**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

**МИКРООРГАНИЗМЫ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ, ДЕГРАДИРУЮЩИЕ НЕФТЬ И ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИЕ АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ**

**© 2021 г. Н. А. Манучароваа, \*, М. А. Большаковаа, Т. Л. Бабичb, Т. П. Туроваb, Е. М.**

**Семеноваb, А. С. Яновича, А. Б. Полтараусc**, **А. Л. Степанова, Т. Н. Назинаb**

*aМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия bИнститут микробиологии им. С.Н. Виноградского, ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия*

*cИнститут молекулярной биологии им. В.А. Энгельгардта РАН, Москва, Россия*

\*e-[mail: manucharova@mail.ru](mailto:manucharova@mail.ru)

**Таблица S1.** Характеристика используемой нефти (Геология и разработка…, 1996)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Месторождение** | **Плотность нефти, г/см³ при 20°С** | **Содержание, %** | | | | **Фракция, выкипающая до 200°С** | **Групповой состав** | | |
| **Сера** | **Смолы** | **Асфальтены** | **Твердые парафины** | **Метановые** | **Нафтеновые** | **Ароматические** |
| Ромашкинское, Волго-  Уральский НГБ | 0.892 | 1.8 | 17.1 | 5.0 | 5.3 | 8 | 32 | 58 | 10 |
| Хыльчуюское, Тимано-  Печорский НГБ | 0.843 | 0.4 | 5.2 | 0.3 | 2.0 | 23 | 48 | 41 | 11 |

**Таблица S2.** Использование нефтепродуктов, индивидуальных углеводородов и

полициклических ароматических углеводородов микроорганизмами почв

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Субстрат** | **Образцы почв** | | | | |
| S4 | S5 | S6 | S420 | S417 |
| Нафталин | ‒ | + | + | + | + |
| Фенантрен | +/‒ | + | + | + | + |
| Бифенил | ‒ | + | + | + | + |
| Флуорен | ‒ | + | + | + | + |
| Аценафтен | ‒ | + | + | + | + |
| Пирен | ‒ | + | + | + | + |
| *н*-Алканы | + | + | + | + | + |
| Минеральное масло | + | + | + | + | + |
| Трансформаторное масло | + | + | + | + | + |
| Моторное масло | + | + | + | + | + |
| Компрессорное масло | + | + | + | + | + |
| Турбинное масло | + | + | + | + | + |
| Контроль | ‒ | ‒ | ‒ | ‒ | ‒ |

**Таблица S3.** Содержание ПАУ в жидкой среде после 14 сут инкубации накопительных

культур в стационарных условиях (вес. %)

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Проба почвы** | **Нафталин** | **Бифенил** | **Фенантрен** | **Пирен** | **Аценафтен** | **Флуорен** |
| S5 | 0 | 0 | 0.028 | 0.01 | 0.04 | 0.031 |
| S6 | 0 | 0 | 0.025 | 0.006 | 0.04 | 0.025 |
| S420 | 0 | 0 | 0.015 | 0.014 | 0.04 | 0.023 |
| S417 | 0 | 0 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.025 |

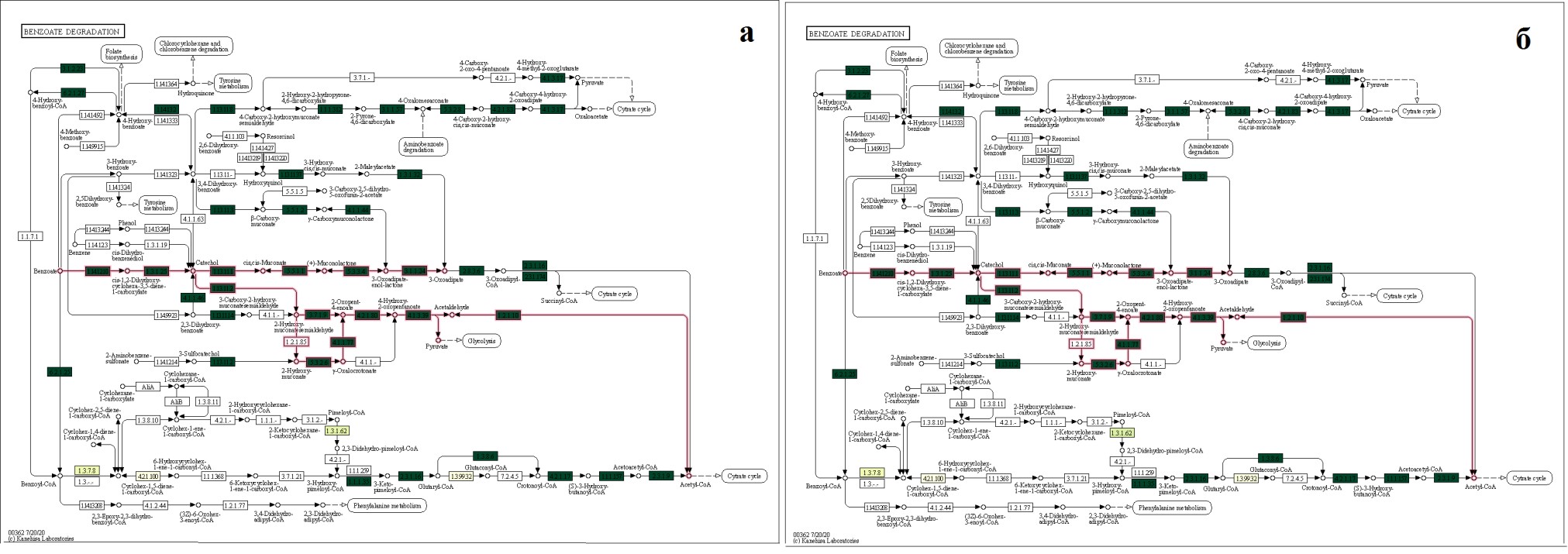
Начальная концентрация ароматических соединений и ПАУ в среде 0.05 вес. %.

