

* ТЕХНОЛОГИИ
ФИТОРЕМЕДИАЦИИ
ТЕХНОГЕННО
ПОВРЕЖДЕННЫХ
ТЕРРИТОРИЙ



*Щур Александр Васильевич, кандидат с.-
х. наук, доцент*

Белорусско-Российский университет

*Александронец Алексей Александрович ,
магистрант, инженер ¹*

Фиторемедиация (фитобиоремедиация) представляет собой использование растений и ассоциированных с ними микроорганизмов для очистки окружающей среды. В этой технологии используются природные процессы, с помощью которых растения и почвенные микроорганизмы разрушают и накапливают различные загрязнители.

Фиторемедиация является высокоэффективной технологией очистки от ряда органических и неорганических загрязнителей.

- * Как показала мировая практика использования микробиологического препарата «Байкал ЭМ-1», данный препарат весьма эффективен для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, снижения уровня их заболеваемости, и, в некоторой степени, для повышения качественных характеристик получаемой продукции.**
- * Регулятор роста растений «Гидрогумат» – препарат из торфа, состоящий из гуминовых и гуминоподобных кислот (70-80%), биологически активных низкомолекулярных карболовых кислот (15-20%), аминокислот (4-5%).**
- * Регулятор роста растений «Экосил» содержит биологически активные тритерпеновые кислоты. Эти препараты безвредны для человека, животных, водной фауны и полезных насекомых.**

- Наиболее серьезными характеристиками изменяющихся процессов в микробных сообществах являются изменения численности (пула), биомассы и их видового состава.
- В таблице 1 представлены результаты изучения общей численности и биомассы бактериальных клеток в гумусово-аккумулятивном (A_1) и оподзоленном (A_2B) горизонтах почвы экспериментального участка.
- Максимальный пул микроорганизмов в гумусово-аккумулятивном горизонте отмечен в варианте, с обработкой вегетирующих растений микробиологическим препаратом «Байкал ЭМ-1». Обработка им имеет самый значительный вклад в рост количества бактериальных клеток (на 118,3% по сравнению с контролем) и их биомассы (на 98,7% по сравнению с контролем) в почве опытного участка.
- При сравнении эффектов влияния исследуемых препаратов на численность и биомассу прикорневой микробиоты, следует отметить, что применение «Гидрогумата» не содействует достоверным ее изменениям.
- В то же время применение «Экосила» привело к росту численности бактериальных клеток по сравнению с контролем на 26,0%, а биомассы – на 24,4% за счет процессов стимулирования роста и развития организмов.

Таблица 1 – Общая численность ($\times 10^9$ кл/г почвы) и биомасса (мг/г) бактериальных клеток в почве опытного участка

<i>№ варианта</i>	<i>Вариант опыта</i>	<i>Горизонт</i>	<i>Численность, $\times 10^9$ кл/г почвы</i>	<i>Биомасса, мг/г</i>
1.	<i>Контроль</i>	<i>A₁</i>	<i>19,11</i>	<i>0,78</i>
		<i>A₂B</i>	<i>4,43</i>	<i>0,21</i>
2.	<i>Обработка препаратом «Гидрогумат»*</i>	<i>A₁</i>	<i>19,41</i>	<i>0,81</i>
		<i>A₂B</i>	<i>4,61</i>	<i>0,23</i>
3.	<i>Обработка препаратом «Экосил»*</i>	<i>A₁</i>	<i>24,07</i>	<i>0,97</i>
		<i>A₂B</i>	<i>6,34</i>	<i>0,31</i>
4.	<i>Обработка препаратом «Байкал ЭМ-1»*</i>	<i>A₁</i>	<i>41,71</i>	<i>1,55</i>
		<i>A₂B</i>	<i>9,57</i>	<i>0,49</i>

Примечание: * - достоверно при $p=0,05$

- На численность бактерий и их биомассу в элювиальном горизонте (A₂B) почвы «Байкал ЭМ-1» также оказывает некоторое влияние. Обработка им вегетирующих растений приводила к повышению общего пула микроорганизмов 2,16 раза по сравнению с контролем, а биомассу в 2,33 раза по сравнению с контролем.
- Обработки микробиологическим препаратом «Байкал ЭМ-1» приводят к значительному (в 2 и более раза) повышению общего пула и биомассы бактериальных клеток как в гумусово-аккумулятивном, так и в подзолистом горизонтах почвы опытного поля.

