■						
	Апрель	■	■	■	■						
	Июнь	■		■		■	■				
50-100 мСв/л	Март	■	■	■	■						
	Апрель	■	■	■	■						
	Июнь					■	■	■	■		
200 мСв/л	Март	■	■	■	■						
	Апрель	■	■	■	■	■					
	Июнь		■			■		■		■	■

Рис. 13. Смена ведущих форм в биоценозах перифитона при разных концентрациях излучателей. Определения производились трижды: в марте, апреле и июне, т. е. примерно через 2, 3 и 5 месяцев после начала опытов. Встречаемость ведущих форм показана столбиками различной высоты (высокая, средняя и низкая встречаемость).

в воде и перифитоне показали чрезвычайно высокие коэффициенты накопления излучателей (т. е. отношения величин концентраций и активности излучателей в перифитоне и в воде) биомассой перифитона. Величина коэффициентов в разных вариантах опыта колеблется примерно от 6500 до 16 000. В связи с этим происходит соответствующая дезактивация воды. Цифровые данные приведены в табл. 18—22.

§ 22. Таким образом, опыты с перифитоном дали результаты, принципиально сходные с результатами изучения наземных биоценозов. Слабые концентрации излучателей вызывают весьма заметную стимуляцию общей биомассы перифитона и некоторую перестройку качественного

ТАБЛИЦА 18

Первый опыт с перифитоном. Сырой и сухой вес и вес золы общей биомассы перифитона дается в сумме из 10 повторностей по каждому варианту. Сухой вес выражен в процентах от сырого, а вес золы—в процентах от сухого веса

Доза излучателей (в милликюри на 1 л воды)	Показатели	Сырой вес в г	Сухой вес		Вес золы	
			в г	в % от сырого веса	в г	в % от сухого веса
0	Контроль .	4.50	0.40	8.9%	0.20	50.0%
3	Абс. . . . .	21.30	1.75	8.2	0.75	43.0
	В % от контроля . . . .	457.0	433.0	92.0	373.0	86.0
600	Абс. . . . .	40.70	4.05	9.9	1.99	47.7
	В % от контроля . . . .	905.0	1010.0	111.0	970	96

состава биоценоза. Пресноводные микроорганизмы в очень сильной степени концентрируют элементы, растворенные в воде в ничтожных концентрациях; по отмирании организмов элементы должны накапливаться в донных отложениях.

ТАБЛИЦА 19

Второй опыт с перифитоном, при иных концентрациях излучателей в воде (каждая цифра—среднее из 10 повторностей; показатели те же, что и в табл. 18)

Доза излучателей (в милликюри на 1 л воды)	Показатели	Сырой вес (в г)	Сухой вес (в г)	Вес золы (в г)
0	Контроль . .	28.44	6.08	4.17
50	Абс. . . . .	60.33	8.78	5.29
	В % от контроля . . . .	210.0	144.0	126.0
100	Абс. . . . .	83.77	12.67	5.93
	В % от контроля . . . .	300.0	208.0	144.0
200	Абс. . . . .	48.29	9.09	5.50
	В % от контроля . . . .	170.0	149.0	132.0

§ 23. Через серию из трех связанных верхним стоком прудиков (общим объемом около 50 м<sup>3</sup>) ежедневно пропускалось около 1 м<sup>3</sup> раствора осколков урана с концентрацией в 10 микрокюри на 1 л. Измерялся ежесуточный сток из каждого прудика и определялась активность воды, а также брались пробы для определения концентрации активности в грунте и в биомассе. Коэффициенты накопления в грунте были сравнительно не велики, для песка порядка 5—10, а для иловых отложений порядка 400—4000; в биомассе же коэффициенты накопления составляли для высших водных растений 200—1000, для ряски 1000—2000, а для планктона 2000—4000. Несколько различных видов водных животных (катушки, прудовики, бокоплавы) дали коэффициенты накопления порядка 500—1000; окуни дали сравнительно ничтожные коэффициенты накопления—порядка единиц, поскольку заметная концентрация активности наблюдалась у них главным образом в чешуе, жабрах и, лишь отчасти, в

