

УДК 582.951.64: 581.1+(571.17)

Изменение параметров физиологического состояния у *Veronica spicata* под воздействием угольной и породной пыли на территории Караканского хребта (Кемеровская область)

Change in the physiological state of the *Veronica spicata* under the influence of coal and rock dust in the territory of the reserve “Karakansky” (Kemerovo Region)

Гребенникова А. Ю., Силантьева М. М.

Grebennikova A. Ju., Silantyeva M. M.

Алтайский государственный университет, пр. Ленина, 61, 656049, Барнаул
E-mails: grebennikova.ann@mail.ru, msilan@mail.ru

Altai State University, Lenina str., 61, Barnaul, 656049, Russia

Реферат. В статье приводятся данные двухлетнего исследования воздействия угольной и породной пыли на ценозообразующие виды на мониторинговых площадках на территории заказника «Караканский».

Summary. The article presents data of a two-year study of the effects of coal and rock dust on plant species at monitoring sites in the reserve «Karakansky».

Биоразнообразие обеспечивает устойчивость экосистем, и одной из ключевых функций его является средообразующая. Снижение многообразия жизни приводит к снижению эффективности действия механизма поддержания биосферы в гомеостатическом состоянии. В этой связи каждый вид, популяция имеют не только индивидуальную норму реакции на факторы окружающей среды, но и пределы средообразующей деятельности. Эти пределы могут сильно сужаться под действием стресс-факторов.

С целью сохранения и восстановления биоразнообразия Караканского хребта (Кемеровская область) в 2012 г. был создан одноименный заказник (площадью 1,115 тыс. га). На его территории представлены в основном степные и лесные экосистемы

Основной угрозой биологическому разнообразию государственного природного заказника «Караканский» является техногенное воздействие. Проведение вскрышных работ при угледобыче вызывает мощное пылевое загрязнение при существующих технологиях взрывных работ. В то же время исследования, проведенные на ценоотическом и видовом уровне фиторазнообразия, не выявили существенных изменений, поскольку нарушения в результате начального этапа техногенного воздействия можно зафиксировать только на физиологическом уровне биоиндикации. Эта биологическая особенность определяется тем, что физиологические процессы у растений в значительной степени определяются условиями окружающей среды.

Одними из важнейших биоиндикационных показателей у растений на физиологическом уровне являются особенности протекания фотосинтеза, который чувствительно реагирует на всякое изменение факторов внешней среды (Шуберт, 1988). В качестве стресс-факторов на исследуемой территории установлено действие тяжелых металлов, совокупное воздействие газодымовых выбросов и отдельных его компонентов и т.п.

Для проведения исследований заложены две мониторинговые площадки (МП) на территории Караканского хребта в Кемеровской области (МП «Каракан-1», МП «Каракан-2») и одна площадка на территории Алтайского края МП «Парфеново» (контроль), где отсутствует воздействие угольной и породной пыли. МП «Каракан-1», выделенная в качестве наиболее подвергающейся негативному воздействию угольной и породной пыли, находится на расстоянии 900 м от угольного разреза и по дороге

к угольному складу ПАО «Кузбасская топливная компания». МП «Каракан-2» заложена на территории ГПЗ «Караканский», на удалении 950 м от разреза (рис.). В соответствии с п. 7.1.3. Постановления Правительства Российской Федерации от 25.09.2007 № 74 угольные разрезы относятся к предприятиям Класса I, и буферная зона для них установлена 1000 м. Следовательно, обе МП, заложенные на территории Караканского хребта, находятся в пределах буферной зоны и не могут быть назначены в качестве контрольных. МП «Парфеново» (контроль) была заложена на территории Алтайского края. Характер растительности, тип почвы и особенности увлажнения МП «Парфеново» (контроль) сходны в значительной степени с МП «Каракан-1» и МП «Каракан-2».

