

## СТРУКТУРА И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПУЛА БИОТЫ КРАЕВЫХ УЧАСТКОВ ПОЧВ УРБАНОЗЕМОВ

### STRUCTURE AND FUNCTIONING OF THE BIOTA POOL OF MARGINAL AREAS OF SOILS OF URBANOZEMS

**K. Korlyakov  
L. Markova  
S. Gashev**

*Summary.* Soil areas bordering on artificial barriers were studied: curbs, concrete slabs, fences. Soil profiles with a height of 15–20 cm were cut near the artificial barrier and at a distance of 30 cm from it, which were the control. The aim of the work was to study the features of the composition and functioning of biota in the marginal areas and the continuum profile of the soil. A significant numerical prevalence of microbiota (bacteria, algae, fungi) has been established, which gives a more intense outbreak of numbers at the edges of the soil profile bordering the artificial separator. Bacteria in the marginal areas of the soil develop more intensively in the form of colonies and more abundant biofilm formation is noted. To an even greater extent, this pattern was observed in fungi: the growth rate of mycelium and the number of colonies from the edge prevailed over the soil areas in the middle several times and by one order of magnitude. The growth of algae on the fouling glasses cultivated in the marginal areas of soils was 2–3 days ahead of the growth of algae from the middle. In this period, the number of algae was higher from the edge of the soil, and in the middle — diversity. After 1–2 weeks, the reverse trend was observed, with the number of algae from the edge also dominating. In the course of bacterial growth, a similar pattern was observed — in the middle sections of the samples, the diversity of bacterial colonies increased, while the total number of colonies decreased. The samples from the middle of the soil were dominated by trichomal forms of algae, while on the edge — unicellular. The higher plants dominated in numbers in the middle, while on the edge of the artificially planted plants we gave more shoots. Chemical analysis of the marginal areas of the soil and from the middle of the soil profile showed that phosphates and nitrates dominate at the edge, which, apparently, provided more intensive growth of biota at the edge.

*Keywords:* algae, fungi, microorganisms, soil at borders, “edge effect”, organomineral complex.

**Корляков Константин Александрович**

*К.б.н., доцент, ФГБОУ ВО «Челябинский  
Государственный университет»  
korfish@mail.ru*

**Маркова Лада Михайловна**

*ФГБОУ ВО «Челябинский Государственный  
университет»*

**Гашев Сергей Николаевич**

*Д.б.н., профессор, Тюменский государственный  
университет*

*Аннотация.* Исследованы участки почв граничащие с искусственными барьерами: бордюрами, бетонными плитами, заборами. Вырезались профили почв высотой 15–20 см около искусственного барьера и в отдалении от него на 30 см, которые являлись контролем. Цель работы состояла в изучении особенностей состава и функционирования биоты в краевых участках и континуальном профиле почвы. Установлено значительное численное превалирование микробиоты (бактерий, водорослей, грибов) дающее более интенсивную вспышку численности на краях почвенного профиля граничащего с искусственным разделителем. Бактерии в краевых участках почвы более интенсивно развиваются в виде колоний и отмечено более обильное биопленкообразование. В еще большей степени данная закономерность наблюдалась у грибов: скорость роста мицелия и численность колоний с края преваляровали над участками почвы в середине в несколько раз и на один порядок. Рост водорослей на стеклах обрастания культивируемых в краевых участках почв на 2–3 дня опережал рост водорослей из середины. В этот период с края почвы была выше численность водорослей, а в середине — разнообразие. Спустя 1–2 недели наблюдалась обратная тенденция, при этом численность водорослей с края также доминировала. По ходу роста бактерий наблюдалась аналогичная картина — в средних участках проб росло разнообразие бактериальных колоний, при этом общая численность колоний снижалась. В пробах из середины почвы доминировали трихомные формы водорослей, тогда, как с края — одноклеточные. Высшие растения доминировали по численности в середине, тогда как с края искусственно посаженные нами растения давали больше всходов. Химический анализ краевых участков почвы и из середины почвенного профиля показал, что с края доминируют фосфаты и нитраты, которые, по всей видимости, обеспечивали более интенсивный рост биоты с края.

*Ключевые слова:* водоросли, грибы, микроорганизмы, почва у границ, «краевой эффект», органоминеральный комплекс.