скелете. На рис. 14 приведен общий баланс активности, пропускавшей в течение целого сезона через установку из трех связанных друг с другом прудиков. Если всю впущенную в первый пруд активность (более кюри) принять за 100%, то грунты и биомасса первого пруда задержали около 95%, в воде осталось 2.3% и вытекло во второй пруд 2.8% всей исходной активности; из второго пруда в третий вытекло 1.8%, а из третьего пруда 0.7% исходной активности. Как видно, второй и третий пруды задерживали активность значительно хуже первого, в меньшей степени по сравнению с первым. Это объясняется, во-первых, тем, что первый пруд был в полтора раза больше двух других и потому проток в нем был медленнее; во-вторых, причина в том, что в первый пруд подавалась смесь различных элементов, из которых в нем задерживались наиболее легко и быстро сорбируемые, а в следующие пруды поступала уже менее «благоприятная» комбинация излучателей.

§ 24. В общем, как видно из рисунка, установка из трех прудов очень хорошо дезактивирует воду, пропуская менее одного процента исходной активности. С наружными прудами различного типа опыты велись в течение трех лет. При этом, как и следовало ожидать, они не показывают еще признаков насыщения. Постоянно возобновляющаяся биомасса продол-

ТАБЛИЦА 20

Изменения концентрации активности в воде в двух вариантах первого опыта, в трех равномерно взятых пробах (каждая цифра — среднее из 10 повторностей)

Исходная концентрация излучателей в микрокюри (на 1 л)	Изменения активности воды по датам взятия проб (в тысячах частиц в 1 мин. на 1 см <sup>3</sup> )		
	16 II 1952	5 III 1952	28 IV 1952
3 . . . . .	0.650	0.280	0.180
600 . . . . .	154.0	40.2	29.3

ТАБЛИЦА 21

Изменения концентрации излучателей в воде (активности воды) в трех вариантах второго опыта в девяти разновременно взятых пробах. Для каждой точки дано среднее из 10 повторностей

Исходная концентрация (в микрокюри на 1 л)	Изменение активности воды по датам взятия проб (в тысячах частиц в 1 мин. на 1 см <sup>2</sup> )								
	20 I 1953	6 II 1953	11 II 1953	27 II 1953	19 III 1953	8 IV 1953	16 V 1953	3 VI 1953	10 VI 1953
50 . . . . .	24.1	21.8	15.8	9.7	5.6	3.3	1.8	1.6	1.3
100 . . . . .	43.1	43.0	33.5	24.8	12.7	5.6	4.0	2.7	2.2
200 . . . . .	92.8	88.1	53.3	51.3	28.1	15.1	8.4	5.2	4.3

жает концентрировать излучатели из воды и, отмирая, откладывает их в иловых донных отложениях, где они и захораниваются; активность донных отложений довольно быстро возрастает до известного предела, после чего почти не увеличивается, благодаря наступающему равновесию, определяемому радиоактивным распадом излучателей. Цифровой материал приведен в табл. 23 и 24.

§ 25. В сериях из связанных друг с другом слабо проточных бачков можно проводить более точные опыты, с полным балансом активности и

точным учетом ее распределения по различным живым и косным компонентам; можно проводить опыты с чистыми растворами отдельных радиоактивных изотопов. Моделируя опыты с наружными водоемами, метод бачков, отличаясь значительно меньшими лабораторными или полулабораторными масштабами, является более гибким, удобным и быстрым.

ТАБЛИЦА 22

Конечная концентрация активности в воде (в тысячах частиц в минуту на 1 см<sup>3</sup>) и в биомассе перифитона (в миллионах частиц в минуту на 1 г сухого веса) из пяти вариантов обоих опытов с перифитоном и коэффициенты накопления, т. е. отношение концентраций активности в перифитоне и в воде

Исходная концентрация (в микрокури на 1 л)	Конечная концентрация		Коэффициенты накопления
	вода (× 10 <sup>3</sup> )	перифитон (× 10 <sup>6</sup> )	
3 . . . .	0.18	3.1	16.000
50 . . . .	1.35	10.4	7.700
100 . . . .	2.20	13.8	6.300
200 . . . .	4.30	48.4	11.100
600 . . . .	29.30	382.3	13.000

В бачки кладется грунт, сажаются водяные растения, напускается вода, и они стоят некоторое время для того, чтобы в них образовалось определенное сообщество. Затем через серию из 6—10 связанных друг с другом верхним стоком бачков, так же, как через пруды, ежесуточно пропускается определенное количество раствора; суточная подача составляет от  $\frac{1}{30}$  до  $\frac{1}{50}$  общего объема воды в серии.

