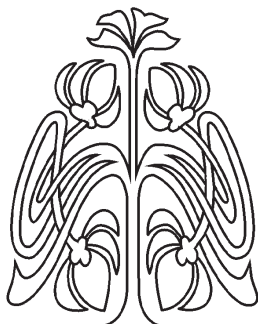
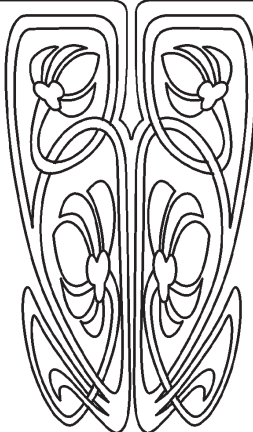




БИОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



УДК 581.5

ЧУЖЕРОДНЫЕ ВИДЫ ЮГА РОССИЙСКОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ, ИХ БИОКЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

А. В. Егошин

Экологический образовательный и научный центр «Сочинский национальный парк»
E-mail: ecoid@yandex.ru

Проведён анализ видового состава адвентивной флоры юга Российского Причерноморья. Общее количество активных адвентивных видов в этом регионе составляет 283. Эти виды принадлежат к 68 семействам, при этом самыми многочисленными семействами являются Poaceae (42 вида) и Asteraceae (37 видов). Родиной большинства адвентивных видов являются Северная и Центральная Америка (88 видов), а также Юго-Восточная Азия и Япония (74 вида). Биоклиматические условия юга Российского Причерноморья вплоть до среднегорья удовлетворяют требованиям подавляющего большинства адвентивных видов. Из агрессивных чужеродных видов, натурализовавшихся на юге Российского Причерноморья, наиболее теплолюбивым видом является *Eleusineindica* (L.) Gaertn., который легко переносит недостаток осадков в сухое время года. Самыми холодостойкими из наиболее агрессивных чужеродных видов являются *Commelinacommunis* L. и *Amorphafruticosa* L. Последняя, как и *Eleusineindica* (L.) Gaertn. является самым засухоустойчивым адвентиком. Из рассматриваемых иноземных видов наименее чувствительна к влажности почвы *Amorphafruticosa* L., наиболее – *Acalyphaaustralis* L. *Trachycarpusfortune* (Hook.) H. Wendl, как и *Acalyphaaustralis* L, преимущественно произрастает на почвах, богатых органикой. Большинство инвазивных видов, натурализовавшихся на юге Российского Причерноморья, приурочено к биому листопадных лесов умеренного пояса.

Ключевые слова: адвентивные виды, инвазивные виды, ГИС, Российское Причерноморье.

Alien Species of the Russian Black Sea Coast and their Bioclimatic Ecogeographical Requirements

A. V. Egoshin

Analysis of the species composition of the alien flora of the south of the Russian Black Sea coast are produced. Total number of active invasive species in this region is 283. These species belong to 68 families. The most numerous families are Poaceae (42 species) and Asteraceae (37 species). Home to most invasive species are North and Central America (88 species), as well as Southeast Asia and Japan (74 species). Bioclimatic conditions in the south of the Russian Black Sea until midlands comfortable for most invasive species. The most thermophilic species is *Eleusineindica* (L.) Gaertn, which easily transfers lack of precipitation in the dry season. The most cold-tolerant are *Commelina communis* L. and *Amorpha fruticosa* L. *Eleusine indica* (L.) Gaertn is the most drought-resistant alien species. Least sensitive to soil moisture *Amorpha fruticosa* L., most sensitive to soil moisture – *Acalypha australis* L. *Trachycarpus fortune* (Hook.) H.Wendl, as *Acalypha australis* L. grow in soils rich in organic matter. Most invasive species naturalized in the south of the Russian Black Sea coast, is confined to the biome deciduous temperate forests.

Key words: adventitious species, invasive species, Russian Black Sea coast, GIS.



Натурализация чужеродных видов в естественных экосистемах является важной экологической проблемой, которой уделяется всё большее внимание. Объяснению причин успешной натурализации адвентиков посвящено большое количество работ, как отечественных авторов [1–5], так и зарубежных [6–11].

Многие из вышеупомянутых авторов подчёркивают, что успешная натурализация инородных видов во многом зависит от природно-климатических условий. В целом экосистемы, располагающиеся в благоприятных природно-климатических условиях, более подвержены инвазивным процессам.