## Введение

**П**роблема увеличения дискретности ландшафта приводит к трансформации органоминеральных почвенных комплексов. Меняется структура, особенности функционирования и биоценозов входящих в данные почвенные системы. Вертикальный край почвы прилегающий к монолитной, относительно ровной, искусственной поверхности характеризуется специфичным режимом функционирования. При высыхании он образует «корку» и отделяется от монолитной искусственной поверхности подобно отделению одного куска почвы от другого при растрескивании. Однако, особенности вертикального слоя почвы граничащего с монолитным искусственным субстратом отличаются от вертикальных слоев почвы образующихся при высыхании и растрескивании не только в отношении химического состава. В этих условиях формируются специфичные пулы биоты, которые адаптированы к иному режиму увлажнения и термическим условиям [2, 6]. Возникает «краевой эффект» в сообществе микробиоты почвенного комплекса. Цель настоящей работы — изучить особенности состава и функционирования биоты в краевых участках и континуальном профиле почвы.

## Материал и методы

Объектом исследования послужили участки почв городской черты Челябинска и лесных подзолистых почв граничащих со зданиями и бетонными столбами. Были выбраны вертикальные преграды, искусственно разделяющие почвенный профиль, такие как бордюры (В1, В1–2; Д1, Д1–2; Е1, Е1–2), бетонные (С1, С1–2; Е1б, Е1–2б; В1в, В1–2в) и металлические столбы (В2, В1–2). В качестве контроля один профиль вырезался около дерева (А1, А1–2). Для исследования лопатой и скребком вырезались вертикальные участки почвы высотой 15–20 см таким образом, чтобы профиль почвы, соприкасающийся с вертикальным субстратом, не нарушался и извлекался не поврежденным. Аналогичным образом для сравнения вырезался вертикальный почвенный профиль в 30 см от бордюров и столбов. Проба, отобранная вдоль искусственного субстрата обозначалась цифрой 1, а проба в отдалении 30 см цифрами 1–2. Толщина почвенных профилей составляла от 1.5 до 3 см, площадь — от 1 до 3.5 дм<sup>2</sup>. Изучение роста бактерий проводилось методом посева воды отфильтрованной из почвы на питательный МПА [8, 10]. Выявление количества грибов производилось путем посева на питательную среду Сабуро [1, 3, 5]. Количество разведений из водной вытяжки составляло 5. Пробы снимались в 3-х кратных повторностях. Для изучения альгоценозов различных участков почвы на погруженный в воду профиль почвы закладывались стекла обростания и культивировалось в течении 1.5 месяца при

люминесцентном освещении и температуре воды 23 °С [4, 7]. Отдельные участки почвенных профилей культивировались в контейнерах в лабораторных условиях под люминесцентными лампами при температуре 25 °С и стандартном увлажнении пульверизатором для изучения всходов растений из вертикального профиля краевых участков почв и континуальных участков. Сторона почвенного профиля соприкасающаяся ранее с искусственным субстратом была расположена вверх к источнику света. В отдельном эксперименте на почвенных профилях культивировалась полевика побегоносная (*Agrostis stolonifera*) в количестве 100 семян на профиль. Контролем являлся почвенный профиль вырезанный в 30 см от искусственного субстрата. Концентрацию в воде химических элементов, главных ионов, соединений азота и фосфора определяли методом капиллярного электрофореза на системе Капель 103-Р (ГК Люмэкс, Россия). Для статистической оценки степени связи использовали непараметрическую корреляцию Кендалла [11]. Расчеты и графические построения выполнены в пакете KyPlot и PAST [12]. Связи считали статистически значимыми при  $p > 0,05$ , незначимыми — при  $p > 0,10$ .

## Результаты и их обсуждение

В ходе посевов на питательную среду проб из 8 почвенных выборок было выявлено, что проективное покрытие бактериальной биопленки в 5 пробах превалировало с краю почвенного горизонта по сравнению с серединой (табл. 1). В 1 пробе (Д1 и Д1–2) проективное покрытие биопленки выше было в середине и в 2 пробах (А1 и А1–2, Е1б, Е1–2б) были получены одинаковые значения. Причем с краю наблюдался более быстрый рост биопленки резко увеличивающийся на втором дне экспозиции (рис. 1). Во всех пробах из крайних участков почвы численность КОЕ росла, тогда как в середине, как правило, падала по истечении четырех дней экспозиции. В пробах А1д и А1–2д, выявлена слабая тенденция к статистической значимости ( $p = 0.17$ ), а в пробе В1в и В1–2в статистически достоверная связь ( $p = 0.04$ ). Это обусловлено появлением на 3–4 сутках экспозиции в середине континуального почвенного субстрата со временем других организмов: грибов, других колоний бактерий отличающихся по цвету. Данная тенденция отмечена также в пробах Е1–2, В1, 1–2, В2–2. То есть в пробах из континуальной почвы росло разнообразие, тогда как с краю почвы — численность.