- ***В таблице 2 представлены результаты изучения таксономического разнообразия и частоты встречаемости бактерий в почве опытного участка.***
- ***Применение микробиологического препарата «Байкал ЭМ - 1» приводит к появлению в почве бактерий, до этого не встречавшихся в контроле и возрастанию количества микроорганизмов, участвующих в процессах биодegradации и трансформации органических веществ в почве опытного участка.***
- ***В таблице 3 представлены результаты изучения таксономического разнообразия и частоты встречаемости грибов в почве опытного участка.***

Таблица 2 – Таксономическое разнообразие и частота встречаемости бактерий в почве опытного участка, %

<i>Род, Вид</i>	<i>Варианты опыта</i>			
	<i>Контроль</i>	<i>Гидрогумат</i>	<i>Экосил</i>	<i>Байкал ЭМ-1</i>
<i>Azotobacter sp.</i>	0	0	0	8
<i>Bacillus cereus Frankland et Frank.</i>	8	7	11	23
<i>Bac. laterosporus Laubach</i>	12	11	13	14
<i>Bac. licheniformis Chester</i>	9	12	12	23
<i>Bac. megaterium de Bary</i>	14	14	16	21
<i>Bac. mesentericus Trevisan</i>	15	16	16	17
<i>Bac. pumilus Meyer et Gottheil</i>	18	19	21	24
<i>Bac. subtilis Cohn</i>	16	16	17	31
<i>Bac. firmus Bredemann et Wemer</i>	13	14	13	21
<i>Clostridium nitrificiens</i>	11	12	14	46
<i>Cianobacterium sp</i>	16	17	19	33
<i>Lactobacterium sp.</i>	0	8	0	45

Таблица 3 – Таксономическое разнообразие и частота встречаемости грибов в почве опытного участка, %

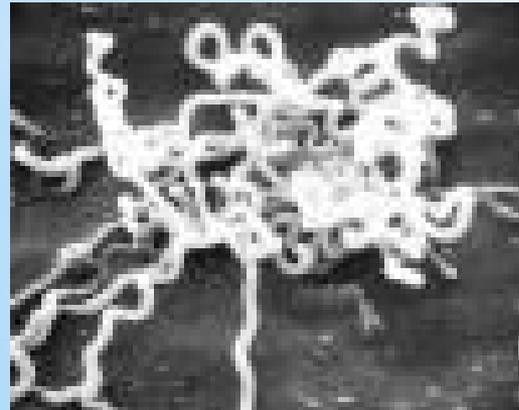
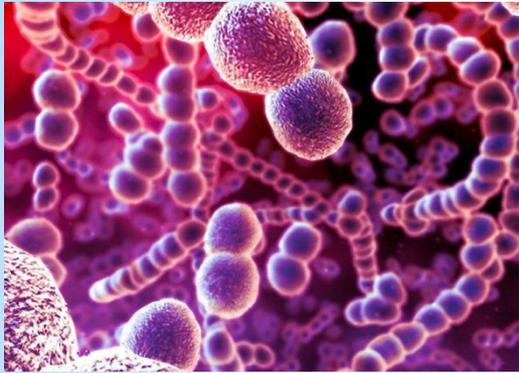
<i>Род, Вид</i>	<i>Варианты опыта</i>			
	<i>Контроль</i>	<i>Гидрогумат</i>	<i>Экосил</i>	<i>Байкал ЭМ-1</i>
<i>Penicillium canescens</i> Sopp	15	19	22	19
<i>P. cyaneum</i> (Bainier et Sartory) Biourge	12	13	16	11
<i>P. cydopium</i> Westling	10	10	13	12
<i>P. implicatum</i> Biourge	22	21	25	23
<i>P. frequentans</i> Westling	24	25	28	26
<i>P. oxalicum</i> Currie	21	22	25	23
<i>P. puberulum</i> Bainier	19	20	22	20
<i>P. spinulosum</i> Thorn	14	14	16	17
<i>P. steckii</i> Zaleski	17	20	18	22
<i>P. thomii</i> Maire	23	23	25	26
<i>P. varlabile</i> Sopp	17	17	22	24
<i>Penicillium</i> sp.	35	37	39	37
<i>Acremonium butyri</i> W. Gams	21	22	31	32
<i>Fusarium</i> sp.	62	50	32	28
<i>Mortierella longicollis</i> Dixon-Stewart	12	32	31	27
<i>Mortierella</i> sp.	16	34	32	34
<i>Mucor</i> sp.	50	32	31	29
<i>Aureobasidium</i> sp.	21	22	25	22
<i>Trichoderma</i> sp.	13	14	14	20
<i>Mycelia sterilia</i>	0,0	0,2	0,4	0,5
<i>Ulodadium</i> sp.	7	8	8	10