§ 26. Такие опыты в сериях бачков проводятся нами с растворами (концентрацией в 10 микрокури на 1 л) осколков урана, фосфора, серы,

ТАБЛИЦА 23

Коэффициенты накопления излучателей (отношение между концентрациями активности в данном объекте и в воде) некоторыми водными растениями и животными из трех прудов третьей установки

Объект		1-й пруд	2-й пруд	3-й пруд
	Ряска . . . . .	5500	2450	710
	Элодея . . . . .	3700	2600	1220
	Телорез . . . . .	2200	900	880
Лягушатник (водокрас)	зеленая масса . . . . .	1550	2150	770
	корни . . . . .	4100	4250	1000
Белокрыльник	зеленая масса . . . . .	390	80	85
	корни . . . . .	1446	350	150
Тростник	зеленая масса . . . . .	1250	—	—
	корни . . . . .	2000	—	—
Осока	зеленая масса . . . . .	100	15	55
	корни . . . . .	400	100	90
	Катушка . . . . .	—	—	750
	Прудовик . . . . .	2200	850	650
	Икра прудовика . . . . .	750	—	—
	Бокоплав . . . . .	450	—	—
Окунь	чешуя . . . . .	85	—	—
	скелет . . . . .	40	—	—
	мышцы . . . . .	5	—	—
	внутренние органы . . . . .	14	—	—

железа, кобальта, цинка, стронция, иттрия, циркония, рутения, цезия, церия. Большинство этих элементов практически не проходит через всю

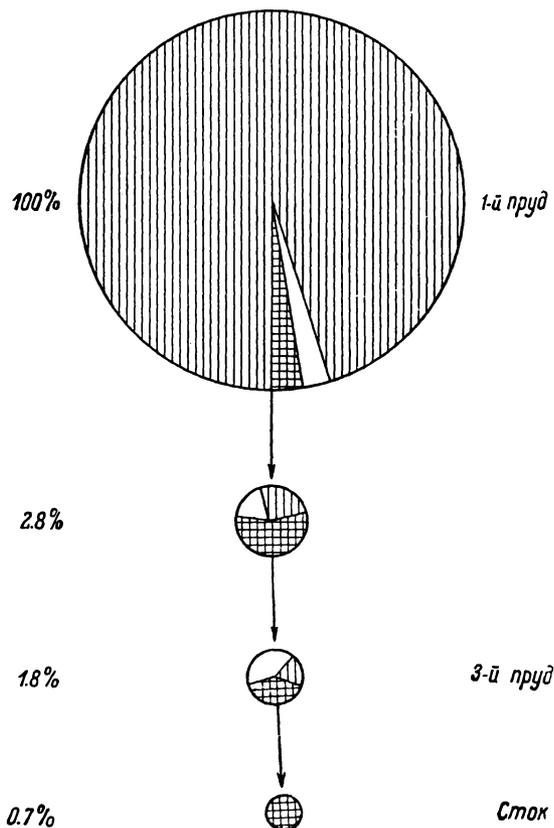


Рис. 14. Схематическое изображение баланса активности серии из трех прудов. *Заштрихованные секторы* изображают (в процентах от поступившей в данный пруд активности) активность, задержанную грунтом и биомассой; *белые секторы* — активность, оставшуюся в воде пруда; *клетчатые секторы* — активность, вытекшую из пруда. Через всю серию проходит 0.7% исходной активности.