Численность грибов в пробах вдоль бордюров, бетонного столба и тополя (А1, В1, Е1, Д1) с краю всегда превалировала над численностью в середине (табл. 1). Причем во всех случаях площадь мицелия *Trichoderma sp.* с краю превышала площадь мицелия в середине в несколько раз. В остальных образцах (С, В2, Е1б) коло-

Таблица 1. Проективное покрытие (%) биопленки бактерий и мицелия грибов с краевых и континуальных участков почвы.

Искусственный субстрат	Группа организмов	Край	Середина
Металлический забор		B2	B2–2
	Бактериальная биопленка	95	45
Тополь бальзамический		A1	A1–2
	Мицелий	57	10
	Бактериальная биопленка	99	99
Бордюры		E1	E1–2
	Мицелий	75	4
	Бактериальная биопленка	84	78
Бордюры		D1	D1–2
	Мицелий	87	15
	Бактериальная биопленка	71	83
Бетонный столб		B1	B1–2
	Мицелий	67	0
	Бактериальная биопленка	98	67
Бетонный столб		C1	C1–2
	Бактериальная биопленка	83	72
Бетонный столб		B1в	B1–2в
	Бактериальная биопленка	45	29
Бетонный столб		E16	E1–26
	Бактериальная биопленка	96	96

нии грибов не прорастали. После образования органов спороношения было установлено, что грибы представлены также родами *Aspergillus sp.* и *Penicillium sp.* Число колоний *Aspergillus sp.* также было выше с края почвы: в E1–30 колоний, в E1–2–1 колония. В D1 и D1–2 число колоний *Penicillium sp.* также превалировало с края почвенного горизонта: 8 к 2 колониям соответственно.

Развитие водорослей выглядело следующим образом (рис. 1). Во всех пробах с края почвенного горизонта происходило более интенсивное и ускоренное развитие различных видов водорослей. Это наблюдалось, как в отношении стекол обрастания, так и воды с почвенной пробой (табл. 2). Пробы с края почвы всегда отличались более ярким цветом не только стекол обрастания, но самих пробирок, которые окрашивались уже во второй, третий день экспозиции. Наиболее интенсивным обрастанием отличались сине-зеленые водоросли, представленные преимущественно трихомными формами, а также зеленые и диатомовые водоросли (рис. 1). В первую неделю экспозиции в крайних пробах почвы было выше проективное покрытие и численность водорослей по сравнению с пробами из середины почвы. В средних участках почвы наблюдалось более высокое разнообразие и превалирование трихомных форм. Причем если трихомные, как правило, сине-зеленые (*Cyanophyta*) формы присутствовали у края одного почвенного горизонта, то в се-

редине того же почвенного горизонта помимо них присутствовали более крупные по размеру трихомные формы эукариотических водорослей (*Zygnematales* и *Ulotrichales*). Вторую неделю разнообразие водорослей из середины почвы снижалось, тогда как в крайних участках почвы, наоборот, увеличивалось (табл. 2). Вместе с тем численность водорослей из крайних участков почвы также была выше. К этому времени с края доминировали, как правило, сине-зеленые водоросли и трихомные эукариоты.

Развитие высших растений из континуальных и краевых участков почв характеризовалось следующими особенностями (табл. 3). В течении 5–7 дней увлажненной экспозиции помимо покрытосеменных растений в некоторых профилях развивались мхи, и на увлажненных участках почвы — водоросли. Численность побегов покрытосеменных растений была выше в континуальных участках почвы взятых в 30 см от искусственных субстратов. При этом толщина почвенных профилей взятых из срединных и краевых участков почвы была одинаковой. В одном из профилей наблюдалось значительное развитие мхов и зеленых водорослей. Мхи также были более обильны из участков почвы в отдалении искусственных преград, за исключением пробы взятой вдоль железного забора, где наблюдалось обратная тенденция. Данное явление может быть обусловлено спецификой субстрата, аккумулирующего влагу и возможно поставляющего данному таксону необходимые микро-