**Таблица S4.** Органические субстраты, используемые углеводородокисляющими

бактериями *Stenotrophomonas* spp. ФП1в и П420в\*

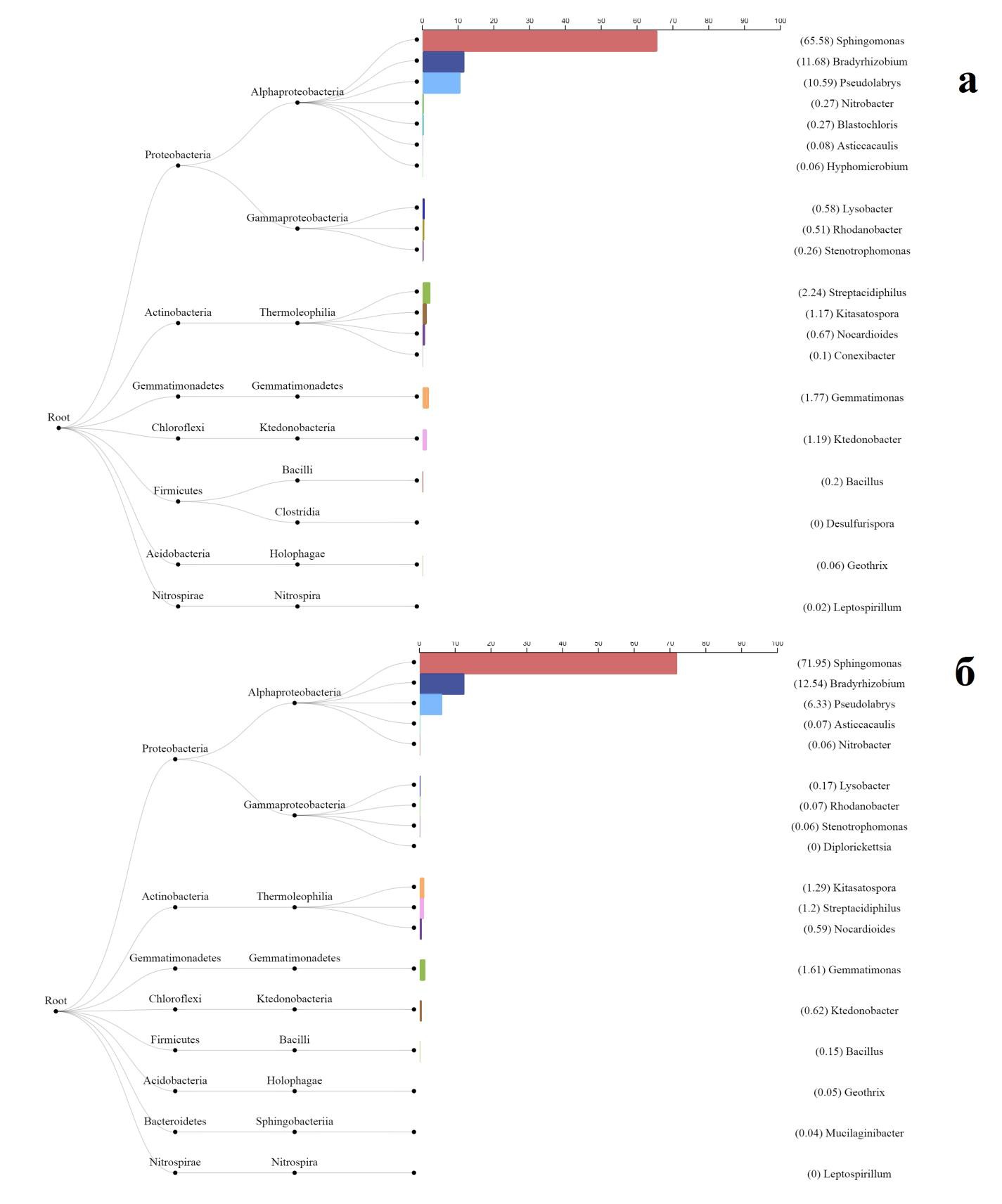
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Субстрат** | **Штамм**  **ФП1в** | **Штамм**  **П420в** |
| Глюкоза, фруктоза, мальтоза, рамноза, галактоза, сахароза,  дрожжевой экстракт, ацетат, пропионат, фумарат, малат, пептон, ундекан, тетрадекан, пирен, фенантрен | + | + |
| Лактоза | ‒ | + |
| Манит, рибоза, лактат, сукцинат | + | ‒ |
| Формиат, бензол, толуол | ‒ | ‒ |
| Бутират | + | +/‒ |
| Нафталин | +/‒ | + |

\*, “+” ‒ наличие роста, ”‒“ ‒ отсутствие роста, “+/‒“ ‒ слабый рост.