*• Из выявленного биоразнообразия микоценоза в почве наиболее часто встречаются и широко представлены грибы, представители рода *Penicillium*.*

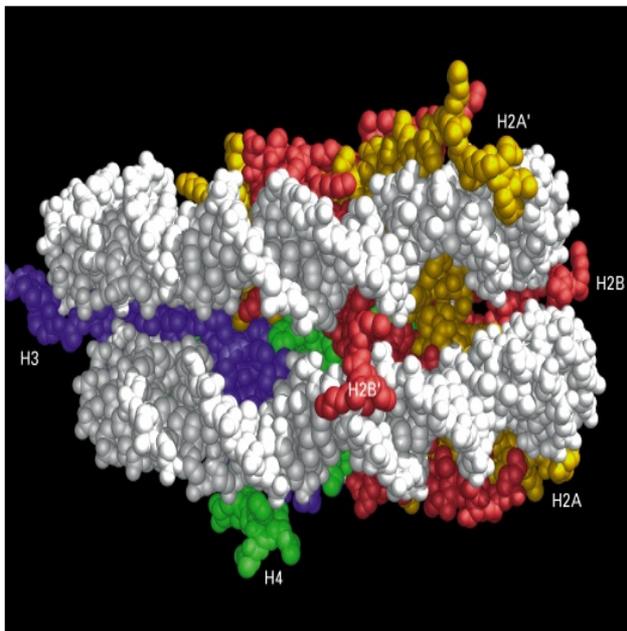
• Внесение изучаемых препаратов приводило к увеличению их численности, что говорит об усилении процессов биodeградации органического вещества в почве, так как представленные грибы являются сапротрофными по типу питания. Данные грибы способны вырабатывать антибиотик пенициллин, обладающий антибиотическим и аллелопатическим действием, что способствует снижению числа патогенных организмов в почве.

- *В почве отмечено повышение численности грибов *Acremonium butyri* W. Gams, *Mortierella longicollis* Dixon-Stewart, *Mortierella* sp., *Aureobasidium* sp., *Trichoderma* sp., *Mycelia sterilia*, *Ulodadium* sp., что, возможно, связано с действием на почвенную биоту изучаемых препаратов.*
- *В почве понизилась частота встречаемости некоторых патогенов, в частности, различных представителей рода *Fusarium* sp.*
- *Следовательно, исходя из приведенных данных, можно сделать вывод о том, что препараты положительно влияют на численность почвенных сапротрофных грибов, в то же время приводит к сокращению численности ряда патогенных организмов.*

