Доклады Академии наук СССР
1955. Том 102, № 3

БИОФИЗИКА

Я. Л. ШЕХТМАН

О ПРЯМОМ И КОСВЕННОМ ДЕЙСТВИИ ИОНИЗИРУЮЩЕЙ РАДИАЦИИ НА БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

(Представлено академиком В. А. Энгельгардтом 23 II 1955)

Узловым вопросом современной радиобиологии является изучение начальных процессов радиобиологического эффекта и установление закономерностей, управляющих этими процессами.

На основании обширных литературных данных о механизме первичного радиационного эффекта в водных растворах можно полагать, что в основе радиационного эффекта, происходящего в водных системах, значительная роль принадлежит реакциям расщепления молекул воды, с образованием активных радикалов H и OH, взаимодействующих, как с другими молекулами воды, так и с молекулами ответственных биологических структур ([1, 2]). В ряде работ было показано также значение растворенного в воде кислорода. При отсутствии кислорода образование продуктов расщепления воды замедляется и уменьшается радиационный эффект.

Представляло интерес установить наличие подобного рода процессов не только in vitro, но и в живых организмах при воздействии на них радиации. Однако непосредственное наблюдение процесса образования активных радикалов даже в простых водных растворах представляет значительные трудности. В лучшем случае мы можем судить об этом по конечным продуктам химических реакций (окисление — восстановление, выделение газообразных продуктов и т. п.).

Тем более затруднено непосредственное наблюдение первичных процессов в живом неповрежденном организме, в котором на первичные процессы накладываются многочисленные вторичные реакции. Между тем для теории радиобиологического эффекта наблюдения на живых организмах представляют особый интерес.

Анализ первичных радиобиологических процессов в живом неповрежденном организме может быть осуществлен лишь косвенным путем, путем наблюдения конечных биологических реакций в различных условиях среды при воздействии излучения на организм. В качестве этих условий мы выбрали — температуру и парциальное давление газа в тканях.

Если радиационный эффект связан с взаимодействием активных радикалов, то изменение температуры должно влиять на эффект: при снижении температуры он должен уменьшаться, так как уменьшается скорость реакций взаимодействия, облегчается рекомбинация радикалов. В таком же направлении должно действовать удаление кислорода из окружающей организм среды ([3–9]).

Настоящее исследование посвящено изучению влияния на радиобиологический эффект низких температур и кислорода. В качестве объекта для исследования были выбраны семена и проростки пшеницы. Весьма удобный объект для такого рода исследований представляют сухие семена

пшеницы. Семена находятся в покое, процессы жизнедеятельности в них чрезвычайно замедлены, начальные процессы, происходящие в момент воздействия излучения на вещество, не осложняются здесь обменом веществом и вторичными биологическими реакциями.

Влияние низких температур. Во время облучения семена охлаждались до температуры —120°. Для охлаждения семян была изготовлена специальная установка, конструкция которой представлена на рис. 1. Установка состоит из большого шаровидного сосуда Дьюара на 2,5 л, в широкое горло которого на пробке вставляется цилиндрический патрубок из органического стекла. Патрубок состоит из чашки диаметром 100 мм, в дно которой вклеена трубка из органического стекла диаметром 30 мм и длиной 250 мм. На дне чашки находится диск из красной меди со стержнем из красной меди, который проходит через плексигласовую трубку. На конце медного стержня находится обмотка нагревателя. При нагревании обмотки пары азота проходят по внутреннему каналу в чашку и оттуда — в атмосферу.

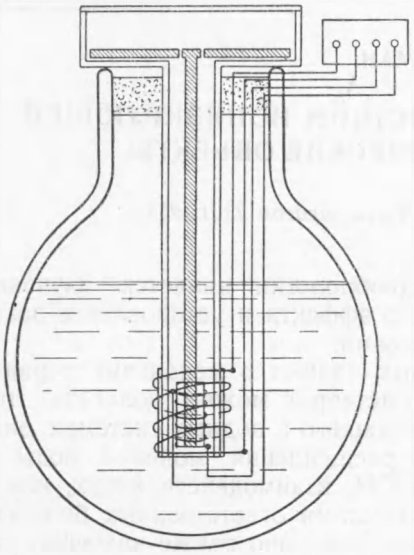


Рис. 1

В чашку закладывались семена в один слой, заливались жидким азотом и закрывались крышкой из органического стекла. Затем включалась нагревательная спираль. Пары азота поднимались по внутреннему каналу и выходили через отверстие в крышке, создавая в чашке термоизолирующий слой холодных паров азота. Температура зерен определялась в основном температурой диска из красной меди, находящегося на дне чашки и охлаждаемого через медный стержень, погруженный в жидкий азот. Благодаря хорошей теплопроводности красной меди, температура зерен была близка к минус 100—120°, что было установлено измерениями в самом зерне посредством термопары медь — константан.

В каждом опыте было по 150 сухих семян. Облучение производилось на рентгеновской трубке открытого типа, при 160 кв, с картонным фильтром на расстоянии 15 см от фокуса. Доза была равна 32 000 **г**, а время облучения 46 мин.

Контроль составляли семена: а) облученные при комнатной температуре; б) охлажденные до облучения; в) охлажденные после облучения; г) охлажденные, но не облученные; д) не облученные и не охлажденные.

После опыта семена высаживались на песок и выращивались во влажной камере в термостате при температуре 24°. В качестве теста для оценки роста культур измерялась длина самого длинного корня через 5, 7 и 9 дней после облучения.

