

Спектральные характеристики растений на ранних стадиях воздействия ионизирующих излучений

Б. В. Шилин, А. А. Тронин

Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН, Санкт-Петербург, 197110, Россия
E-mails: bshilin@rambler.ru, a.a.tronin@ecosafety-spb.ru

По результатам исследований в строго контролируемых условиях оранжереи для некоторых растений (фасоль, герань, сингониум, клён и дуб) показано, что при кратковременном воздействии ионизирующих излучений слабых источников (140–250 мкР/ч) у растений возникают спектральные аномалии. Они наиболее значимы для ближнего инфракрасного (ИК) диапазона (700–900 нм), возникают в видимом (400–700 нм) и ближнем инфракрасном (1500–1800 нм) диапазонах, но индикационная роль последних невелика. Эти аномалии формируются за период от одних суток до нескольких дней появления у растений видимых изменений, служат ранними индикаторами радиоактивного загрязнения и могут быть зарегистрированы видеоспектральными аэрокосмическими и полевыми системами ближнего ИК-диапазона. Особенно это важно для изотопов с преобладающей интенсивностью альфа- и бета-излучения, недоступных для регистрации традиционной аэрогаммасъёмкой.

Ключевые слова: ионизирующие излучения, спектральные характеристики растений

Одобрена к печати: 30.07.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-285-289

Важнейшая проблема экологической безопасности, требующая скорейшего решения — обнаружение на ранних стадиях методами дистанционного зондирования Земли наличия неблагоприятного воздействия различных стрессоров на растения до возникновения у них видимых морфологических изменений. Это имеет не только фундаментальное, но и практическое значение, поскольку позволяет в кратчайшие сроки принять необходимые меры по устранению или уменьшению вредного воздействия. С 2014 г. в Санкт-Петербургском научно-исследовательском центре экологической безопасности Российской академии наук проводятся лабораторные, полевые и лётные исследования по влиянию различных стрессоров, в первую очередь тяжёлых металлов, на изменения спектральных характеристик растений и оценке возможности регистрации этих изменений видеоспектральными и многоспектральными методами. На нескольких видах растений, таких как фасоль (*Phaseolus vulgaris*), герань (*Pelargonium grandiflorum*), сингониум (*Singonium auritum*), клён (*Acer platanoides*), дуб (*Quercus robur*) и др., на большом объёме экспериментальных материалов (более 500 спектров отражения, несколько десятков разнообразных видеоспектральных панорам и маршрутов видеоспектральной аэросъёмки) по оригинальной методике с современными спектрорадиометрами и видеоспектрометрами высокого пространственного разрешения выявлен факт возникновения в короткие сроки (от нескольких часов до нескольких дней) спектральных аномалий в ближнем инфракрасном (ИК) диапазоне (700–900 нм) при разовом дозированном загрязнении тяжёлыми металлами (медь, никель, цинк, кадмий) (Григорьева и др., 2018).

В процессе основных исследований было уделено внимание другим стрессорам: ионизирующему излучению, нефтяным загрязнениям, механическим воздействиям. Наиболее интересные результаты были получены для слабого воздействия ионизирующих излучений. Воздействие ионизирующих излучений хорошо изучено на примере крупных радиационных аварий (например, на Чернобыльской атомной электростанции) и при очень больших экспозиционных дозах (десятки и сотни рентген). Здесь возникают значительные изменения в цвете и морфологии растений (Шилин и др., 2012).

Известно положительное влияние на рост растений слабых излучений примерно до 5–6 значений земного фона (около 100 мкР/ч) (Кудряшов, 2004). В этой же работе указывается,

что длительное воздействие слабого повышенного излучения и кратковременное воздействие излучения большой мощности вызывают негативные явления, которые «пропадают» через некоторое время (процесс адаптации).