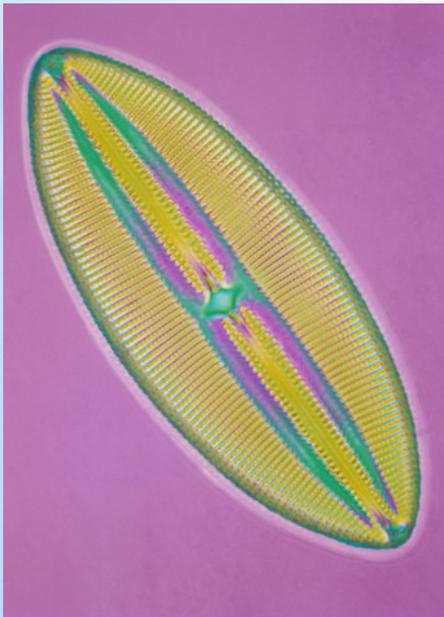
* Проблемы:



- уникальность климатических условий, даже для небольших территорий существуют значительные различия по микроклимату и почвам, что приводит к осложнению внедрения в них полученных микроорганизмов;
- наличие в почвах сложившихся микробоценозов, которые могут активно противостоять внедряемым в них микроорганизмам;
- возможные значительные отличия в эффективности жизнедеятельности организмов в лабораторных условиях и условиях техногенного загрязнения природных комплексов. Выживаемость микроорганизмов в полевых условиях после значительных периодов культивации в лабораторных условиях может снижаться.



изменение микробоценозов за счет попадания в их среду вредных и опасных веществ может приводить к мутациям микрофлоры и появлению опасных для человека, животных и растений штаммов микроорганизмов.



Кроме того, процессы передачи генетического материала от одного микроорганизма к другому могут привести к появлению вредных для человека форм микроорганизмов, устойчивых к неблагоприятным факторам окружающей среды и воздействию человека. Иначе говоря, мы можем случайно создать супер устойчивый возбудитель заболеваний растений, животных, и, возможно человека - в почве депонировано немало опасных возбудителей болезней человека.