В Российской Федерации наиболее комфортными и разнообразными климатическими условиями обладает юг Российского Причерноморья. Разнообразие климатических условий, почв, рельефа способствуют интенсивному развитию инвазивных процессов в этом регионе.

В связи с этим актуальность приобретает установление биоклиматических и эколого-географических требований для наиболее агрессивных адвентивных видов.

Материал и методика

В ходе выполнения научно-исследовательских работ был проведён анализ различных флористических списков Российского Причерноморья и сопредельных регионов, составленных

И. Н. Тимухиным [12], Ю. А. Маренчуком [13], Ю. К. Виноградовой [3], А. П. Серегиным [14], А. С. Зерновым [15], на предмет наличия в них адвентивных видов.

Полевые исследования проводили в 2012 и 2013 гг., в ходе которых фиксировали географические координаты мест произрастаний особей чужеродных видов. Помимо этого, в процессе выполнения работ были использованы географические координаты мест произрастания особей исследуемых видов, представленные на сайте глобального информационного фонда по биоразнообразию (www.gbif.org). Для последующего анализа географические координаты мест произрастания чужеродных видов импортировали в среду программного комплекса ArcGIS.

В результате была составлена база данных, содержащая географические координаты около двух миллионов мест произрастаний особей исследуемых видов по всему миру. Эти данные использовали для установления биоклиматических и эколого-географических требований чужеродных видов.

Для решения этой задачи использовали биоклиматические переменные BIOCLIM, представленные набором растровых изображений (GRID) с разрешением около 1 км², каждая ячейка которых содержит информацию о том или ином климатическом показателе (табл. 1).

Таблица 1

Биоклиматические переменные BIOCLIM

Код	Биоклиматический параметр
BIO1	Средняя годовая температура
BIO2	Средняя суточная амплитуда температуры за каждый месяц
BIO3	Изотермичность (BIO1/BIO7) × 100
BIO4	Стандартное отклонение температур
BIO5	Максимальная температура самого тёплого месяца года
BIO6	Минимальная температура самого холодного месяца года
BIO7	Годовая амплитуда температуры (BIO5-BIO6)
BIO8	Средняя температура самой влажной четверти года
BIO9	Средняя температура самой сухой четверти года
BIO10	Средняя температура самой тёплой четверти года
BIO11	Средняя температура самой холодной четверти года
BIO12	Годовая сумма осадков
BIO13	Сумма осадков в самом влажном месяце года
BIO14	Сумма осадков в самом сухом месяце года
BIO15	Коэффициент вариации осадков
BIO16	Сумма осадков во влажной четверти года
BIO17	Сумма осадков в сухой четверти года
BIO18	Сумма осадков в самой тёплой четверти года
BIO19	Сумма осадков в самой холодной четверти года



Растровые слои с биоклиматическими переменными дополнили слоями, содержащими другую эколого-географическую информацию: высоту над уровнем моря, уклон в градусах, экспозицию, степень застроенности территории, глубину снежного покрова, вегетационный потенциал, чистую первичную продуктивность, сумму температур вегетационного периода, влажность почвы, а также содержание в ней органического углерода.

Далее произвели прогностическое моделирование с использованием программы MaxEnt с последующей дискретной классификацией раstra. Для этого в качестве порогового значения использовали 10-й процентиль. Значения ниже 10-го процентиля считали как неудовлетворяющие экологическим требованиям вида.

Затем с помощью инструментария ArcGIS извлекали из растровых слоёв значения вышеупомянутых переменных в каждой точке произрастания особей изучаемых видов.

Полученные данные использовали для вычисления минимальных, максимальных средних и медианных значений, а также изменчивости биоклиматических и эколого-географических характеристик мест произрастания особей адвентивных видов. Кластерный анализ проводили с использованием методов Варда и К-средних.