Результаты измерений, средние из трех серий опытов, приведены на рис. 2. Как видно из рис. 2, снижение температуры во время облучения до минус 100—120° уменьшает почти в 2 раза радиационный эффект (кривая *а*) несмотря на то, что само по себе охлаждение в течение 46 мин. до температуры минус 100—120° представляет фактор, несколько тормозящий дальнейший рост культур (кривая *д*). Охлаждение до и после облучения не влияло на радиобиологический эффект. Следовательно, имеется основание полагать, что в данном случае мы имеем дело с непосредственным воздействием низкой температуры на кинетику первичных радиобиологических процессов.

Влияние кислорода. В качестве объекта исследования были взяты 48-часовые проростки пшеницы, обладающие в этом возрасте максимальной чувствительностью к действию излучения.

Для изучения влияния кислорода была изготовлена специальная камера из органического стекла в виде плоского ящика с герметически закрывающейся крышкой, внутрь которой помещаются чашки Петри с проростками семян на влажной фильтровальной бумаге. Облучение производилось на рентгеновском аппарате при 160 кв, с картонным фильтром, на расстоянии 60 см от фокуса, мощность дозы 45 г/мин. Облучение производилось в атмосфере воздуха или азота. Последний подавался в камеру из баллона при давлении 3—5 атм. Контролем являлись проростки: а) не облученные; б) не облученные, находившиеся в течение 30—40 мин. в атмосфере азота; в) облученные в воздухе.

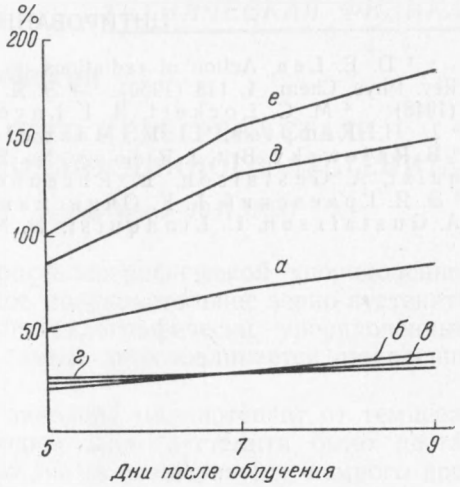


Рис. 2. Длина корней в процентах к контролю через 5 дней после облучения: *а* — облучение с охлаждением, *б* — облучение без охлаждения, *в* — охлаждение до облучения, *г* — охлаждение после облучения, *д* — охлаждение без облучения, *е* — контроль

На рис. 3 показана скорость роста корней через 5, 7 и 9 дней после замачивания при дозе 1000 г при облучении в атмосфере воздуха и азота в процентах к длине корней в контроле через 5 дней после замачивания. На рис. 4 показано угнетение роста корней в зависимости от дозы через 9 дней после замачивания в процентах к длине корней в контроле. Из графика видно, что облучение в атмосфере азота резко снижает радиобиологический эффект.

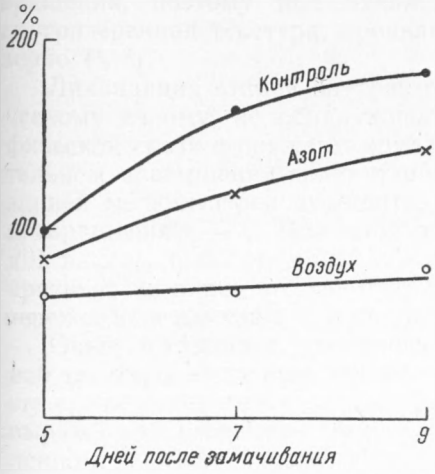


Рис. 3

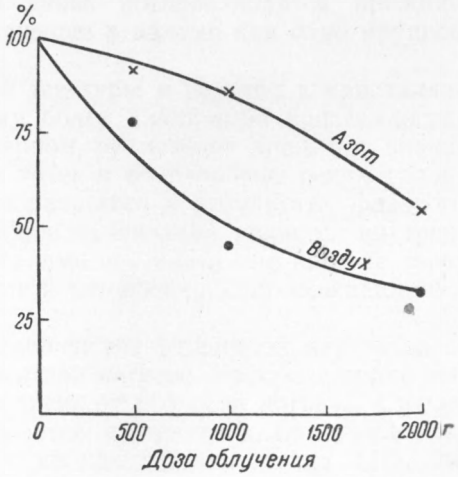


Рис. 4

Таким образом, опыты с влиянием газообмена, так же как опыт с влиянием низкой температуры, дают основание считать, что радиобиологический эффект в значительной его части следует отнести за счет «косвенного» действия радиации, через образование активных радикалов в водной среде, окружающей ответственные биологические структуры, и в молекулах воды, входящих в состав этих структур.

С другой стороны, полученные данные не дают права исключить и наличие «прямого» действия радиации на компоненты биологических структур.

Институт биофизики
Академии наук СССР

Поступило
3 VII 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] D. E. Lea, Action of radiations on the living cells, 1947. [2] M. Burton, Ann. Rev. Phys. Chem., **1**, 113 (1950). [3] Э. Я. Граевский, Усп. совр. биол., **25**, № 2, 185 (1948). [4] M. C. Lockett, B. I. Luyet, Biodynamica, **7**, Nos 133—136, 67 (1951). [5] J. H. Kempton, L. R. Maxwell, J. of Agriculture, **62**, No. 10, 603 (1941). [6] B. Rajewsky, Brit. J. Radiology, No. 25, **298**, 550 (1952). [7] N. Nybom, U. Lindquist, A. Gustafson, L. Ehrenberg, Hereditas, 23, Nos 3—4, 445 (1953). [8] Э. Я. Граевский, Г. К. Очинская, ДАН, **89**, № 4 (1953). [9] L. Ehrenberg. A. Gustafsson, U. Lindquist, N. Nybom, Hereditas, **39**, Nos 3—4, 493 (1953).