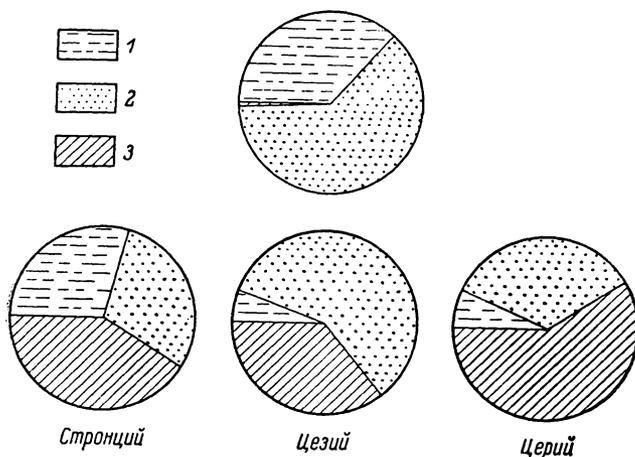


Рис. 15. Схематическое изображение процентного распределения стронция, цезия и церия по основным компонентам бачков. *Наверху* — процентное соотношение трех основных компонентов бачков по весу; *внизу* — (для каждого элемента) по процентному содержанию в них активности. 1 — вода; 2 — грунт; 3 — биомасса.

ТАБЛИЦА 24

Общий баланс активности за время работы третьей установки (ежесуточная подача 1000 л раствора осколков урана концентрацией в 10 микрокюри на 1 л)

Объекты и показатели	Количество активности		
	в милликюри	в % вошедшей активности	в % исходной активности
1-й пруд	Впущено . . . . .	1043.0	100.00%
	Поглощено грунтом и биомассой . . . . .	992.1	94.9
	Осталось в воде . . . . .	24.2	2.3
	Вытекло из 1-го пруда во 2-й . . . . .	29.7	2.8
2-й пруд	Впущено . . . . .	29.7	100.0
	Поглощено грунтом и биомассой . . . . .	3.1	10.4
	Осталось в воде . . . . .	7.8	26.3
	Вытекло из 2-го пруда в 3-й . . . . .	18.8	63.3
3-й пруд	Впущено . . . . .	18.8	100.0
	Поглощено грунтом и биомассой . . . . .	7.7	41.0
	Осталось в воде . . . . .	3.5	18.6
	Вытекло из 3-го пруда . . . . .	7.6	40.4

серию, целиком задерживаясь и не доходя до последнего бачка. Некоторые (сера, стронций, рутений) в ничтожном количестве (1—4%) проходят через всю серию и задерживаются целиком лишь при уменьшении скорости протока. По окончании опыта учитывается полный баланс активности в бачках, с определением ее распределения по основным компонентам и установлением коэффициентов накопления в грунтах и биомассе.

На рис. 15 в качестве примера приведено распределение по основным компонентам стронция, цезия и церия. Эти элементы являются представителями трех различных групп, отличающихся характером распределения: 1) стронций — более или менее равномерное распределение между водой, грунтом и биомассой, 2) цезий — преимущественное накопление в грунте и 3) церий — преимущественное накопление в биомассе. Соответственно у стронция относительно низкие коэффициенты накопления в грунте (1—1.5) и в биомассе (1000—1200), у цезия особенно высокие коэффициенты накопления в грунте (10—25), при довольно высоких в биомассе (8000—9000), а у церия — особенно высокие в биомассе (10 000—40 000), при довольно высоких в грунте (8—10). По абсолютному значению наивысшие коэффициенты накопления (порядка  $10^4$ ) дают планктон, перифитон и детрит, заметно меньшие (порядка  $10^3$ ) — высшие водные растения и сравнительно низкие (1—30) — грунты; при этом большинство элементов почти целиком сорбируется в верхних сантиметрах толщи грунта.

В опытах с сериями бачков легко можно изучать и влияние ряда других факторов на распределение элементов по основным компонентам водоема. На рис. 16 в качестве примера приведены результаты опытов по влиянию рН воды на распределение смеси осколков урана. Из рисунка видно, что при понижении рН (кислая среда) резко снижается сорбция в грунтах и больший процент осколков урана остается в воде; при повышенном рН (щелочная среда) снижается накопление в биомассе, но резко повышается сорбция грунтом.

§ 27. Таким образом, приведенные выше результаты некоторых водных опытов показывают следующее. Пресноводные организмы, так же.