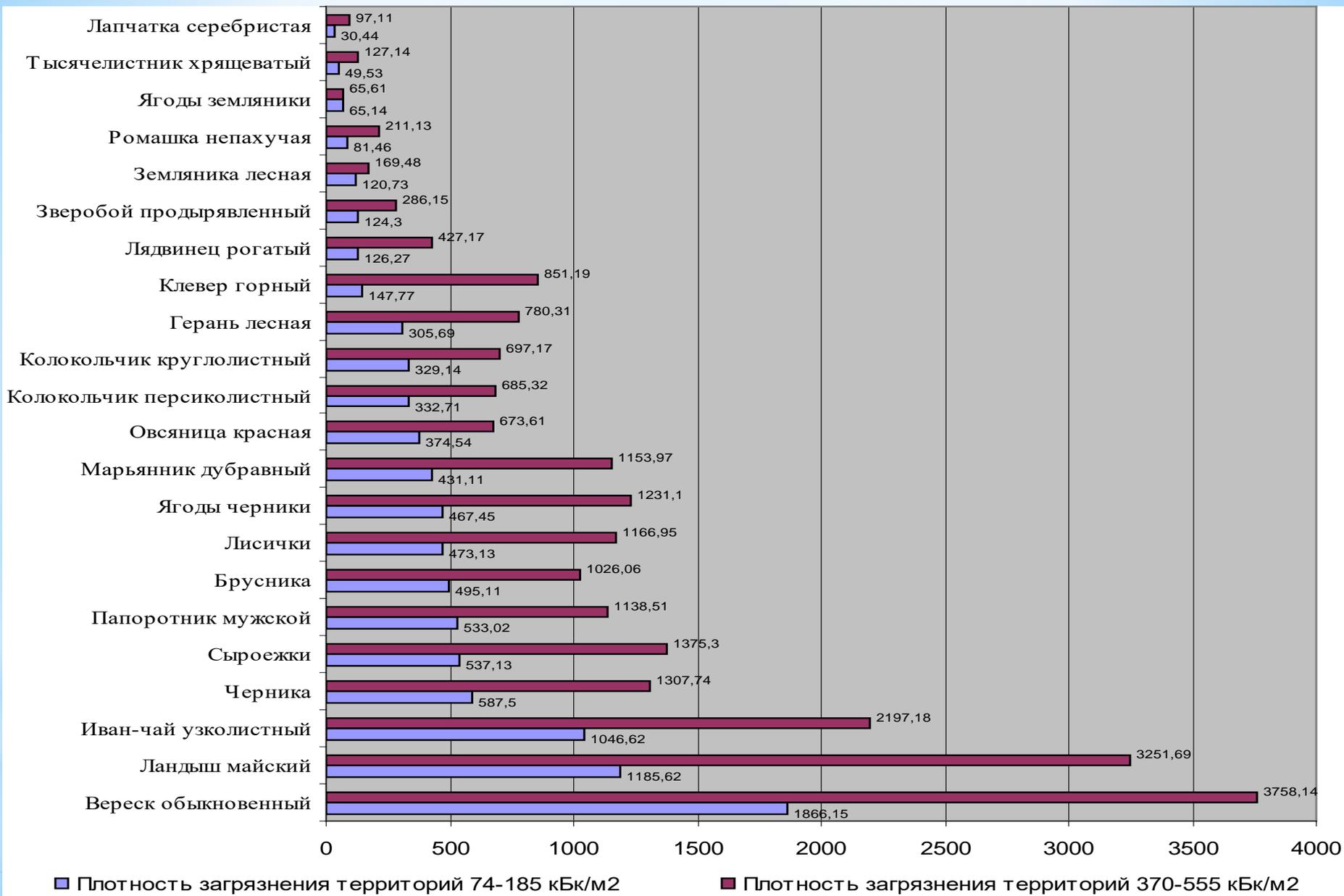
Использование растений



© Images of Nature, Thomas D. Mangelsen



- ризофилтрация – корни всасывают воду и химические элементы, необходимые для жизнедеятельности растений;
- фитозэкстракция – накопление в организме растения опасных загрязнений (например, тяжёлых металлов);
- фитоволатилизация – испарение воды и летучих химических элементов (As, Se) листьями растений;
- фитостабилизация – перевод химических соединений в менее подвижную и активную форму (снижает риск распространения загрязнений);
- фитодеградация – деградация растениями и симбиотическими микроорганизмами органической части загрязнений;
- фитостимуляция – стимуляция развития симбиотических микроорганизмов, принимающих участие в процессе очистки.



Видовая специфика накопления ^{137}Cs в лесной флоре нижнего яруса

Проблемы:

1. многие растения, способные быть фиторемедиантами, весьма требовательны к определенным факторам окружающей среды и их использование ограничено этими факторами;
2. эффективность применения растений ограничивается уровнем загрязнения окружающей среды - чем выше уровень, тем менее вероятно выживание растений;
3. различные растения избирательно очищают почвы от определенных загрязнителей.

* Система растение- микрорганйзм

Кафедра «Безопасность жизнедеятельности» совместно с ГНУ «Институт микробиологии НАН» разрабатывает технологию биологической фиторемедиации загрязненных нефтепродуктами почв с помощью специально выведенных микроорганизмов.