В проведенных исследованиях методом РАМ-флуориметрии использовался прибор Junior РАМ (Walz, Germany). Для всех образцов, предварительно выдержанных в темноте в течение 30 минут, были получены следующие параметры:

F_v (*variable fluorescence*) – расчётная величина, равная разнице между общей максимальной флуоресценцией и её исходным (фоновым) уровнем ($F_v = F_m - F_o$). Так как вариабельная флуоресценция F_v определяется окислительно-восстановительным статусом Q_a , её уровень служит индикатором фотохимических окислительно-восстановительных процессов (Joshi, 1995; 2004).

Соотношение F_v/F_m – параметр, который нашел широкое распространение в качестве показателя функционального состояния фотосинтетической системы интактных зелёных тканей растений. Понижение соотношения F_v/F_m обусловлено ингибированием ФС II (De Prado, 1992; Schreiber, 1994) и уменьшением доли реакционных центров ФС II, не способных к восстановлению Q_B (Morales, 1991; Ouzounidou, 1993). Чувствительность F_v/F_m к ингибированию световой фазы фотосинтеза делает этот показатель эффективным средством мониторинга стрессорных воздействий окружающей среды на растение (Lichtenthaller, 1988; Bolhar-Nordenkamp, 1989; Foyer, 1990; Govindjee, 1995; Henriques, 2009).

Для образцов на мониторинговых площадках оценивалось отношение F_v/F_m , величина которого тесно связана с первичной продуктивностью фотосистем. Она коррелирует с фотосинтетической продукцией клеток, определенной классическими методами по восстановлению CO_2 с помощью радиоактивных изотопов ^{14}C (табл.).

Из таблицы следует, что средние значения отношения F_v/F_m для всех образцов на всех трёх рассматриваемых мониторинговых площадках отличались незначительно. Так, например, для образцов, отобранных в июле на МП «Каракан-1», в июле средняя величина составила в 2015 г – 0,44 отн. ед., в 2016 – 0,67 отн. ед. Для листьев образцов вероники колосистой на МП «Парфеново» (контроль) средние значения отношения F_v/F_m в июле составило в 2015 г – 0,61, в 2016 г. – 0,7. Для листьев образ-