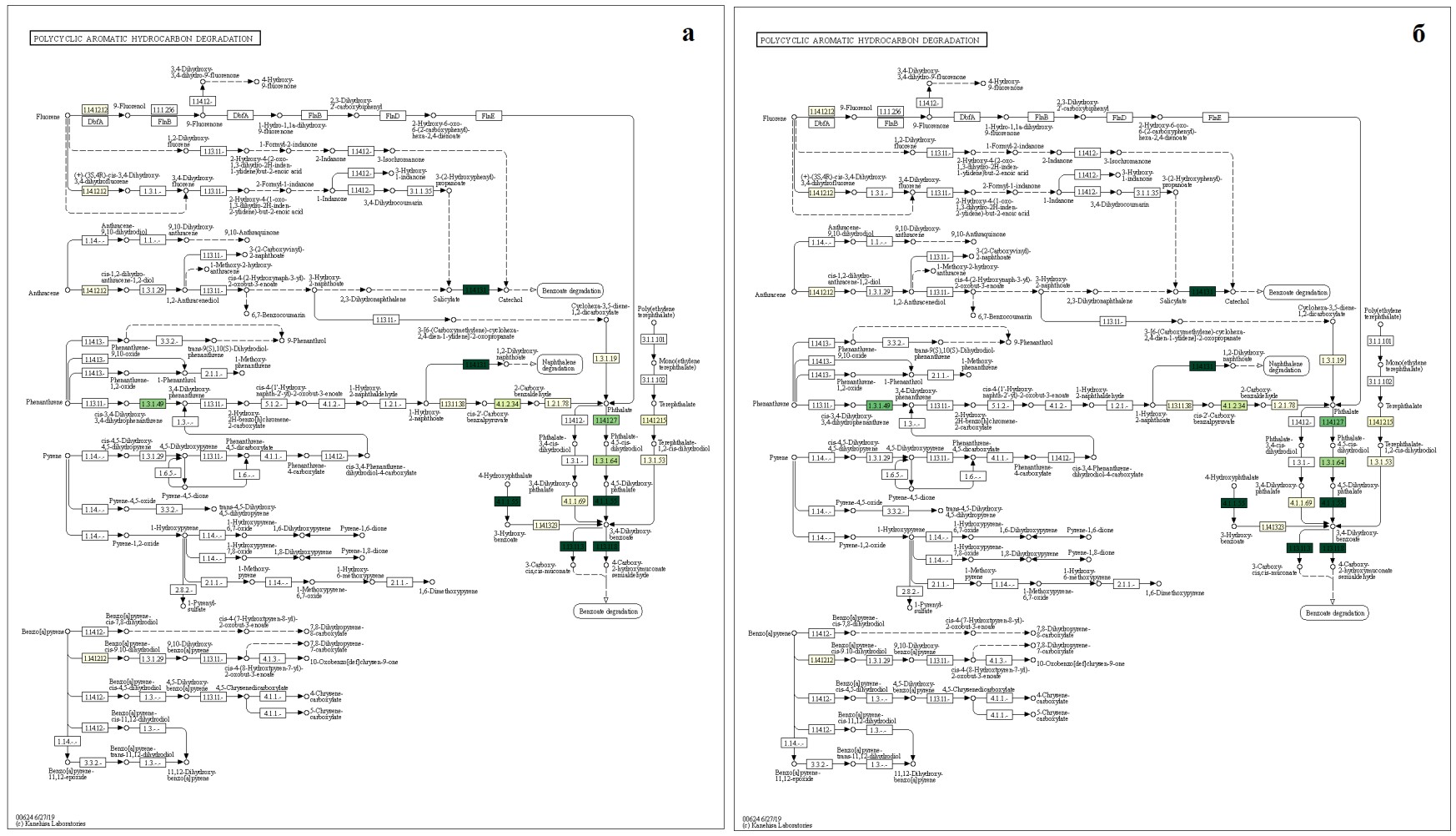


**Рис. S1.** Прогнозируемый профиль ферментов пути “Деградация бензоата” в сообществах загрязненной углеводородами S1 (а) и незагрязненной S2 (б) дерново-подзолистой почвы. Графики S1, S3, S5, S7, S9 и S11 построены с помощью модуля KEGG Color mapper ([http://www.genome.jp/kegg/tool/map\_pathway3.html](http://www.genome.jp/kegg/tool/map_pathway3.html))) на основании информации о составе микробных сообществ файлов, используя файлы

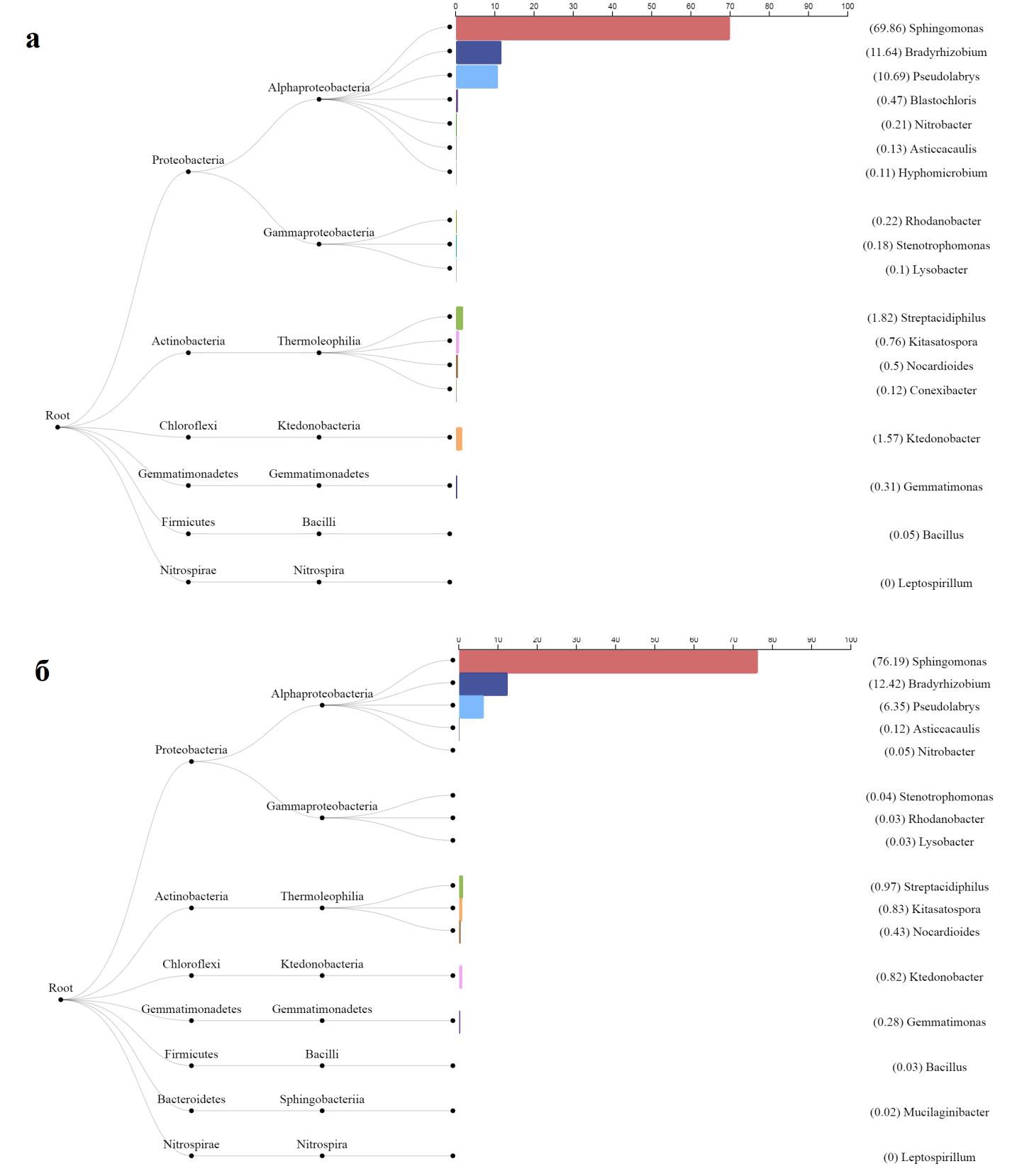
цветового отображения, созданные локальным модулем Mapper iVikodak. Интенсивность цвета указывает на среднюю долю гена (фермента), присутствующего у выявленных компонентов сообществ.