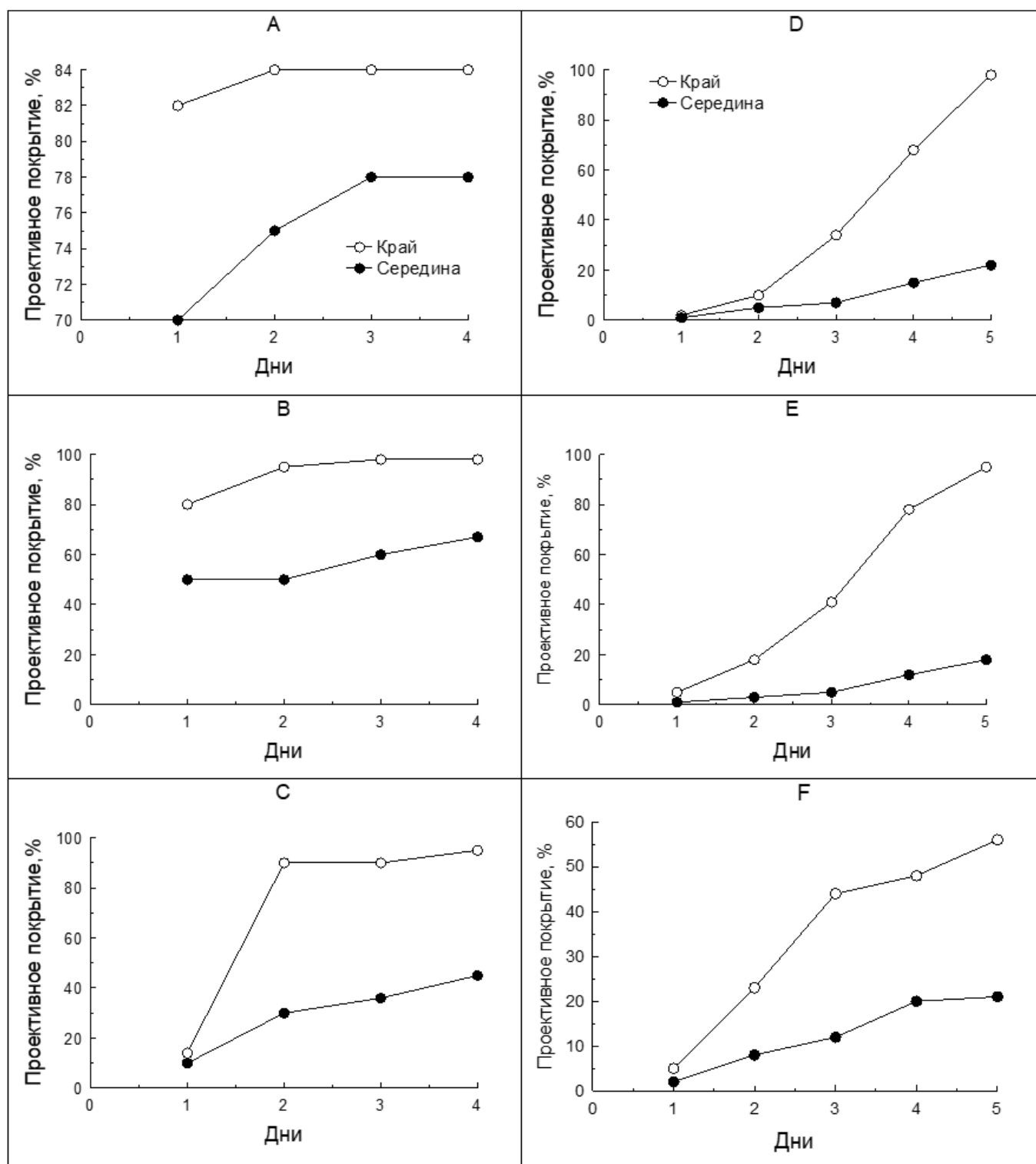


Рис. 1. Динамика проективного покрытия бактериальной биопленки на поверхности агара в экспозиции 4 дней: А — бордюры (Е1 и Е1-2); В — бордюры (В1 и В1-2); С — металлический столб (В2 и В2-2). Обрастания стекол из различных участков почвы: D — диатомовые (В1 и В1-2); Е — зеленые (Е1 и Е1-2), F — синезеленые (Д1 и Д1-2)

Таблица 2. Состав водорослей с краевых и континуальных участков почвы через 2 недели экспозиции (клеток/в поле зрения).