как наземные растения и почвенные бактерии, стимулируются слабыми дозами ионизирующих излучений (опыты с перифитоном, §§ 21—22); под влиянием более сильных концентраций, при продолжающейся еще стимуляции общей биомассы, происходит заметная перестройка сообщества со сменой ведущих форм. Находящиеся в растворе в ничтожных концентрациях элементы поглощаются из воды грунтами и биомассой, с очень

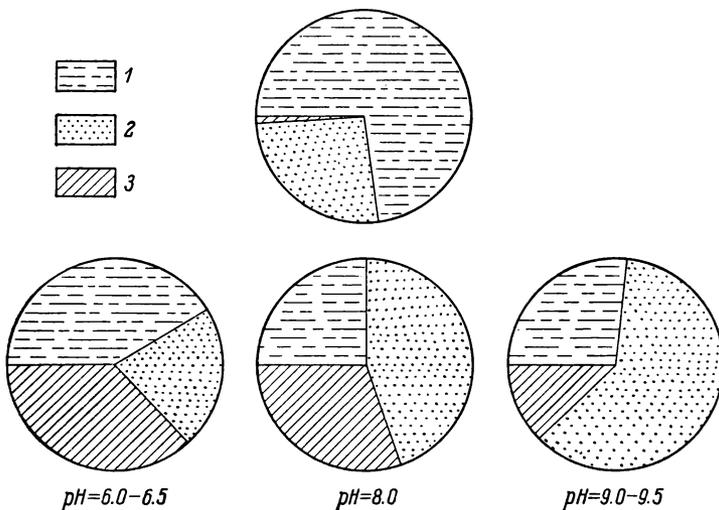


Рис. 16. Схематическое изображение процентного распределения смеси осколков урана по трем основным компонентам бачков.

*Наверху* — процентное соотношение воды, грунта и биомассы по весу; *внизу* — процентное распределение осколков урана по этим компонентам при кислой (pH=6.0—6.5), «нормальной» (pH=8.0) и щелочной (pH=9.0—9.5) реакции воды; 1 — вода; 2 — грунт; 3 — биомасса.

высокими коэффициентами накопления в биомассе (особенно в перифитоне, планктоне и детрите) и значительно более низкими в грунтах (§§ 24 и 25). Разные элементы отличаются при этом по типу распределения (§ 26); на тип распределения могут влиять и сопутствующие условия, например активная реакция воды (§ 26).

#### IV. Заключение

§ 28. Из всех описанных выше, довольно разнообразных опытов могут быть сделаны следующие общие выводы. Вносимые в почву и воду излучатели с одной стороны, служат удобным индикатором, позволяющим легко проследить их судьбу и распределение (метод меченых атомов), а с другой — они, как излучатели, действуют на живые организмы своими излучениями. В последнем смысле (действие излучений) для всех трех изученных типов сообществ (наземный фитоценоз, почвенный бактериоценоз и пресноводный перифитон) были получены принципиально сходные результаты: стимуляция биомассы сообщества, без заметной его перестройки, под действием слабых концентраций и угнетение биомассы, сопровождающееся резким изменением структуры сообщества, под влиянием высоких концентраций. При этом высшие растения являются значительно менее радиорезистентными, чем бактерии и организмы перифитона; разные виды при этом заметно отличаются в данном отношении друг от друга. Радиостимуляция слабыми дозами ионизирующих излучений является, повидимому, типичной для всех живых организмов (Тимофеев-Ресовский, Порядкова, Макаров и Преображенская, 1957).

Количественные различия между разными видами в отношении радиостимуляции и радиоугнетения создают весьма сложное и дифференцированное действие излучений на биоценозы; сложность усугубляется борьбой разных компонентов сообщества за эдафическую среду, освобождаемую угнетенными видами. Все живые организмы обладают относительно высокими коэффициентами накопления рассеянных и редких элементов из эдафической среды (почвы, воды и пищевых веществ). При этом для каждого вида живых организмов по отношению к каждому химическому элементу (или группе элементов) наблюдаются типичные значения коэффициентов накопления и распределения по органам при определенных условиях. Особенно высокие коэффициенты накопления наблюдаются у водных организмов, достигая по отношению к некоторым элементам у планктона и перифитона порядка  $10^4$ .