Совершенно не изучено, но представляется весьма актуальным обнаружение влияния на спектральные характеристики растений кратковременного воздействия ионизирующих излучений небольшой интенсивности, например при несанкционированном распылении радиоактивных изотопов при техногенных утечках или террористических актах и т. п. Они могут быть обнаружены дистанционно аэрогаммасьёмкой, однако возможности метода ограничены высотой полёта 50–75 м из-за полного поглощения гамма-излучения атмосферой. Кроме того, из-за низкого пространственного разрешения с помощью авиационных приборов можно получить распределение радиоактивного изотопа с разрешением на местности в десятки метров при больших затратах лётного времени.

На первом этапе экспериментов были исследованы несколько видов растений: фасоль, герань, сингониум, клён и дуб. В качестве источника излучения использовался диск диаметром 4 см — часы с циферблатом и стрелками, светящимися за счёт радиоактивного изотопа, а также образец горной породы с урановым оруденением. По гамма-излучению мощность экспозиционной дозы для первого источника составила около 130–140 мкР/ч, т. е. примерно 4–5 фоновых значений, для второго — около 250 мкР/ч. Источники находились непосредственно под листом растения от нескольких часов до нескольких суток.

Для клёна при суточном воздействии первого источника зафиксирована положительная аномалия коэффициента спектральной яркости (КСЯ) (30–40 %) в ближнем ИК-диапазоне и существенно меньшая — в видимом (рис. 1), т. е. можно сделать вывод о стимулирующем влиянии слабого излучения на ранней стадии воздействия.

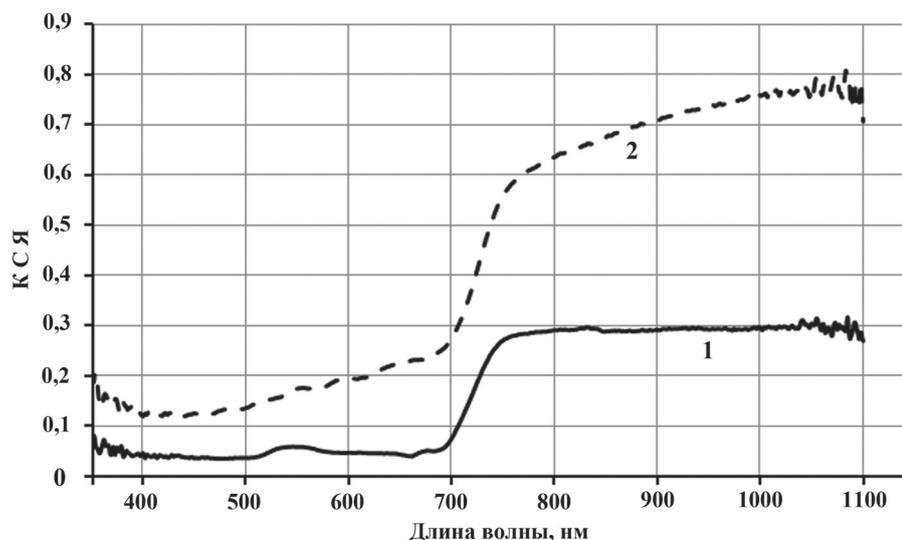


Рис. 1. КСЯ листьев клёна под воздействием ионизирующего излучения: 1 — лист без воздействия; 2 — воздействие циферблатом часов в течение 1 сут. Спектрорадиометр PSR 1100, спектральное разрешение 3 нм (в диапазоне 320–1100 нм)

Дуб реагирует на тот же источник слабо, аномалия возникает через несколько суток. Для листьев фасоли серия измерений даёт положительные спектральные аномалии через 19, 23 и 48 ч. Разовые измерения для герани и сингониума также выявили небольшие аномалии: положительную — для сингониума и отрицательную — для герани.

На втором этапе более детальные исследования (более 500 спектров) были проведены для сингониума в течение 45 дней для разных интервалов воздействия и сроков измерений. На основе анализа результатов (некоторые наиболее характерные материалы приведены на рис. 2 и 3) можно сделать следующие основные выводы. Практически во всех случаях наблю-

даются спектральные аномалии до появления у растений видимых морфологических изменений. Так, при воздействии обоих источников в течение суток на следующий день зафиксированы положительные аномалии КСЯ (5 %) в ближнем ИК-диапазоне. При воздействии первого источника в течение трёх дней измерения через 10 сут дали положительную аномалию около 10 % (см. рис. 2), а через 40 дней — почти 100%-ю аномалию (см. рис. 3). Для «рудного» источника при его установке под листом сингониума на 14 сут зафиксировали положительную аномалию около 10 % (см. рис. 3).