Группа организмов	Край	Середина
	В2	В2-2
	Стекло	
<i>Chlorophyta</i> (колонии)	30	40
Diatomeae	3	-
Euglenoidea	1	-
<i>Zygnematales</i> (трихомные)	4	1
	Почва	
<i>Chlorophyta</i> (колонии)	40	30
Diatomeae	-	4
<i>Zygnematales</i> (нитчатые)	-	1
Итого:	78	76
	A1	A1-2
	Стекло	
<i>Cyanophyta</i> (трихомные)	2	-
<i>Chlorophyta</i> (колонии)	4	15
<i>Chlorophyta</i> (одноклеточные)	10	-
<i>Zygnematales</i> (трихомные)	5	3
<i>Ulotrichales</i> (трихомные)	4	-
Итого:	25	24
	E1	E1-2
	Стекло	
Cyanophyta	9	-
Chlorophyta	16	7
Euglenoidea	1	-
<i>Zygnematales</i> (трихомные)	3	-
	Почва	
Cyanophyta	22	20
Chlorophyta	6	-
Diatomeae	6	20
Euglenoidea	5	-
<i>Zygnematales</i> (трихомные)	3	-
Итого:	71	27
	D1	D1-2
	Стекло	
Cyanophyta	63	2
Chlorophyta	2	2
Euglenoidea	4	-
<i>Zygnematales</i> (трихомные)	3	-
Итого:	72	4

и макроэлементы. На почвенном профиле контактирующим с деревом развитие растений не наблюдалось, тогда как на удалении 30 см отмечены всходы мха и покрытосеменного растения. Данное явление может объясняться биохимическими эффектами в пределах фитогенного поля подавляющими развитие других видов [9].

Посев на отдельные почвенные профили полевицы побегоносной (*Agrostis stolonifera*) дал следующие ре-

зультаты (табл. 3). На почве вдоль всех субстратов искусственного и естественного происхождения число всходов полевицы было значительно выше, чем в отдалении от этих субстратов. В некоторых случаях число побегов вдоль субстратов превалировало в несколько раз. Причиной, вероятно, являлась относительно низкая доля пула аборигенного комплекса растений входящих в органоминеральный комплекс почвы граничащий с вертикальным субстратом, что было выявлено

Таблица 3. Всхожесть искусственно посаженной полевицы побегоносной (*Agrostis stolonifera*) и аборигенной флоры.

Вид растения	Край	Середина
	<b>Тополь бальзамический А</b>	
Полевица побегоносная*	32	17
Покрытосеменные.	0	1
Мхи.	0	3
	<b>Бетонный столб С</b>	
Полевица побегоносная*	82	75
Покрытосеменные.	1	1
Мхи.	1	20
Водоросли	0	15
	<b>Металлический забор В2</b>	
Полевица побегоносная*	52	37
Мхи.	6	0
	<b>Бордюр Д</b>	
Полевица побегоносная*	53	38
Покрытосеменные.	1	4
	<b>Бордюр Е</b>	
Полевица побегоносная*	61	0
Покрытосеменные.	0	3

Примечание: \* — растение посажено искусственно на отдельные, контрольные участки почвенного разреза без аборигенных растений.

Таблица 4. Химические показатели почв из краевых и континуальных участков (мг/л). В числителе — край почвы, в знаменателе — середина.

Элемент, соединение	С	Е	А	В1	В2	Д	Е6
NH <sub>4</sub>	2.68	3.12	9.77	3.49	2.16	1.25	5.59
	4.22	4.21	3.59	0.62	2.8	1.28	1.73
К	13.59	45.38	81.18	57.92	26.21	13.74	42.38
	15.4	62.07	21.7	18.15	23.52	26.82	28.69
Na	49.77	33.41	57.76	54.89	29.01	68.79	70.74
	37.3	27.35	26.54	7.59	34.79	40.48	22.83
Mg	2.04	5.26	12.74	24.76	9.38	7.46	16.13
	9.9	4.04	12.5	6.71	10.23	9.3	10.45
Ca	8.55	25.89	58.96	126.9	43.65	40.92	61.18
	33.0	18.79	69.16	35.51	49.87	47.41	61.28
Cl	44.07	46.05	7.05	37.38	22.3	13.64	54
	98.68	67.13	7.32	4.76	31.82	50.88	7.76
SO <sub>4</sub>	62.35	54.14	11.64	13.33	20.79	9.04	69.53
	56.14	60.24	9.44	11.43	53.33	47.48	35.02
NO <sub>3</sub>	70.91	83.31	24.57	429.3	49.56	23.38	187
	22.7	38.72	37.78	27.1	28.5	37.24	145
F	1.91	1.97	0.13	2.98	0.24	0.06	—
	1.26	0.32	0.08	0.84	2.28	0.15	0.34
PO <sub>4</sub>	0.35	8.88	6.25	68.91	23.18	1.12	70.5
	—	15.66	0.18	0.77	7.88	1.87	20.2