§ 29. Применение меченых атомов позволяет проследивать судьбу и распределение по компонентам элементов, вводимых в экспериментальный биогеоценоз. Работа с водоемами значительно проще, чем с наземными биогеоценозами. Особенно удобны серии бачков. По отношению к целому ряду элементов уже изучено их накопление в грунтах и биомассе водоемов, ведущее к весьма значительной очистке воды. При этом замечаются группы элементов, сорбируемых преимущественно грунтами (группа цезия), особенно сильно поглощаемых биомассой (группа церия) и распределяющихся более или менее равномерно между водой, грунтом и биомассой (группа стронция). В принципе ясна судьба большинства элементов, поступающих в малых концентрациях в воду: они в значительно повышенных концентрациях откладываются в донных отложениях, в которых (в мелких водоемах через детрит) захоранивается, в конце концов, и вся отмирающая биомасса. Это создает благоприятные предпосылки для разработки биологических методов дезактивации воды. В отношении наземных биогеоценозов опыты проводились пока лишь со смесью различных элементов (смесь осколков урана); поэтому мы мало еще знаем о поведении в фитоценозах и почвах различных групп отдельных элементов. Фитоценозы, во всяком случае, выносят на поверхность в своей зеленой массе значительную долю содержащихся в грунтах и почвах микроэлементов: они постоянно, в частично отмирающем биоценозе, перекладываются в верхнем гумусовом слое. Дальнейшая судьба их пока не прослежена. Нами начаты опыты по изучению влияния растительного покрова на миграцию различных элементов, внесенных в определенный участок почвы. Эти опыты закончены пока лишь со смесью осколков урана. Они показали, что в местообитаниях, не заселенных высшей растительностью в течение всего вегетационного сезона (благодаря высокой сорбции и слабой десорбции большинства рассеянных элементов почвами), практически не происходит никакой миграции излучателей из места внесения; при наличии же травянистого растительного покрова происходит, хотя и медленная, миграция через корневые системы растений (может быть при участии ризосфер).

§ 30. Все вышеизложенные опыты можно, в известном смысле, считать ориентировочными. Основной их задачей было не столько накопление подробных частных данных, сколько выяснение принципиальных возможностей применения излучений и излучателей в экспериментальной биогеоценологии. Целый ряд вопросов должен выясняться в дальнейших опытах, из них первоочередными мы считаем следующие.

Необходимо систематически собирать материал по коэффициентам накопления из эдафической среды (вода и почва) различных элементов разными видами (или по крайней мере родственными группами) живых организмов, как водных, так и наземных. В этих опытах должны учитываться: физико-химическая форма (ионогенная, комплексная, коллоид-