Результаты и их обсуждение

На основании проведённых полевых обследований все адвентивные виды юга Российского Причерноморья были разделены на 5 классов инвазионной валентности: 1-й класс – виды, не образующие самоподдерживающихся популяций, которые без постоянного притока генетического материала, как правило, быстро угасают; 2-й – виды, формирующие популяции, которые обладают способностью к самоподдержанию в течение определённого периода времени, не внедряясь в природные экосистемы; 3-й – виды, распространяющиеся в антропогенно нарушенных экосистемах (линии электропередач, дороги и т.д.), 4-й – виды, распространяющиеся в естественно нарушенных природных экосистемах (вывалы деревьев, берега горных рек). К видам 5-го класса инвазионной валентности отнесли виды, способные внедряться в ненарушенные природные экосистемы.

Анализ флоры показал, что общее количество адвентивных видов на юге Российского Причерноморья, принадлежащих к 2–5-му клас-

сам инвазионной валентности, составляет 283. Эти виды принадлежат к 68 семействам. Наиболее многочисленны иноземные виды семейства Poaceae (42 вида) и Asteraceae (37 видов).

Родиной большинства инвазивных видов, натурализовавшихся на юге Российского Причерноморья, являются Северная и Центральная Америка (88 видов), а также Юго-Восточная Азия и Япония (74 вида).

Прогностическое моделирование с использованием программы MaxEnt показало, что биоклиматические условия юга Российского Причерноморья, вплоть до среднегорья, удовлетворяют требованиям подавляющего большинства азиатских видов. На рис. 1 представлены результаты моделирования и дискретной классификации раstra, иллюстрирующие пригодность биоклиматических условий юга Российского Причерноморья для произрастания айланта высочайшего (*Ailanthus altissima*).

Под данным рис. 1, биоклиматические условия на 74% (2593 км²) территории Большого Сочи удовлетворяют биологическим требованиям айланта высочайшего, и только на 26% (913 км²) территории Большого Сочи произрастание этого адвентивного вида невозможно.

Ряд усреднённых биоклиматических и эколого-географических переменных, характеризующих места произрастания некоторых наиболее агрессивных адвентивных видов, приведён в табл. 2 и 3.

Из приведённых в табл. 2 видов наиболее теплолюбивым видом является *Eleusine indica* (L.) Gaertn., который легко переносит недостаток осадков в сухое время года. Самыми холодостойкими из наиболее агрессивных чужеродных видов юга Российского Причерноморья являются *Commelina communis* L. и *Amorpha fruticosa* L. Последняя, как и *Eleusine indica* (L.) Gaertn. является самым засухоустойчивым адвентиком.

По данным табл. 3 большинство инвазивных видов, натурализовавшихся на юге Российского Причерноморья, приурочено к биому листопадных лесов умеренного пояса.

Из рассматриваемых иноземных видов наименее чувствительна к влажности почвы аморфа кустарниковая (*Amorpha fruticosa* L.), наиболее – акалифа южная (*Acalypha australis* L.), как и *Trachycarpus fortune* (Hook.) H. Wendl, приурочена к почвам, богатым органикой.

Кластерный анализ, проведённый по методу Варда, позволил выделить четыре кластера инвазивных видов.