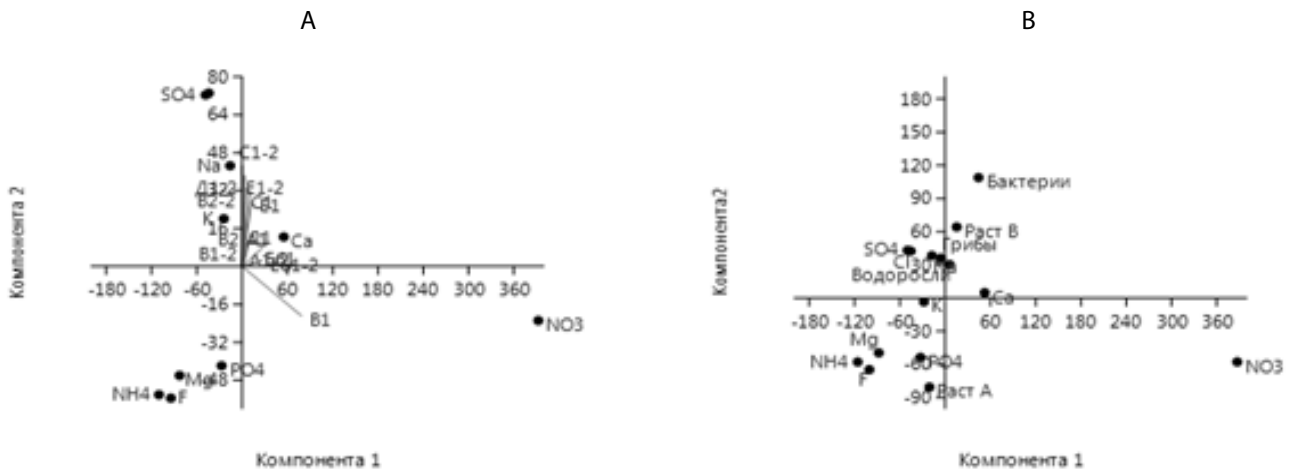


Рис. 2. Распределение в многомерном пространстве главных компонент различных почвенных профилей, химических соединений и биоты. А — химический состав и точки отбора проб. В — химический состав и биота: Раст. А — растения аборигены, Раст. В — растения вселенцы.

в предыдущем эксперименте. По высшим растениям была получена тенденция к статистически значимой обратной зависимости ( $p=0,083$ ) увеличения всходов вновь посаженного растения с уменьшением доли аборигенных видов.

Химический анализ почв граничащих с субстратом и в отдалении него показал следующие результаты (табл. 4). Натрий доминировал на крайних участках почвы граничащих с искусственными субстратами, тогда как калий, магний и кальций колебались в зависимости от почвенного профиля. Концентрации хлора также были выше в середине почвы. Распределение соединений азота выглядело следующим образом. Аммоний превалировал в отдалении искусственных субстратов, тогда как нитраты, наоборот, преобладали с края почвы. Фосфаты также преобладали с края почвы. Таким образом, в крайних участках почвы были выявлены окислительные условия обусловленные аэрофильными режимом. При этом в отношении pH не было выявлено существенных отличий в крайних участках почвы и континуальных.

В многомерном пространстве главных компонент химические соединения образовали три группы: в первую вошли такие элементы, как натрий, калий, хлор, кальций и сульфаты (рис. 2). Во вторую группу вошли аммоний, фтор, магний и фосфаты. Третью группу составляли нитраты. Почвенные профили занимали среднее положение между тремя группами, где участки почвы из середины тяготеют к первой группе элементов, а участки с краев почвы к двум другим группам. Биота распределилась следующим образом. Бактерии, грибы, водоросли и растения вселенцы образовали тренд рас-

положенный между элементами первой группы и нитратами. А растения аборигены распределились в группе с аммонием, фтором, магнием и фосфатами.