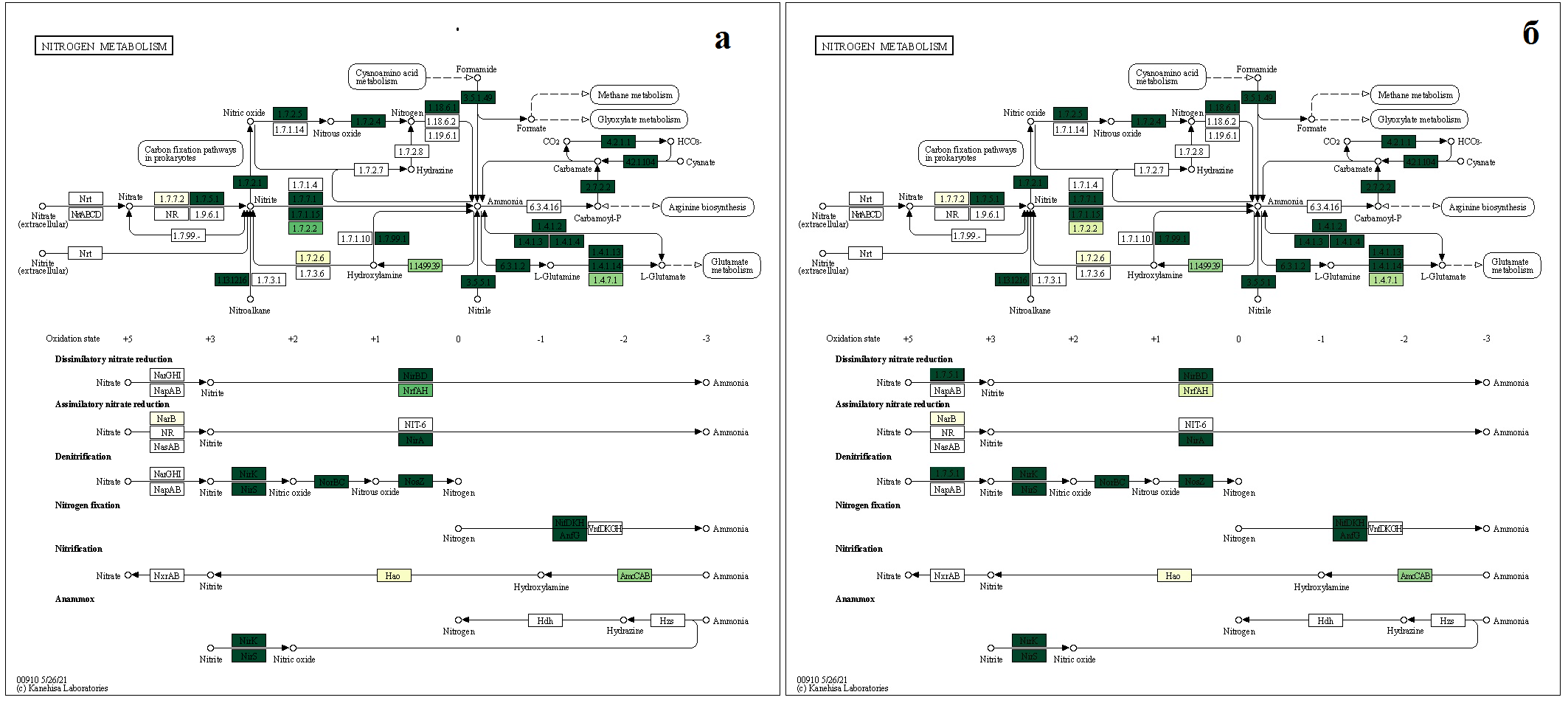
**Рис. S2.** Дендрограммы, показывающие ключевые микроорганизмы и их филогенетические линии, участвующие в пути “Деградация бензоата” в микробных сообществах загрязненной углеводородами S1 (а) и незагрязненной S2 (б) дерново- подзолистой почвы.



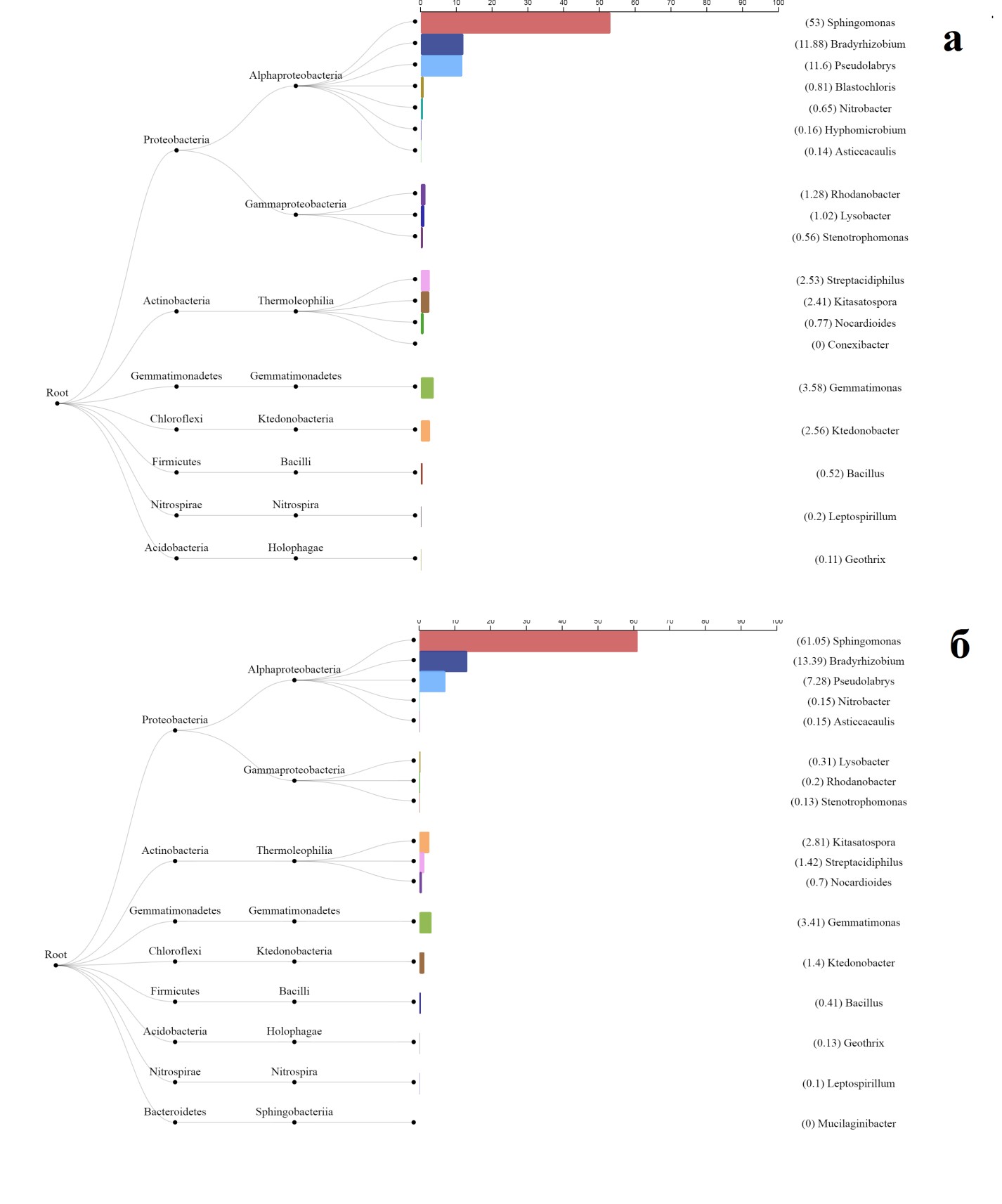
**Рис. S3.** Прогнозируемый профиль ферментов пути “Деградация полициклических ароматических углеводородов” в сообществах загрязненной углеводородами S1 (а) и незагрязненной S2 (б) дерново-подзолистой почвы.