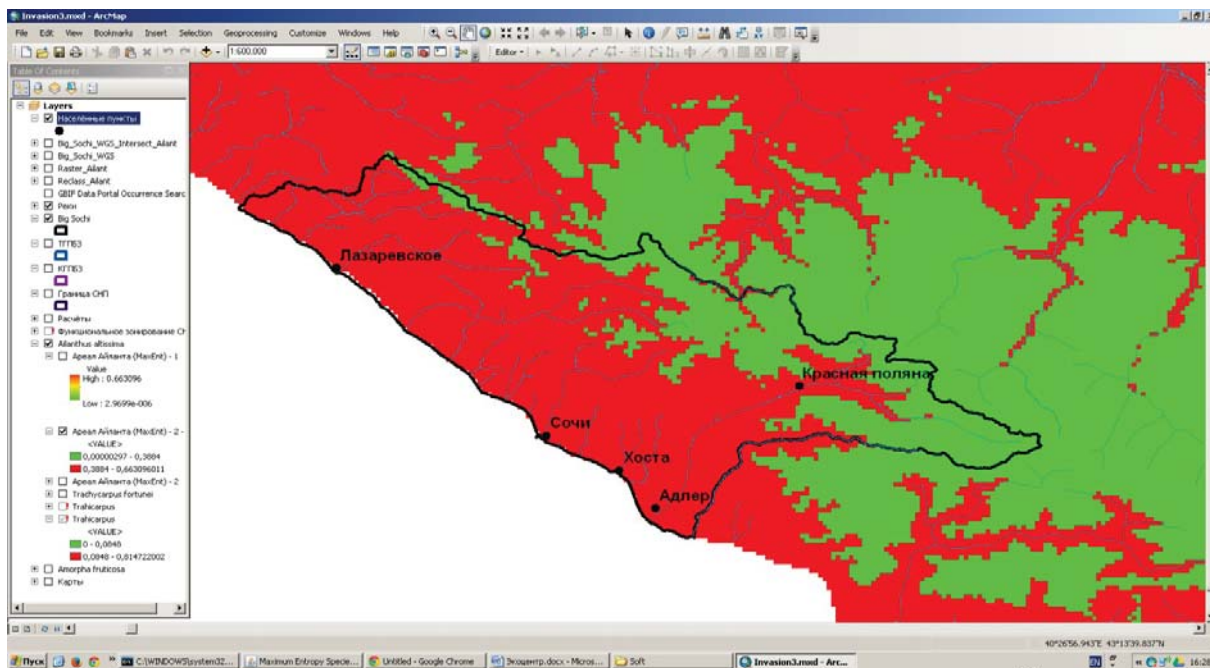


Рис. 1. Результаты прогностического моделирования и дискретной классификации раstra, иллюстрирующего пригодность биоклиматических условий для произрастаний айланта высочайшего. Серым цветом изображена пригодная среда обитания, белым – не пригодная, чёрная линия – административная граница Большого Сочи

Таблица 2

Медианные значения биоклиматических переменных для некоторых инвазивных видов

Вид	Биоклиматические переменные													
	bio1	bio5	bio6	bio8	bio9	bio10	bio11	bio12	bio13	bio14	bio16	bio17	bio18	bio19
<i>Paspalum dilatatum</i>	16,8	27,9	4,1	21,4	12,8	22,2	10,9	902	120	41	332	140	283	186
<i>Eleusine indica</i>	21,4	31,2	11,6	23,6	20,2	25,0	17,3	1300	212	30	549	111	368	169
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	9,8	23,9	-1,1	16,0	5,6	17,5	2,5	753	80	45	222	147	208	173
<i>Robinia pseudoacacia</i>	10,1	23,3	-0,4	15,2	6,2	17,2	2,9	737	74	47	213	151	199	180
<i>Setaria viridis</i>	9,8	22,8	-1,2	15,5	5,6	16,9	2,4	714	75	44	214	142	199	165
<i>Phytolacca americana</i>	11,6	27,2	0,2	16,4	7,2	20,4	3,7	794	106	45	296	144	213	177
<i>Duchesnea indica</i>	11,0	24,3	0,4	11,6	6,9	18,2	3,7	755	74	46	216	146	198	165
<i>Conyzacana densis</i>	9,9	21,9	-0,1	11,0	6,0	16,7	3,2	740	75	45	215	147	198	179
<i>Galinsoga ciliate</i>	9,9	22,0	-0,4	11,5	5,9	16,7	2,9	763	75	47	217	153	202	181
<i>Phalacrolooma annuum</i>	9,9	23,8	-1,5	16,6	5,5	17,5	2,0	746	77	47	216	150	211	173
<i>Rosamultiflora</i>	9,6	22,8	-2,7	15,5	4,0	17,0	1,7	931	103	47	290	155	241	180
<i>Paulownia tomentosa</i>	12,1	28,5	-4,6	12,7	8,0	21,3	2,6	1359	136	84	376	277	351	310
<i>Commelina communis</i>	12,7	29,7	-5,2	22,5	2,7	23,7	1,4	1366	233	35	599	119	588	130
<i>Elaeagnus pungens</i>	15,6	31,7	-0,3	24,2	11,2	25,0	5,7	1372	173	71	484	242	465	282
<i>Acalypha australis</i>	15,3	30,3	0,2	22,5	6,0	24,7	5,9	1563	217	52	581	173	562	174
<i>Trachycarpus fortunei</i>	14,9	30,2	0,2	22,0	5,9	24,5	5,9	1508	201	52	534	172	491	176
<i>Ligustrum lucidum</i>	11,6	28,6	-3,7	15,4	7,2	21,2	2,8	1049	109	67	306	215	288	228
<i>Amorpha fruticosa</i>	12,4	31,0	-4,8	19,2	1,9	23,0	0,9	715	106	28	289	96	259	120
<i>Ailanthus altissima</i>	11,6	28,6	-3,7	15,4	7,2	21,2	2,8	1049	109	67	306	215	288	228