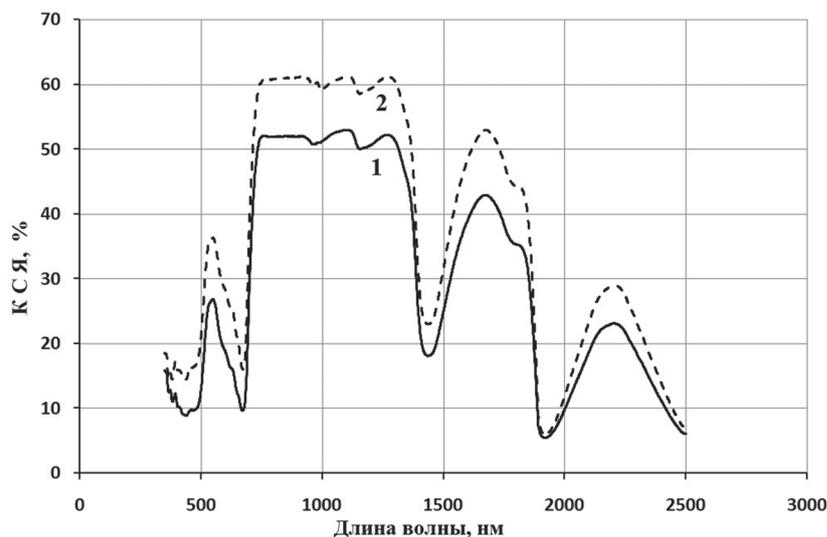


Рис. 2. КСЯ листьев сингониума под воздействием ионизирующих излучений: 1 — лист без воздействия; 2 — воздействие циферблатом часов в течение 3 сут. Спектрорадиометр PSR 3500, спектральное разрешение 3 нм (в диапазоне 450–1000 нм)

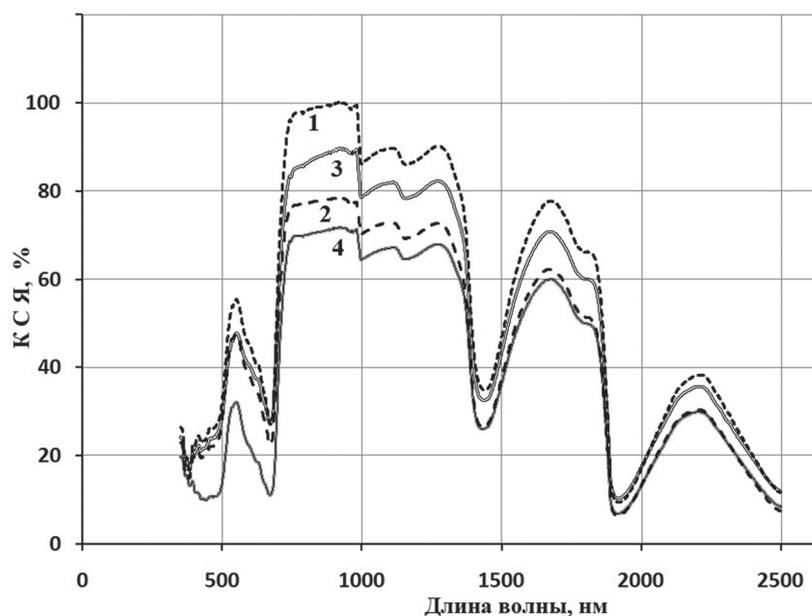


Рис. 3. КСЯ листьев сингониума под воздействием ионизирующих излучений: 1 — воздействие циферблатом часов в течение 8 сут; 2 — воздействие радиоактивной рудой в течение 27 ч; 3 — воздействие рудой в течение 14 сут; 4 — лист без воздействия. Спектрорадиометр PSR 3500