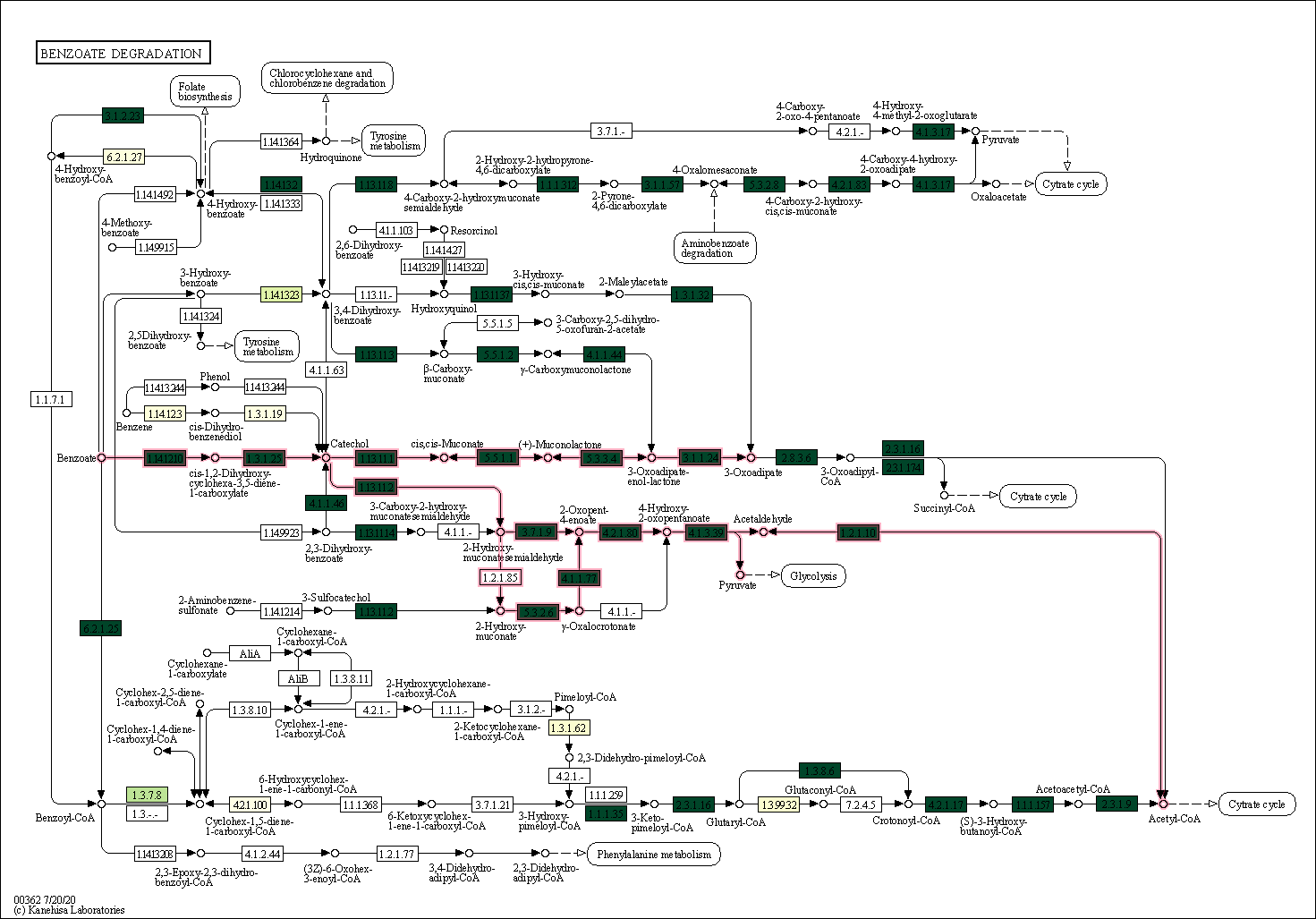
**Рис. S4.** Дендрограммы, показывающие ключевые микроорганизмы и их филогенетические линии, участвующие в пути “Деградация полициклических ароматических углеводородов” в микробных сообществах загрязненной углеводородами S1 (а) и незагрязненной S2 (б) дерново-подзолистой почвы.



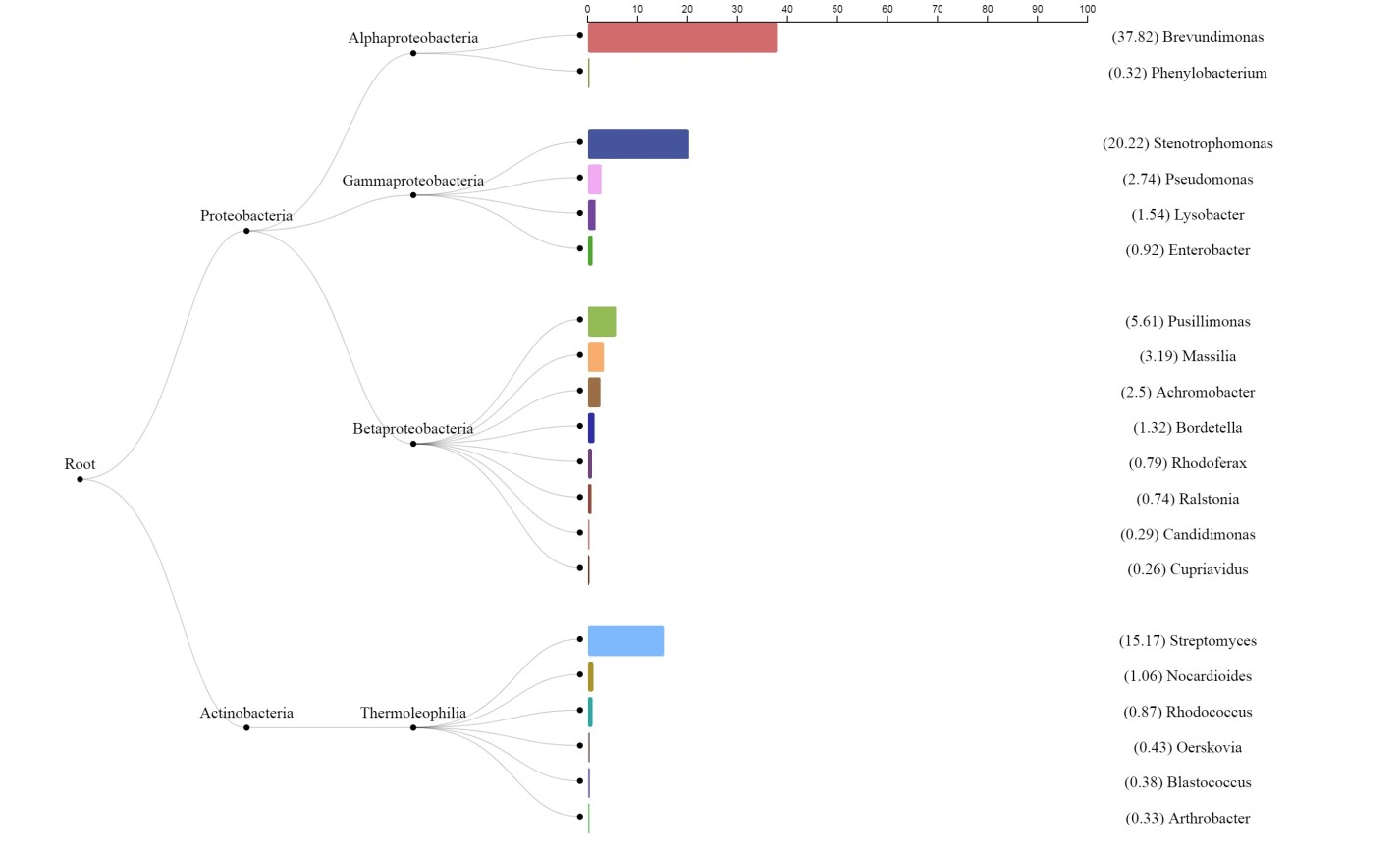
**Рис. S5.** Прогнозируемый профиль ферментов пути “Метаболизм азота” в сообществах загрязненной углеводородами S1 (а) и незагрязненной S2 (б) дерново-подзолистой почвы.