Примечание. bio1 – средняя годовая температура, °C; bio5 – максимальная температура самого тёплого месяца года, °C; bio6 – минимальная температура самого холодного месяца года, °C; bio8 – средняя температура самой влажной четверти года, °C; bio9 – средняя температура самой сухой четверти года, °C; bio10 – средняя температура самой тёплой четверти года, °C; bio11 – средняя температура самой холодной четверти года, °C; bio12 – годовая сумма осадков, мм; bio13 – сумма осадков в самом влажном месяце года, мм; bio14 – сумма осадков в самом сухом месяце года, мм; bio16 – сумма осадков во влажной четверти года, мм; bio17 – сумма осадков в сухой четверти года, мм; bio18 – сумма осадков в самой тёплой четверти года, мм; bio19 – сумма осадков в самой холодной четверти года, мм.



Таблица 3

Медианные значения эколого-географических переменных для некоторых инвазивных видов

Вид	Эколого-географические переменные									
	w	H	C	pH	alt	slope	built	veg	npp	gdd
<i>Paspalum dilatatum</i>	88,8	0,0	6,0	6,2	135	0,9	0	9	0,8	4423
<i>Eleusine indica</i>	94,6	0,0	6,2	6,2	168	0,8	0	8	0,7	5660
<i>Ambrosia artemisiifolia</i>	97,7	0,4	6,5	6,0	88	0,5	4	5	0,7	1784
<i>Robinia pseudoacacia</i>	94,9	0,3	5,9	6,0	94	0,5	4	5	0,7	1805
<i>Setaria viridis</i>	92,6	0,4	6,3	6,0	90	0,5	3	5	0,7	1772
<i>Phytolacca americana</i>	91,7	0,1	6,3	6,0	115	0,6	4	5	0,7	2283
<i>Duchesnea indica</i>	94,6	0,1	5,7	6,0	78	0,7	14	5	0,7	2158
<i>Conyzacanadensis</i>	93,4	0,3	6,0	6,0	47	0,3	5	5	0,7	1755
<i>Galinsoga ciliata</i>	99,2	0,3	6,3	6,0	42	0,3	7	5	0,7	1755
<i>Phalacrolooma annuum</i>	98,9	0,6	6,2	6,1	174	0,6	2	5	0,7	1853
<i>Rosa multiflora</i>	105,9	0,8	6,7	6,0	90	0,7	5	5	0,7	1770
<i>Paulownia tomentosa</i>	124,8	1,3	4,8	5,3	648	1,8	0	8	0,8	2467
<i>Commelina communis</i>	135,3	0,5	5,4	6,1	123	1,3	5	8	0,8	2731
<i>Elaeagnus pungens</i>	113,0	0,0	5,3	5,3	108	0,6	5	4	0,7	3493
<i>Acalypha australis</i>	135,6	0,0	7,9	6,0	73	0,9	8	8	0,8	3191
<i>Trachycarpus fortunei</i>	135,3	0,0	8,9	6,0	57	0,9	10	8	0,8	3012
<i>Ligustrum lucidum</i>	107,3	0,8	5,3	5,5	201	0,9	4	5	0,7	2427
<i>Amorpha fruticosa</i>	79,5	1,4	6,1	6,5	338	0,7	1	9	0,6	2894
<i>Ailanthus altissima</i>	107,3	0,8	5,3	5,5	201	0,9	4	5	0,7	2427

Примечание. w – влажность почвы мм/м; h – глубина снежного покрова, м; C – содержание органического углерода, кг/м²; alt – высота над уровнем моря, м; slope – уклон, градусы; built – застроенность территории, %/км²; veg – принадлежность к биому (1 – тропические вечнозелёные леса, 2 – тропические листопадные леса, 3 – широколиственные вечнозелёные леса умеренного пояса, 4 – хвойные вечнозелёные леса умеренного пояса, 5 – листопадные леса умеренного пояса, 6 – бореальные вечнозелёные леса, 7 – бореальные листопадные леса, 8 – вечнозелёные/листопадные смешанные леса, 9 – саванны, 10 – луга и степи, 11 – местность, покрытая плотной древесно-кустарниковой растительностью, 12 – местность, покрытая разреженной древесно-кустарниковой растительностью, 13 – тундра, 14 – полярные пустыни/скалы); npp – чистая первичная продуктивность (кг-С/м²/год); gdd – сумма температур вегетационного периода.