### Заключение

Более высокая численность микроорганизмов, их более интенсивное развитие на краях почвенного горизонта обусловлено тем, что в полостях между почвой и искусственным субстратом накапливается большое количество спор, отдельных клеток и колоний бактерий, грибов и водорослей с различными экологическими стратегиями и высоким таксономическим разнообразием. Так, как условия на краях вертикальных разрезов почв более нестабильны доминирующее значение получают виды с r-стратегией. В континуальном слое почвы, в отдалении искусственных барьеров доминируют трихомные формы водорослей, которые вместе с высшими растениями способствуют связыванию почвенного профиля. В период высыхания органоминерального почвенного комплекса в полость между искусственным субстратом и почвой посредством ветра сдуваются и накапливаются споры и отдельные клетки организмов. Аналогичный процесс может происходить при вымывании пула микроорганизмов в щели между почвой и искусственным субстратом. В отношении бактериальной и микологической обсемененности краевых участков почвы следует уделить внимание санитарно-гигиеническим аспектам.

Условия среды в краевых участках почвы способствуют всплескам численности и более интенсивному росту различных организмов, как находящихся в самой почве, так и случайно туда мигрирующих. Причем это наблюдается не только в отношении микроорганизмов,

но и высших растений. Это выявлено не только в ходе наших экспериментов, но известно в отношении краевого эффекта проявляющегося в более раннем развитии растений находящихся на краях почвы граничащей с теми или иными барьерами. Микроэлементный состав, преобладание фосфатов, нитратов способствует

более интенсивному развитию биоты на краях почвенных профилей. Таким образом, краевые участки почвы отличаются повышенной продукцией микробиоты по сравнению с континуальными, тогда как континуальные характеризуются более сложной структурой и замедленным функционированием.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьев А.А., Кривошеин Ю.С., Ширококов В.П. Медицинская и санитарная микробиология: учебное пособие для студентов высш. мед. учебн. заведений. — М: Издательский центр «Академия», 2003. — 464 с.
2. Голубцова О.С., Шилина А.Ю. Физико-химические особенности почв техногенных экотонов при их послепожарном восстановлении в среднем приобье // Культура, наука, образование: проблемы и перспективы. Мат-лы V международной научно-практической конференции, Нижневартовск, 09–10 февраля 2016 г. — 2016. — С. 10–13.
3. Зенова Г.М., Кураков А.В. Методы определения структуры комплексов почвенных актиномицетов и грибов. — М.: Изд-во МГУ, 1988. — 54 с.
4. Зенова Г.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли: учебное пособие. — М.: Изд-во МГУ, 1990. — 80 с.
5. Кашкин П.Н., Елинков К.П., Безбородов А.М., Цыганов В.А. Антибиотики. — Л. Медицина. Ленинградское отделение, 1970. — 375 с.
6. Корляков К.А., Нохрин Д.Ю., Арсентьева Н.Ю. Влияние неровностей рельефа стекол на формирование сообществ и монокультур обрастаний // Биология внутренних вод. — 2015. — № 1. — С. 96–104.
7. Корляков К.А. Предварительные результаты исследования экотонов урбаноземов методом культивирования пула биоты из вертикальных профилей // Актуальные вопросы современного естествознания Южного Урала: материалы III Всерос. науч.-практ. конф., 21 декабря 2018. — Челябинск: Изд-во Челяб. гос. ун-та, 2018. — С. 35–40.
8. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов. — М.: Наука, 1989. — 285 с.
9. Крышень А.М. К методике изучения фитогенных полей деревьев // Ботанический журнал. — 1998. — Т. 83, № 10. — С. 133–142.
10. Нетрусов А.И., Котова И.Б. Микробиология. — М: Издательский центр «Академия», 2006. — 352 с.
11. Sokal R.R., Rohlf F.J. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. — N.-Y.: Freeman & Co, 1995. — 850 p.
12. Yoshioka K. KyPlot — a user-oriented tool for statistical data analysis and visualization // Computational Statistics. — 2002. V. 17, № 3. — P. 425–437.

© Корляков Константин Александрович ( korfish@mail.ru ),

Маркова Лада Михайловна, Гашев Сергей Николаевич.

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»