ная), в которой элемент присутствует в среде, и активная реакция среды. Для грунта водоемов, а также для почв необходимо изучить влияние биоценозов бентоса и почвы на перераспределение и вынос из грунта и почвы отложенных в них элементов. Несомненно, что в основном грунты и почвы являются главными конечными местами концентрации и захоронения рассеянных элементов, накапливаемых биомассой; но столь же ясно, что в известном проценте должно происходить их вторичное рассеивание в результате десорбции (и вторичного перехода в водные растворы) и выноса из мест захоронения некоторыми видами живых организмов. Особенно трудоемкими и в то же время важными являются опыты по точному изучению вертикальной и горизонтальной миграции элементов в почвах и подпочвах из места их захоронения, в присутствии различных наземных фитоценозов (включая их ризосферу) и сообществ почвенных организмов. В качестве завершения предварительного этапа исследований должны проводиться, с помощью метода меченых атомов, в наземных и пресноводных экспериментальных биогеоценозах долгосрочные опыты по изучению точного баланса и распределения важнейших элементов по всем живым и неживым компонентам, с учетом вторичного их рассеяния. Тем самым экспериментальная биогеоценология, пользующаяся радиометрическими методами, начнет выполнять намеченные нами во «введении» задачи и доставит небезынттересный материал для дальнейшего развития биогеохимии в направлении, указанном В. И. Вернадским, и для разработки общей биогеоценологии в смысле, сформулированном В. Н. Сукачевым.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Агафонов Б. М. (1956). Некоторые лабораторные опыты по биологической дезактивации воды. Тезисы докл. Конфер. мед. рад., Гигиенич. секц.: 26—27. — Агафонов Б. М., Т. И. Долгих, М. И. Савченко, Н. В. Тимофеев-Ресовский. (1957). Распределение рассеянных элементов по компонентам водоема. IV. Опыты в сериях слабопроточных бачков по распределению между различными компонентами водоема стронция, иттрия, рутения, церия, цезия и смеси из различных бета-излучателей. Сб. работ Лаб. биофиз. УФАН, 2. — (Бауэр Г. и Н. В. Тимофеев-Ресовский). Вауер Н. und N. W. Timofeeff-Ressovsky. (1943). Genetik und Evolutionsforschung bei Tieren. Die Evolution der Organismen. Verl. G. Fischer, Iena. — Бреславец Л. П. (1946). Растение и лучи Рентгена. Изд. АН СССР, М.—Л. — Бруновский Б. К. и К. Г. Кунашева. (1935). Некоторые данные относительно содержания радия в растениях и водах. Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР, 3. — Вернадский В. И. (1921). Записки об изучении живого вещества с геохимической точки зрения. Изв. Росс. АН, сер. 6, 15. — Вернадский В. И. (1922). Химические элементы и механизм земной коры. Природа, 3—5. — Вернадский В. И. (1925). Ход жизни в биосфере. Природа, 10—12. — Вернадский В. И. (1926а). О размножении организмов и его значении в механизме биосферы. Изв. АН СССР, сер. 6, 20. — Вернадский В. И. (1926б). Биосфера. Л. — Вернадский В. И. (1929). О концентрации радия живыми организмами. ДАН СССР, сер. А., 2. — Вернадский В. И. (1934). Очерки геохимии. М. — Вернадский В. И. (1938). О некоторых основных проблемах биогеохимии. Изв. АН СССР, сер. геолог., 18. — Вернадский В. И. (1940). Биогеохимические очерки. Изд. АН СССР, М.—Л. — Вернадский В. И. (1942). О геологических оболочках Земли как планеты. Изв. АН СССР, сер. географ., 13. — Вернадский В. И. (1944). Несколько слов о ноосфере. Усп. совр. биол., 18. — Вернадский В. И. и А. П. Виноградов. (1931). О химическом элементарном составе рясок как видовом признаке. ДАН СССР, сер. А, 9. — Виноградов А. П. (1929). О химическом составе пресноводного планктона. Тр. II Всес. гидролог. съезда. Л. — Виноградов А. П. (1933). Геохимия живого вещества. Изд. АН СССР, Л. — Виноградов А. П. (1935—1944). Химический элементарный состав организмов моря, чч. I—III. Тр. Биогеохим. лабор. АН СССР, 3, 4 и 6. — Виноградов А. П. (1938). Геохимия и биогеохимия. Усп. химии, 7. — Виноградов А. П. (1938). Биогеохимические провинции и эндеми. ДАН СССР, 18. — Виноградов А. П. (1939). Изучение биогеохимических провинций. Вестн. АН СССР, 10. — Виноградов А. П. (1945). К химическому познанию биосферы. Почвоведение, 7. — Виноградов А. П. (1946). Биогеохимические провинции. Тр. Юбил. сесс. В. В. Докучаева, Изд. АН СССР, М. — Виноградов А. П. (1950). Геохи-