Первый кластер представлен преимущественно адвентивными видами Северной Америки и Восточной Азии, принадлежащими к семействам: Poaceae, Fabaceae, Asteraceae (*Ambrosia trifida* L., *Paspalum setaceum* Michx., *Pueraria lobata* (Willd.) Ohwi и др.). Второй кластер образуют в основном инвазивные виды, родиной которых является Северная Америка и Европа. Виды этого кластера представлены большей частью семействами: Asteraceae, Brassicaceae и Poaceae (*Phalacrolooma annuum* (L.) Dumort., *Solidago canadensis* L., *Solidago gigantea* Aiton, *Bunias orientalis* L. и др.). Третий кластер объединяет иноземные виды, прибывшие из Азии и Южной Америки. Эти виды в основном принадлежат к семействам Poaceae и Asteraceae (*Conyzanthus graminifolius* (Sprengel) Tamamsch., *Eleusine indica* (L.) Gaertn., *Digitaria violascens* Link. и др.). Четвёртый кластер представлен преимущественно адвентивными видами Северной

Америки и Средиземноморья, принадлежащими к семействам Poaceae, Asteraceae и Cyperaceae (*Sorghum halepense* (L.) Pers., *Cyperus esculentus* L., *Conyza bonariensis* (L.) Cronqst).

Результаты кластеризации, проведённой методом K-средних приведены на графике средних (рис. 2).

По данным рис. 2 видно, что адвентивные виды кластера 2 приурочены к более богатым почвам. Эти виды способны выносить высокие годовые амплитуды температур, а также низкие температуры в самый холодный месяц года.

Инвазивные виды, принадлежащие к кластеру 2, произрастают преимущественно на равнинных территориях, на небольших высотах над уровнем моря. Кроме того, для мест произрастания особей видов этого кластера характерна наименьшая, по сравнению с другими кластерами видов, средняя годовая температура, средняя температура самой холодной четверти