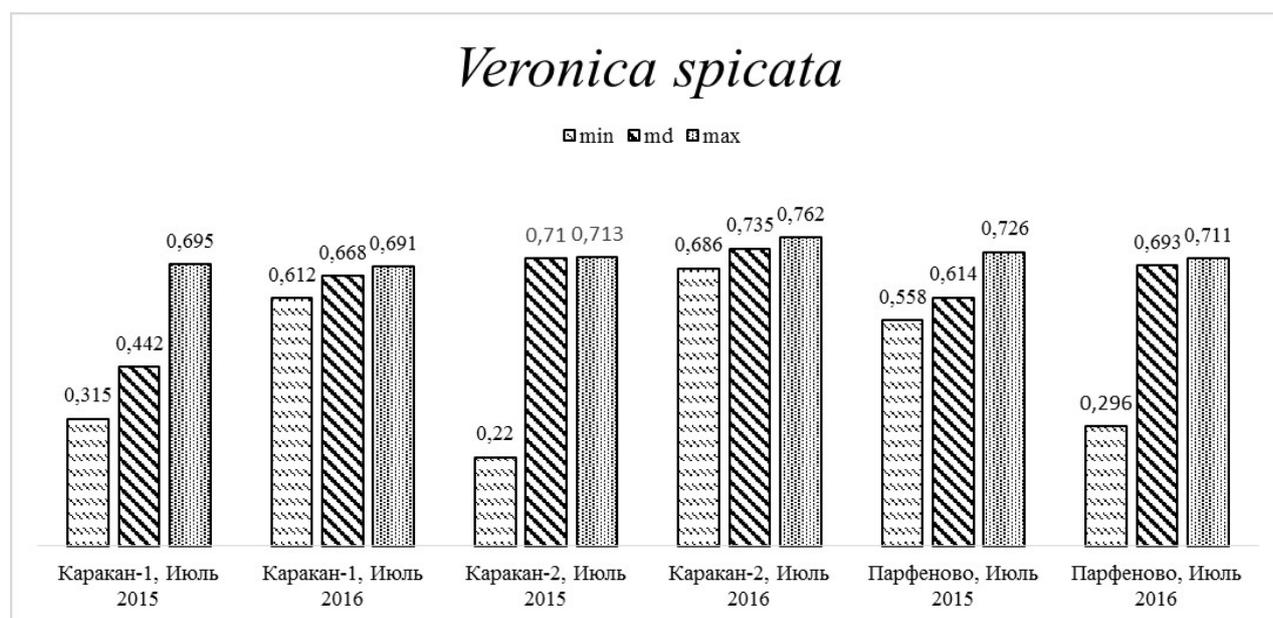


Рис. Распределения величины F_v/F_m (отн. ед.) в хлоропластах листьев вероники колосистой.

Таблица

Изменение отношения отношение Fv/Fm (в отн. ед.) у *Veronica spicata* на мониторинговых площадках за вегетационные периоды 2015–2016 гг.

Параметр МП	Год	Месяц	Fv/Fm ¹		
			min ²	md ³	max ⁴
«Каракан-1»	2015	6	0,6264	0,7390	0,7900
	2015	7	0,3149	0,4419	0,6948
	2015	8	0,4533	0,6356	0,7422
	2016	6	0,5449	0,6483	0,7577
	2016	7	0,6106	0,6682	0,6905
	2016	8	0,6375	0,7175	0,7563
«Каракан-2»	2015	7	0,2191	0,7026	0,7129
	2015	8	0,4533	0,6356	0,7422
	2016	6	0,6264	0,7390	0,7900
	2016	7	0,6858	0,7355	0,7616
	2016	8	0,6128	0,7026	0,7319
«Парфеново» (Контроль)	2015	7	0,5570	0,6138	0,7252
	2015	8	0,4875	0,5405	0,6700
	2016	7	0,2958	0,6929	0,7105
	2016	8	0,6367	0,7250	0,7519

Примеч.: Fv/Fm – соотношение вариабельной и максимальной флуоресценции; min – минимум соотношения вариабельной и максимальной флуоресценции (отн. ед.); md – медианы соотношения вариабельной и максимальной флуоресценции (отн. ед.); max – максимум соотношения вариабельной и максимальной флуоресценции (отн. ед.).

цов *Veronica spicata* на МП «Каракан-2», находящейся в пределах буферной зоны предприятия, в июле среднее значение отмечено в 2015 г. – 0,72, в 2016 г. – 0,74.

На первый взгляд, значение отношения Fv/Fm, отражающее изменение состояния растений под действием стресс-фактора, не позволило выявить существенных нарушений у растений, выросших в неблагоприятных условиях. Но при анализе ширины статистического распределения значений отношения Fv/Fm было установлено, что для видов мониторинговой площадки, подвергающейся в большей степени воздействию стресс-фактора (угольная и породная пыль), характерен сдвиг в сторону наименьших значений по сравнению с контролем (рис. 1).

Для одного из перспективных видов-индикаторов *вероники колосистой* установлено (рис. 1), что растения на МП «Каракан-1» и МП «Каракан-2», подвергающихся воздействию угольной и породной пыли, сдвинута в сторону наименьших значений, а также имеет больший разброс показателя, что говорит о снижении продуктивности фотосинтетического процесса в целом. Распределение этого показателя для образцов, выросших в благоприятных условиях, характеризуется суженой нормой реакцией, и значения связаны с максимальными выходами флуоресценции.