мия редких и рассеянных элементов в почвах. Изд. АН СССР, М. — Виноградов А. П. (1952). Основные закономерности в распределении микроэлементов между растениями и средой. Сб. «Микроэлементы в жизни растений и животных». Изд. АН СССР, М. — Гаузе Г. Ф. (1936). О некоторых основных проблемах биоценологии. Зоол. журн., 15. — Горбатько Н. В. и А. Н. Тимофеев-Ресовский. (1957). Распределение рассеянных элементов по компонентам водоемов. III. Стабилизация активности свежего раствора осколков урана при равномерном его поступлении в водоем и дозы излучения внутри и вне водоема. Сб. работ Лабор. биофиз. УФАН, 2. — Григорьев А. А. (1936). О некоторых взаимоотношениях основных элементов физико-географической среды и их эволюции. Пробл. физич. географ., 3. — Григорьев А. А. (1948). Основы теории физико-географического процесса. Тр. II Всес. географ. съезда, 2. — Зенкевич Л. А. (1947—1951). Фауна и биологическая продуктивность моря, I, II. Изд. «Советская наука», М. — Зенкевич Л. А. (1953). Комплексный метод в изучении биологических процессов в водоемах. Тр. Всес. гидробиол. общ., 5. — Куликов Н. В. (1956). Работы по экспериментальной биоценологии. II. Влияние намачивания семян в смеси бета-излучателей на биомассу и структуру экспериментального фитоценоза. Сб. работ Лабор. биофиз. УФАН, 1. — Лавренко Е. М. (1949). О фитогосфере. Вопр. географ., 15. — Муравейский С. Д. (1948). Роль географических факторов в формировании географических комплексов. Вопр. географ., 9. — Перельман А. И. (1954). Природные ландшафты европейской части СССР и их геохимические особенности. Природа, 43. — Перельман А. И. (1955). Очерки геохимии ландшафта. Географиз, М. — Польшов Б. Б. (1925). Кора выветривания. Изд. АН СССР, Л. — Польшов Б. Б. (1946). Геохимические ландшафты. Вопр. минералог., геохим. и петрограф., Изд. АН СССР, М.—Л. — Порядкова Н. А. (1956). Методика и результаты некоторых опытов по радиостимуляции растений. Биофиз., 1, 7. — Раменский Л. Г. (1938). Введение в комплексное почвенное и геоботаническое изучение земель. Сельхозгиз, М. — Роде А. А. (1947). Почвообразовательный процесс и эволюция почв. Географиз, М. — Сокурова Е. Н. (1956). Действие различных типов ионизирующих излучений на азотфиксирующие бактерии и микрофлору почвы. Авторефер. диссерт., М. — Сукачев В. Н. (1928). Растительные сообщества. Л. — Сукачев В. Н. (1944). О принципах генетической классификации в биоценологии. Журн. общ. биол., 5. — Сукачев В. Н. (1945). Биоценология и фитоценология. ДАН СССР, 47. — Сукачев В. Н. (1947). Основы теории биоценологии. Юбил. сб. «30-летие Великой Октябрьской Соц. революции». АН СССР, 2, М. — Сукачев В. Н. (1948). Фитоценология, биоценология и география. Тр. II Всес. географ. съезда, 1. — Сукачев В. Н. (1949). О соотношении понятий географический ландшафт и биогеоценоз. Вопр. географ., 16. — Сукачев В. Н. (руководитель). (1950). Предварительные программы стационарных комплексных биоценологических исследований. Землеведение, нов. сер., 3. — (Тимофеев-Ресовский Н. В.). Timofeeff-Ressovsky N. W. (1940). Mutations and geographical variation. New Systematics, Oxford. — Тимофеев-Ресовский Н. В. (1956). Биофизическая интерпретация явлений радиостимуляции растений. Биофиз., 1, 7. — Тимофеев-Ресовский Н. В., Н. А. Порядкова, Н. М. Макаров, Е. И. Преображенская. (1957). Проблема радиостимуляции растений. I. О действии слабых доз ионизирующих излучений на растения. Сб. работ Лабор. биофиз. УФАН, 1. — Тимофеев-Ресовский Н. В., Н. А. Порядкова, Е. Н. Сокурова, Е. А. Тимофеева-Ресовская. (1957). Работы по экспериментальной биоценологии. I. Влияние излучателей на биомассу и структуру наземных, почвенных и пресноводных биоценозов. Сб. работ Лабор. биофиз. УФАН, 1. — (Тимофеев-Ресовский Н. В. и К. Г. Циммер). Timofeeff-Ressovsky und K. G. Zimmer. (1947). Biophysik, I. Das Trefferprinzip in der Biologie. Verl. Hirzel, Leipzig. — Титов И. А. (1952). Взаимодействие растительных сообществ и условий среды. Изд. «Советская наука», М. — Ферсман А. Е. (1938—1939). Геохимия, 1—4. ОНТИ, Л. — Школьник М. Я. (1950). Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии. Изд. АН СССР, М.

Лаборатория биофизики  
Уральского филиала  
Академии наук СССР,  
Свердловск.