Оба цикла исследований выявили основную сложность измерений из-за трудноучитываемых процессов жизнедеятельности и строения живого организма — растения. Выявлена

существенная изменчивость спектральных характеристик по площади листа из-за неоднородности его анатомических и физиологических параметров и в процессе роста (последнее хорошо известно в сельском хозяйстве). Аномалии спектральных характеристик наиболее значимы для ближнего ИК-диапазона, часто они возникают в видимом диапазоне (400–700 нм) и ближнем инфракрасном (1500–1800 нм), но индикаторная роль последних невелика. Факт возникновения спектральных аномалий особенно важен для изотопов с преобладающей интенсивностью альфа- и бета-излучения, недоступных для регистрации аэрогамма-съемкой.

Таким образом, можно уверенно говорить о наличии явления формирования спектральных аномалий у растений при кратковременном воздействии ионизирующих излучений до появления у растений видимых изменений, что является фундаментальной основой разработки технических средств и методик их регистрации аэрокосмическими системами высокого спектрального и пространственного разрешения.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-29-09449).

Литература

1. Григорьева О. В., Дроздова И. В., Шилин Б. В. Экспериментальное обоснование возможностей дистанционной индикации кратковременного стресса растительности // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 78–88.
2. Кудряшов Ю. Б. Радиационная биофизика (ионизирующие излучения). М.: Физматлит, 2004. 448 с.
3. Шилин Б. В., Горный В. И., Веремьев В. И. История применения дистанционных методов при ликвидации аварии на Чернобыльской атомной станции // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 27–36.

Spectral characteristics of plants at early stages of exposure to ionizing radiation

B. V. Shilin, A. A. Tronin

*Saint Petersburg Scientific Research Center for Ecological Safety RAS
Saint Petersburg 197110, Russia
E-mails: bshilin@rambler.ru, a.a.tronin@ecosafety-spb.ru*

According to the results of studies in strictly controlled greenhouse conditions for some plants (beans, geranium, syngonium, maple and oak), it was shown that with short-term exposure to ionizing radiation from weak sources (140–250 μ R/hour), spectral anomalies appear in the plants. They are most significant for the near infrared range of 700–900 nm, also occur in the visible 400–700 nm and near infrared 1500–1800 nm ranges, but the indicator role of the latter is insignificant. These anomalies form over a period from one day to several days before the appearance of visible changes in plants, serve as early indicators of radioactive contamination and can be recorded by video spectral aerospace and field systems in the near infrared range of 700–900 nm. This is especially important for isotopes with a predominant intensity of alpha and beta radiation, which are inaccessible for registration with traditional airborne gamma imaging.

Keywords: ionizing radiation, spectral characteristics of plants

Accepted: 30.07.2020

DOI: 10.21046/2070-7401-2020-17-4-285-289

References

1. Grigorieva O. V., Drozdova I. V., Shilin B. V., Eksperimental'noe obosnovanie vozmozhnostei distantsionnoi indikatsii kratkovremennogo stressa rastitel'nosti (Experimental substantiation of the capabilities of videospectral remote indication of short-term vegetation stress), *Sovremennye problemy distantsionnogo zonirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2018, Vol. 15, No. 7, pp. 78–88.
2. Kudryashov Yu. B., *Radiatsionnaya biofizika (ioniziruyushchie izlucheniya)* (Radiation biophysics (ionizing radiation), Moscow: Fizmatlit, 2004, 448 p.
3. Shilin B. V., Gornyi V. I., Verem'ev V. I., Istoriya primeneniya distantsionnykh metodov pri likvidatsii avarii na Chernobyl'skoi atomnoi stantsii (The history of the use of remote sensing methods in the elimination of the accident at the Chernobyl nuclear power plant), *Sovremennye problemy distantsionnogo zonirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2012, Vol. 9, No. 2, pp. 27–36.