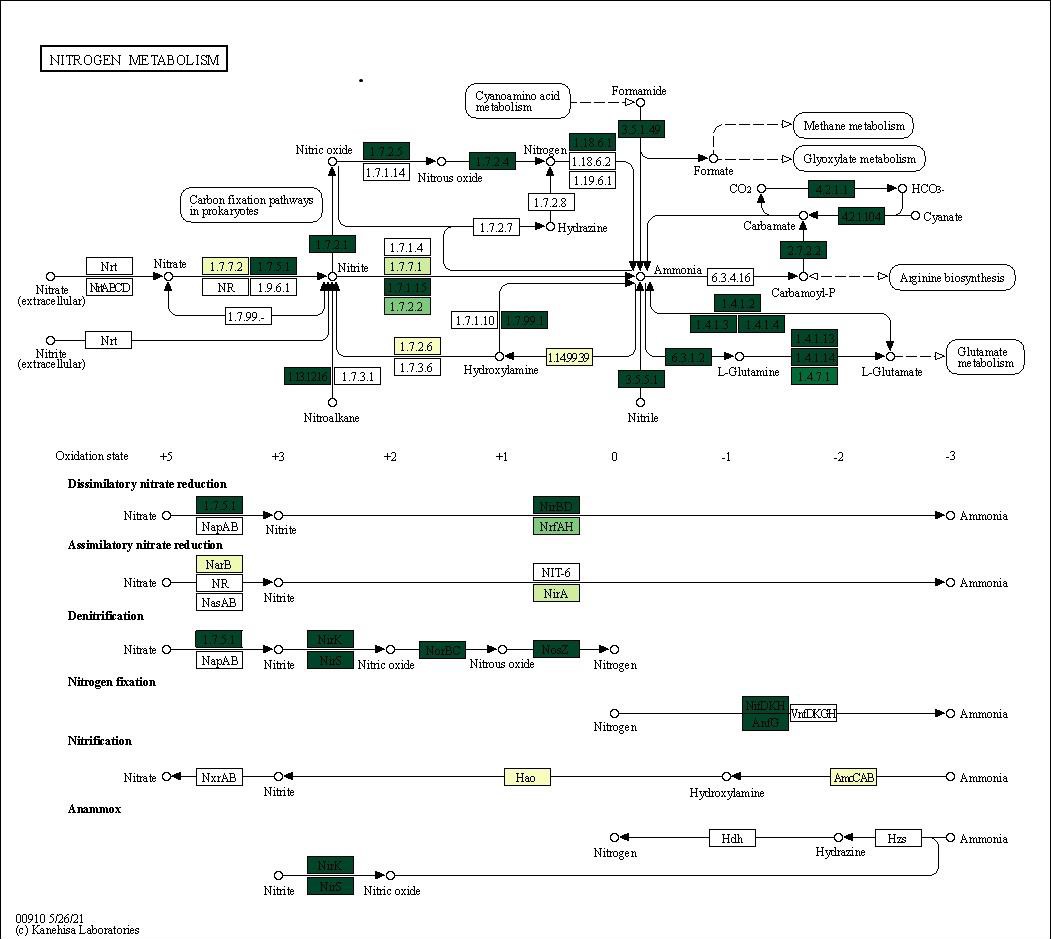
**Рис. S6.** Дендрограммы, показывающие ключевые микроорганизмы и их филогенетические линии, участвующие в пути “Метаболизм азота” в микробных сообществах загрязненной углеводородами S1 (а) и незагрязненной S2 (б) дерново- подзолистой почвы.



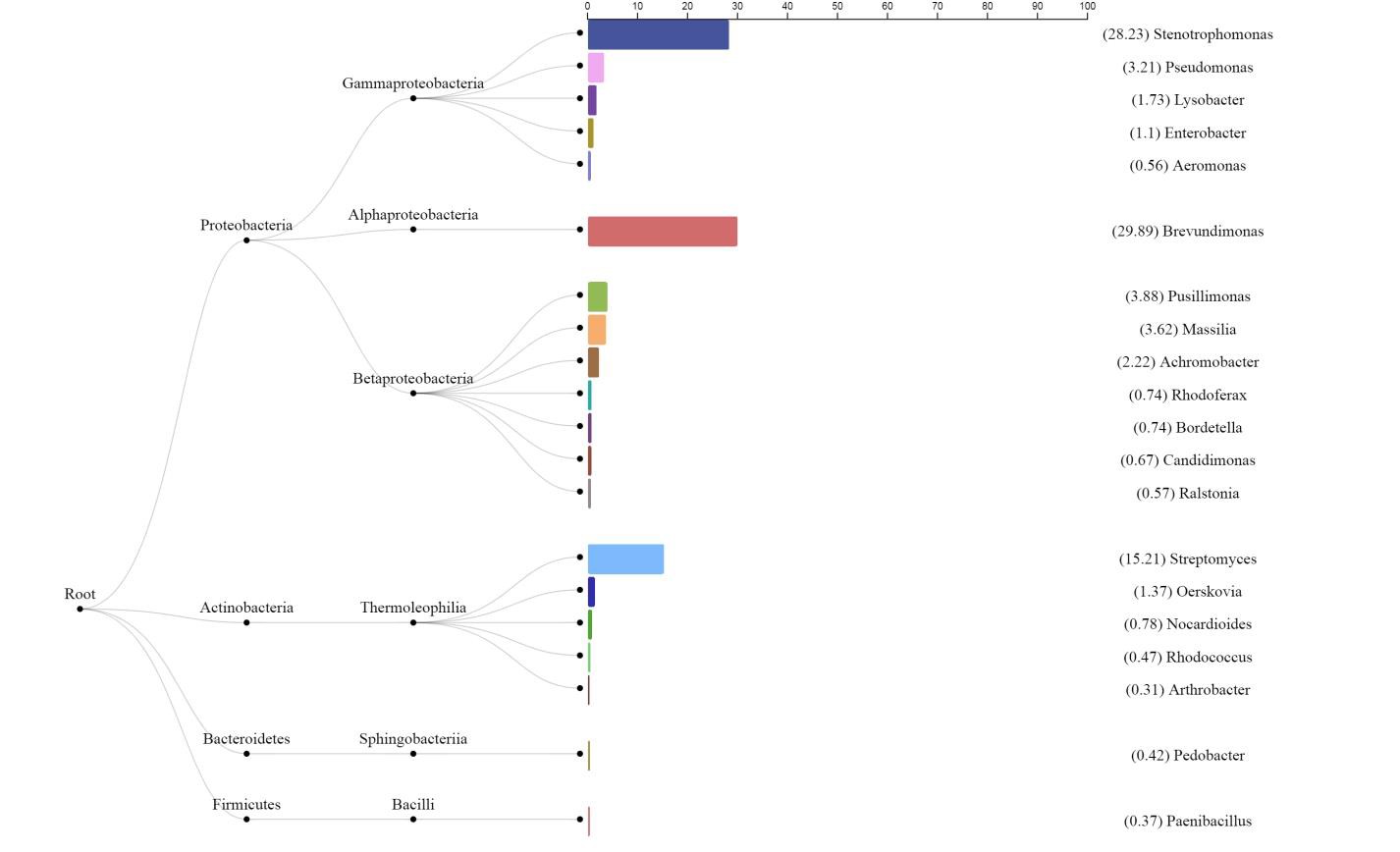
**Рис. S7.** Прогнозируемый профиль ферментов пути “Деградация бензоата” в микробном сообществе урбостратозема (S3).