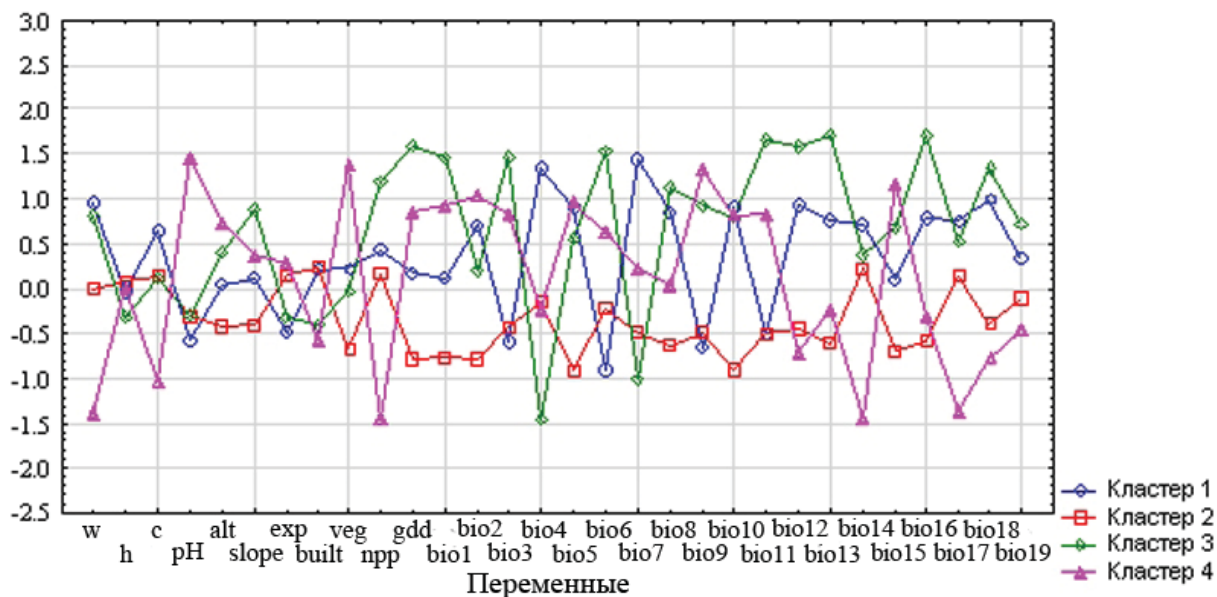


Рис. 2. Результаты кластеризации биоклиматических и эколого-географических переменных методом К-средних (параметры: 1 – влажность почвы, 2 – глубина снежного покрова, 3 – содержание органического углерода в почве, 4 – pH почвы, 5 – высота над уровнем моря, 6 – уклон в градусах, 7 – экспозиция, 8 – % застроенной территории, 9 – вегетационный потенциал (принадлежность к биому), 10 – чистая первичная продуктивность, 11 – сумма температур вегетационного периода, 12 – средняя годовая температура, 13 – средняя суточная амплитуда температуры за каждый месяц, 14 – изотермичность, 15 – стандартное отклонение температур, 16 – максимальная температура самого тёплого месяца, 17 – минимальная температура самого холодного месяца года, 18 – годовая амплитуда температуры, 19 – средняя температура самой влажной четверти года, 20 – средняя температура самой сухой четверти года, 21 – средняя температура самой тёплой четверти года, 22 – средняя температура самой холодной четверти года, 23 – годовая сумма осадков, 24 – сумма осадков в самом влажном месяце года, 25 – сумма осадков в самом сухом месяце года, 26 – коэффициент вариации осадков, 27 – сумма осадков во влажной четверти года, 28 – сумма осадков в сухой четверти года, 29 – сумма осадков

года, средняя суточная амплитуда, а также наименьшая сумма температур вегетационного периода и коэффициент вариации осадков.

Иноземные виды третьего кластера зачастую приурочены к территориям со сложным рельефом, для которых характерна относительно высокая средняя годовая температура. Места произрастания видов этого кластера также характеризуются высокой температурой, как самого холодного месяца и четверти года, так и всего вегетационного периода, а также самой низкой годовой амплитудой температуры и наибольшей годовой суммой осадков. Экосистемы, в которые внедряются иноземные виды третьего кластера, как правило, имеют высокую чистую продуктивность.

Адвентики четвертого кластера устойчивы к недостатку осадков в засушливый период времени года. Они приурочены к почвам, имеющим наименьшую влажность и плодородность. Для экосистем-акцепторов инвазивных видов этой группы характерна низкая первичная продуктивность.

Список литературы

1. Акатов В. В., Акатова Т. В. Видовой пул, видовое богатство, эффект компенсации плотностью и инвазивность растительных сообществ // Рос. журн. биол. инвазий. 2012. № 3. С. 2–19.
2. Акатов В. В., Акатова Т. В., Шадже А. Е. Видовое богатство древесного и кустарникового ярусов прирусловых лесов Западного Кавказа с доминированием иноземных видов // Экология. 2012. № 4. С. 276–283.
3. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Чёрная книга флоры Средней России. М.: Геос, 2010. 512 с.
4. Миркина Б. М., Наумова Л. Г. Адвентивизация растительности в прибрежной зоне // Журн. общ. биологии. 2002. Т. 63, № 6. С. 500–508.
5. Егошин А. В. Моделирование пространственного распределения видов на территориях ООПТ Западного Кавказа с использованием геоинформационных систем // Биоразнообразие государственного природного заповедника «Утриш». Научные труды. 2013. Т. 1. С. 35–43.
6. Lonsdale W. M. Global patterns of plant invasions and the concept of invisibility // Ecology. 1999. Vol. 80. P. 1522–1536.