Аналогично отмеченному выше соотношению Fv/Fm параметра, который используется при мониторинге в качестве показателя функционального состояния фотосинтетической системы интактных зелёных тканей растений, у видов-индикаторов на мониторинговых площадках, «Каракан-1», «Каракан-2», изменялось незначительно по сравнению с контролем («Парфеново»). В то же время анализ распределения Fv/Fm свидетельствует, что различия существуют. Сдвиг в сторону меньших значений соотношения Fv/Fm обусловлен ингибированием ФС II (De Prado, 1992; Schreiber, 1994) и уменьшением доли реакционных центров ФС II, не способных к восстановлению Q_B (Morales, 1991; Ouzounidou, 1993). Следовательно, рассматриваемый стресс-фактор (угольная и породная пыль) оказывает непосредственное влияние на функционирование реакционных центров и первичные процессы фотосинтеза.

Действие стресс-фактора (угольная и породная пыль) на растения фиксируется соотношением F_v/F_m , который отражает непосредственное влияние на функционирование фотосинтетического аппарата. Таким образом, этот показатель может являться эффективным средством мониторинга стрессорных воздействий окружающей среды на растение, как в случае воздействия угольной и породной пыли на экосистемы Караканского хребта.

ЛИТЕРАТУРА

- Биоиндикация загрязнений наземных экосистем / Под ред. П. Шуберт. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
- Bolhar-Nordenkamp H. R., Long S., Baker N. R., Oquist G., Schreiber U., Lechner E. G. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: A review of current instrumentation // *Funct. Ecol.*, 1989. – Vol. 3. – P. 497–514.
- De Prado R., Dominguez C., Rodriguez I., Tena M. Photosynthetic activity and chloroplast structural characteristics in triazineresistant biotypes of three weed species // *Physiol. Plant.*, 1992. – Vol. 84. – P. 477–185.
- Foyer C., Furbank R., Harbinson J., Horton P. The mechanisms contributing to photosynthetic control of electron transport by carbon assimilation in leaves // *Photosynth. Res.*, 1990. – Vol. 25. – P. 83–100.
- Govindjee. Sixty-three years since Kautsky: Chlorophyll a fluorescence // *Aust. J. Plant. Physiol.*, 1995. – Vol. 22. – P. 131–160.
- Henriques F. S. Leaf Chlorophyll Fluorescence: Background and Fundamentals for Plant Biologists // *Bot. Rev.*, 2009. – Vol. 75. – P. 249–270.
- Joshi M., Mohanty P. Probing photosynthetic performance by chlorophyll a fluorescence: Analysis and interpretation of fluorescence parameters // *J. Sci. Ind. Res.*, 1995. – Vol. 54. – P. 155–174.
- Joshi M., Mohanty P. Chlorophyll a Fluorescence as a Probe of Heavy Metal Ion Toxicity in Plants // *Chlorophyll fluorescence: a signature of photosynthesis* / Ed. by Papageorgiou G.C., Govindjee. – Springer. The Netherlands, Dordrecht, 2004. – P. 447–461.
- Lichtenthaler H. K., Rinderle U. The role of chlorophyll fluorescence in the detection of stress conditions in plants // *CRC Crit Revol. Anal. Chem.*, 1988. – Vol. 19 (Supplement). – P. 29–85.
- Morales F., Abadia A., Abadia J. Chlorophyll fluorescence and photon yield of oxygen evolution in iron-deficient sugar beet (*Beta vulgaris* L.) leaves // *Plant. Physiol.*, 1991. – Vol. 97. – P. 886–893.
- Ouzounidou G. Changes in variable chlorophyll fluorescence as a result of Cu-treatment dose response relations in *Silene* and *Thlaspi* // *Photosynthetica*, 1993. – Vol. 29. – P. 455–462.
- Schreiber U., Bilger W., Neubauer C. Chlorophyll fluorescence as a noninvasive indicator for rapid assessment of in vivo photosynthesis // Schulze E. D., Caldwell M. M. (Eds) *Ecophysiology of photosynthesis* Springer (Ecological Studies). – Berlin, Heidelberg, New York, 1994. – Vol. 100. – P. 49–70.