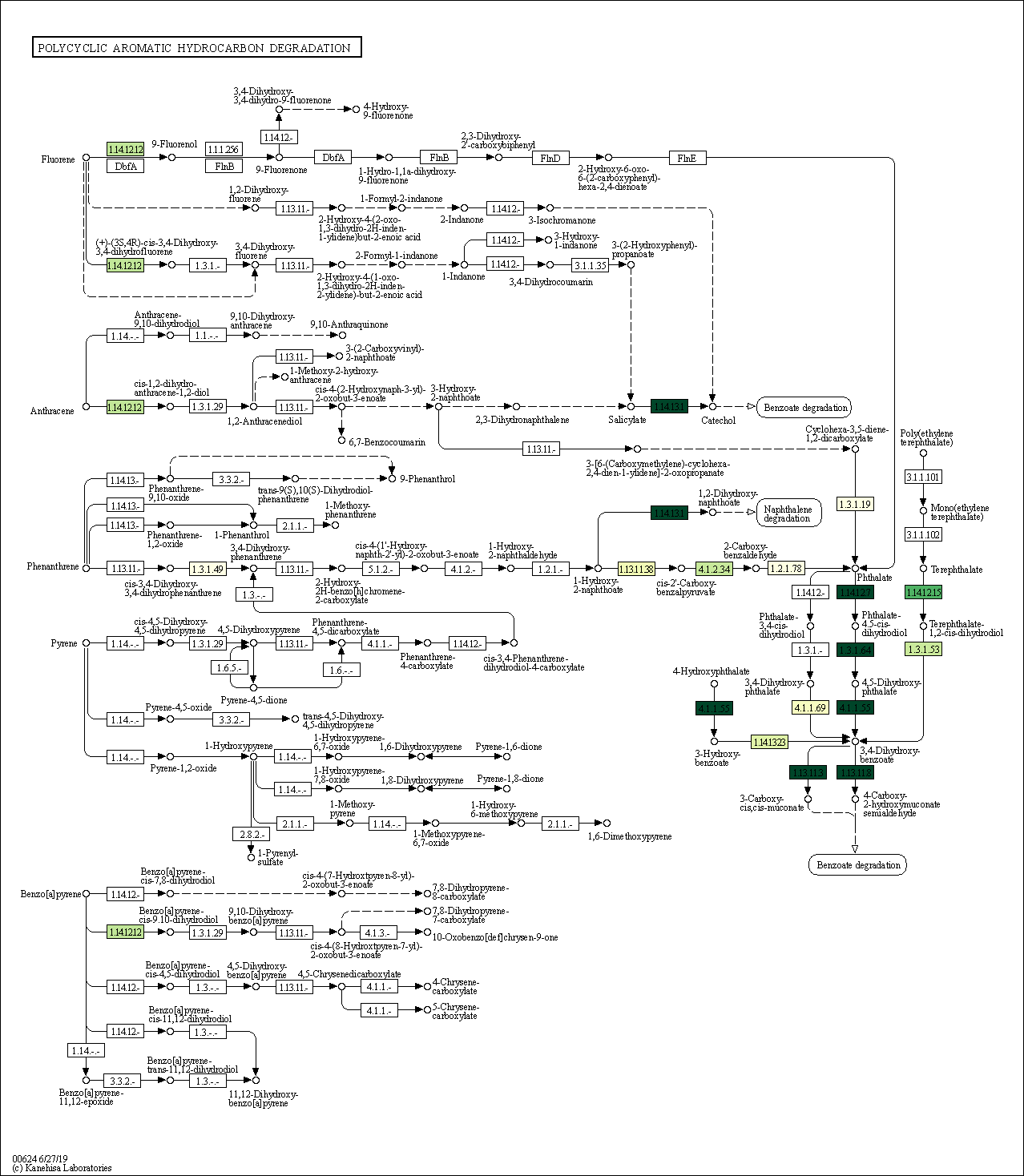
**Рис. S8.** Дендрограмма, показывающая ключевые микроорганизмы и их филогенетические линии, участвующие в пути “Деградация бензоата” в микробном сообществе урбостратозема (S3).