7. Richardson D. M., Pyšek P., Rejmanek M., Barbour M. G., Dane Panetta F., West C. J. Naturalization and invasion of alien plants: concepts and definitions // Diversity and distributions. 2000. № 6. P. 93–107.
8. Reinhart K. O., Greene E., Gallaway R. M. Effects of Acer platanoides invasion on understory plant communities and tree vegetation in the Rocky Mountains // Ecography. 2005. Vol. 28. P. 573–583.
9. Réjmanek M., Richardson D. M., Pyšek P. Plant invasions and invisibility of plant communities // Vegetation ecology. Oxford: Blackwell, 2005. P. 332–355.
10. Pyšek P., Prach K. Research into plant invasions in a cross-roads region: History and focus // Biological Invasions. 2003. Vol. 5. P. 337–348.
11. Pyšek P., Richardson D. M. The biogeography of naturalization in alien plants // J. Biogeogr. 2006. Vol. 33. P. 2040–2050.
12. Тимухин И. Н. Флора сосудистых растений Сочинского национального парка // Инвентаризация основных таксономических групп и сообществ, соэологические исследования Сочинского национального парка – первые итоги первого в России национального парка / под ред. Б. С. Туниева. М.: Престиж, 2006. С. 41–84.
13. Маренчук Ю. А. Адвентивный элемент флоры Центрального Предкавказья // Фундаментальные исследования. 2009. № 3. С. 50–51.
14. Серегин А. П., Шведчикова Н. К. Дополнения к флоре Северо-Западного Кавказа // Бюл. МОИП. Отд-ние биол. 2009. Т. 114, вып. 3. С. 62–63.
15. Зернов А. С. Иллюстрированная флора юга Российского Причерноморья. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2013. 588 с.

УДК 577.344.3

ВЛИЯНИЕ СВЕТОДИОДНОГО СИНЕГО (405 нм) ИЗЛУЧЕНИЯ И НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА (III) НА ВЫЖИВАЕМОСТЬ И МОРФОЛОГИЮ КЛЕТОК *STAPHYLOCOCCUS AUREUS* 209 P

Н. А. Шелест¹, Е. К. Волкова¹, К. В. Козина¹, М. В. Корченова¹,
Е. С. Тучина¹, А. М. Захаревич¹, В. И. Кочубей¹, В. В. Тучин^{1,2,3}

¹Саратовский государственный университет

²Институт проблем прецизионной механики и управления РАН, Саратов

³Университет Оулу, Финляндия

E-mail: kliany@rambler.ru

Изучено влияние светодиодного синего (405 нм) излучения в сочетании с оксидом железа III на бактерии *Staphylococcus aureus* 209 P. Показано, что синий (405 нм) свет в сочетании с наночастицами Fe₂O₃ обладал угнетающим действием: снижение численности исследуемых микроорганизмов отмечено на 88% после 30 мин воздействия. Методами атомно-силовой и электронной микроскопии установлено изменение морфологии клеток стафилококка при комплексном влиянии синего (405 нм) излучения и наночастиц Fe₂O₃, которое выразилось в уменьшении диаметра клеток на 100 нм и появлении внешнего фрагментированного слоя толщиной 71 нм.

Ключевые слова: синее (405 нм) излучение, микроорганизмы, *S. aureus*, наночастицы, оксид железа III.

The Action of Led Blue (405 nm) Light and Iron Oxide III Nanoparticles on Viability and Morphology of *Staphylococcus Aureus* 209 P

N. A. Shelest, E. K. Volkova, K. V. Kozina,
M. V. Korchenova, E. S. Tuchina, A. M. Zacharevich,
V. I. Kochubey, V. V. Tuchin

The main goal was to study the sensitivity of microorganisms to combined action of LED blue (405 nm) light and iron oxides

nanoparticles. In this study standard strain of *Staphylococcus aureus* 209 P was used. As blue light source LED with spectrum maxima at 405 nm was taken. The light exposure was ranged from 5 to 30 min. Fe₂O₃ nanoparticles in different concentrations were synthesized. It was shown that irradiation with blue light caused 20 to 88% decrease in the number of microorganisms treated with nanoparticles. Morphological changes in bacterial cells after photodynamic treatment were analyzed using atomic force microscope and scanning electron microscope.

Ключевые слова: blue (405 nm) light, microorganisms, *S. aureus*, nanoparticles, iron oxide III.

Введение

Золотистый стафилококк является одним из наиболее распространенных патогенов и возбудителем различных видов инфекционных заболеваний [1]. Последние десятилетия характеризуются возрастающей устойчивостью клинически значимых микроорганизмов, в том числе бактерий рода *Staphylococcus*, к различным антибактериальным препаратам [2]. В связи с этим необходим поиск альтернативных методов