**Рис. S9.** Прогнозируемый профиль ферментов пути “Метаболизм азота” в микробном сообществе урбостратозема (S3).

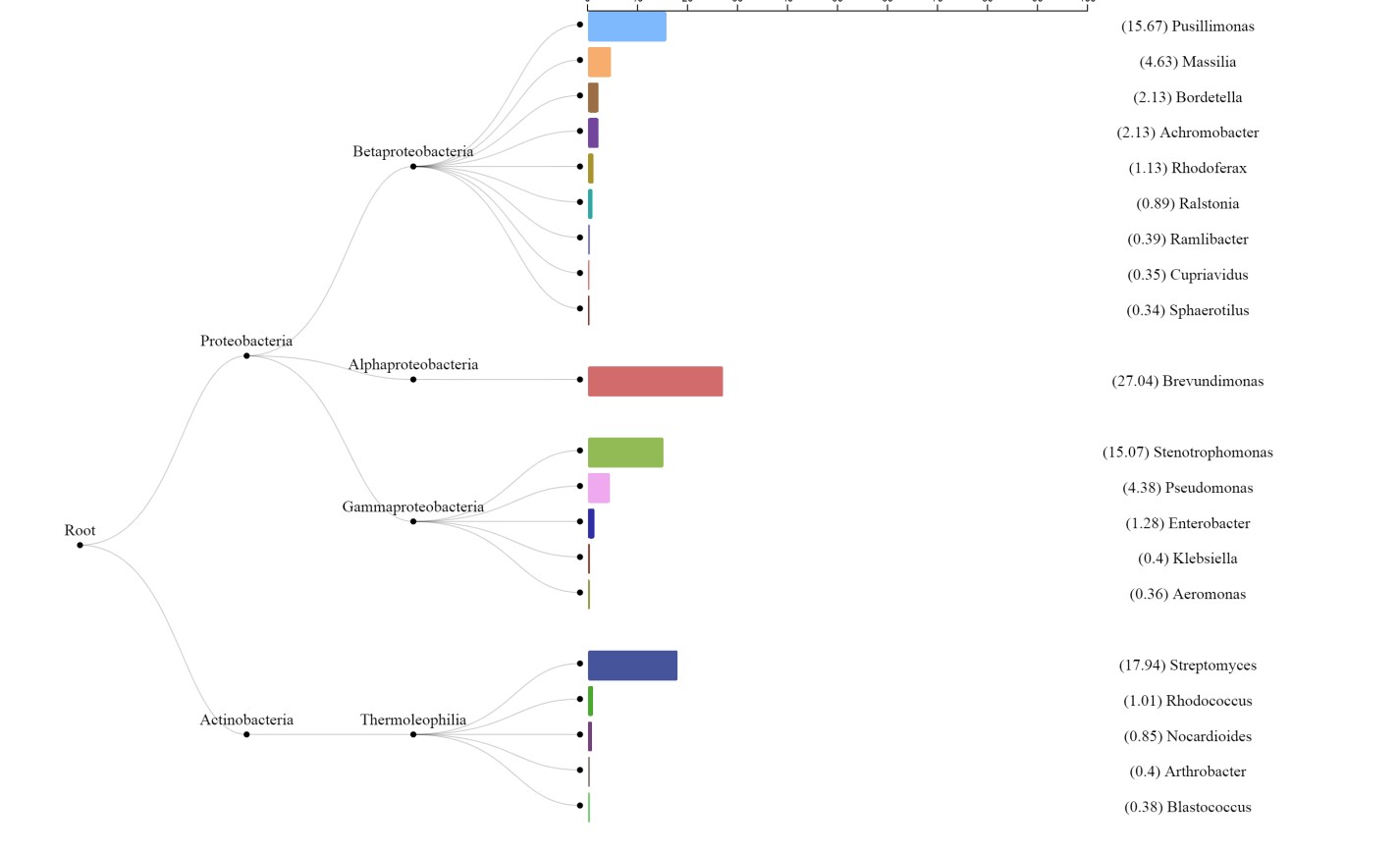


**Рис. S10.** Дендрограмма, показывающая ключевые микроорганизмы и их филогенетические линии, участвующие в пути “Метаболизм азота” в микробном сообществе урбостратозема (S3).



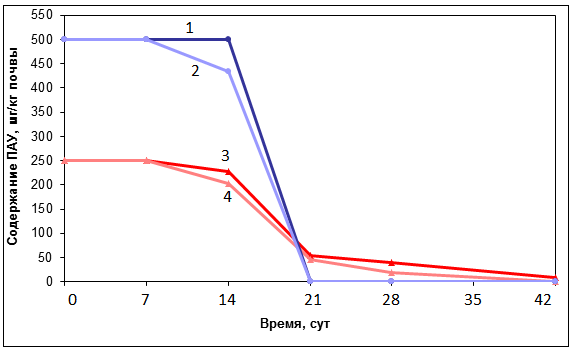
**Рис. S11.** Прогнозируемый профиль ферментов пути “Деградация полициклических ароматических углеводородов” в микробном сообществе урбостратозема (S3).

.



**Рис. S12.** Дендрограмма, показывающая ключевые микроорганизмы и их филогенетические линии, участвующие в пути “Деградация полициклических ароматических углеводородов” в микробном сообществе урбостратозема (S3).

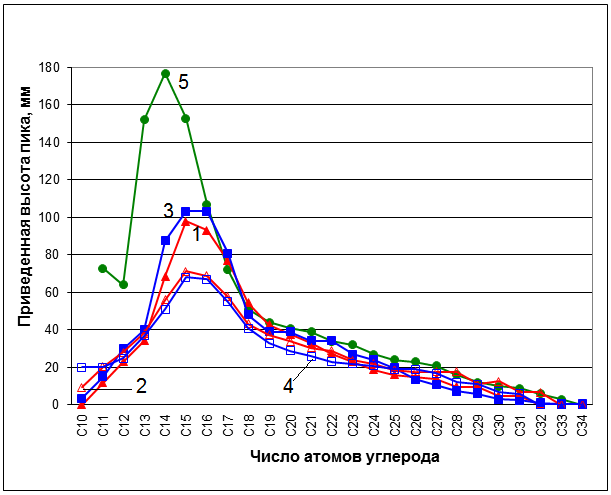
**  
Рис. S13.** Остаточная концентрация бифенила (а), фенантрена (б) и пирена (в) в жидкой среде после инкубации чистых культур, выделенных из образцов загрязненных почв S420 и S417.



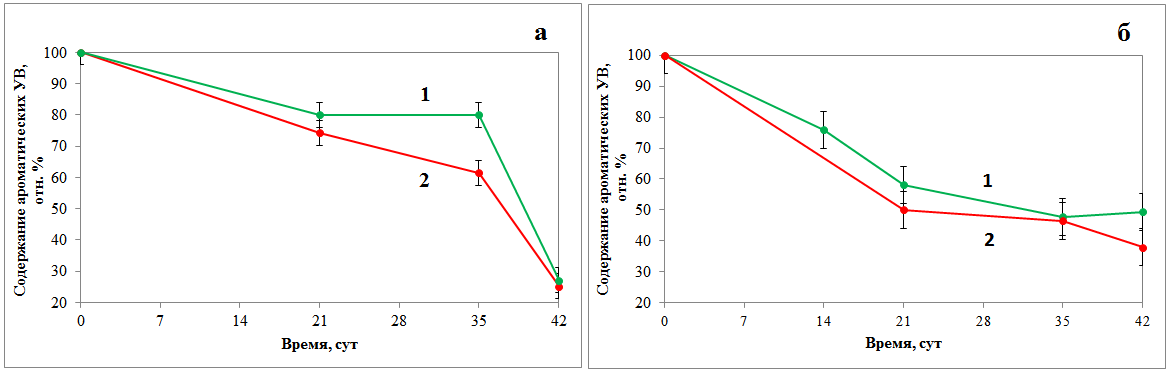
**Рис. S14.** Изменение содержания ПАУ в дерново-подзолистой почве под воздействием микроорганизмов. Обозначения: 1 – потребление фенантрена автохтонным почвенным

сообществом; 2 – потребление фенантрена почвенным сообществом, обогащенным

штаммом *S. maltophilia* П420в; 3 – потребление пирена автохтонным почвенным сообществом; 2 – потребление пирена почвенным сообществом, обогащенным штаммом *S. maltophilia* П420в.



**Рис. S15.** Содержание *н*-алканов в нафтено-метановой нефти, деградированной почвенным микробным сообществом, через 21 сут (1) и 42 сут (2) инкубации, а также при биоаугментации почвы штаммом *S. maltophilia* П420в через 21 сут (3) и 42 сут (4) инкубации в сравнении с контрольной стерильной нефтью (5).



**Рис. S16.** Содержание ароматических углеводородов в нафтено-метановой нефти (а) и метано-нафтеновой нефти (б), деградированной почвенным микробным сообществом (1), а также почвенным сообществом, обогащенным штаммом *S. maltophilia* П420в (2).