В результате проведенных исследований определены наиболее оптимальные технологические приемы для использования систем «растение-микрорганйзмы» в целях восстановления территорий, загрязненных нефтепродуктами. Качество почвы, восстановленное с применением фиторемедиации соответствует международным стандартам



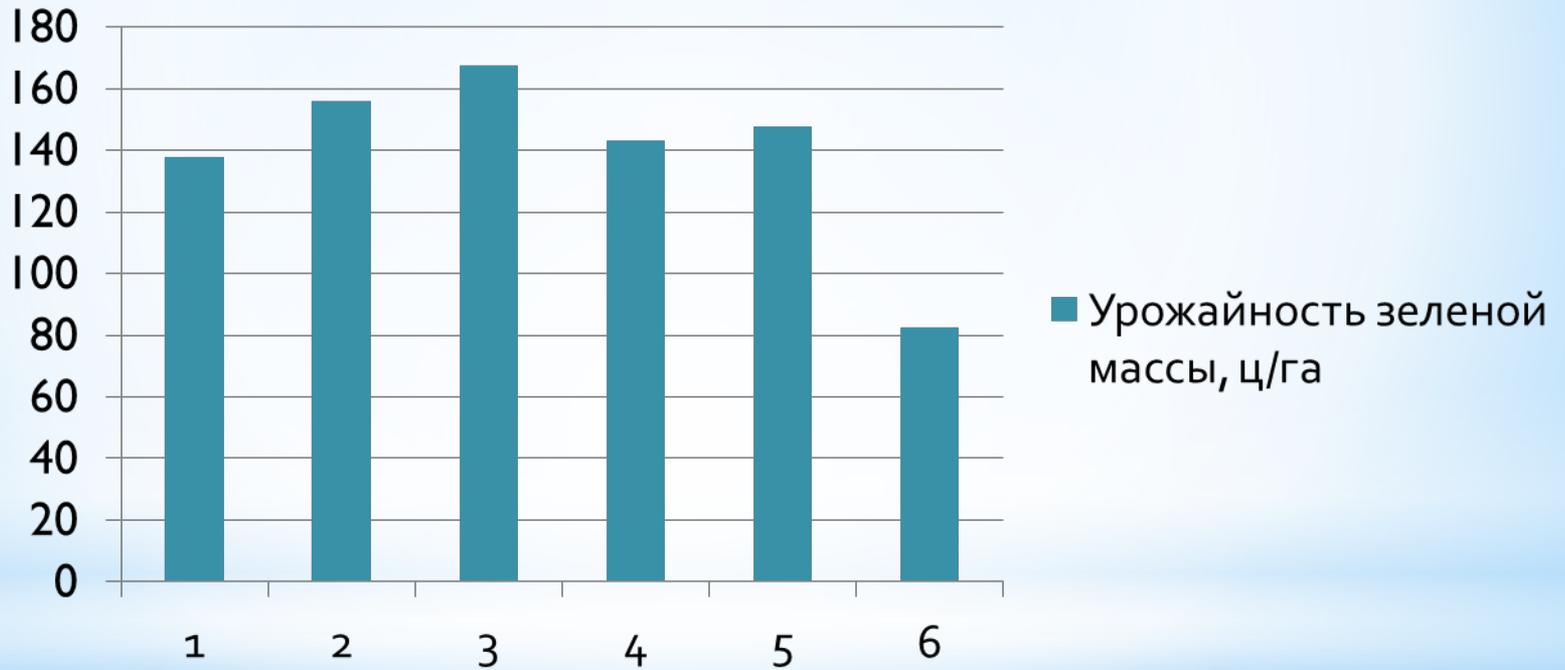
- * Нами были заложены эксперименты по фиторемедиации загрязненных отработанным машинным маслом почв с помощью системы растение (Люцерна посевная) - микроорганизмы.
- * Микробиологические препараты, содержащие живые микроорганизмы *Sinorhizobium meliloti* S3 и *Sinorhizobium meliloti* S3 + *Serratia plymuthica* 57 были предоставлены Институтом микробиологии НАН.
- * Следует отметить наличие различных откликов растений на внесение различных концентраций поллютанта. При использовании 3 л масла на 1 м² в первый год эксперимента растения не взошли.
- * Затем за лето-осень микроорганизмы разрушили токсикант и на следующий год почва уже дала урожай.



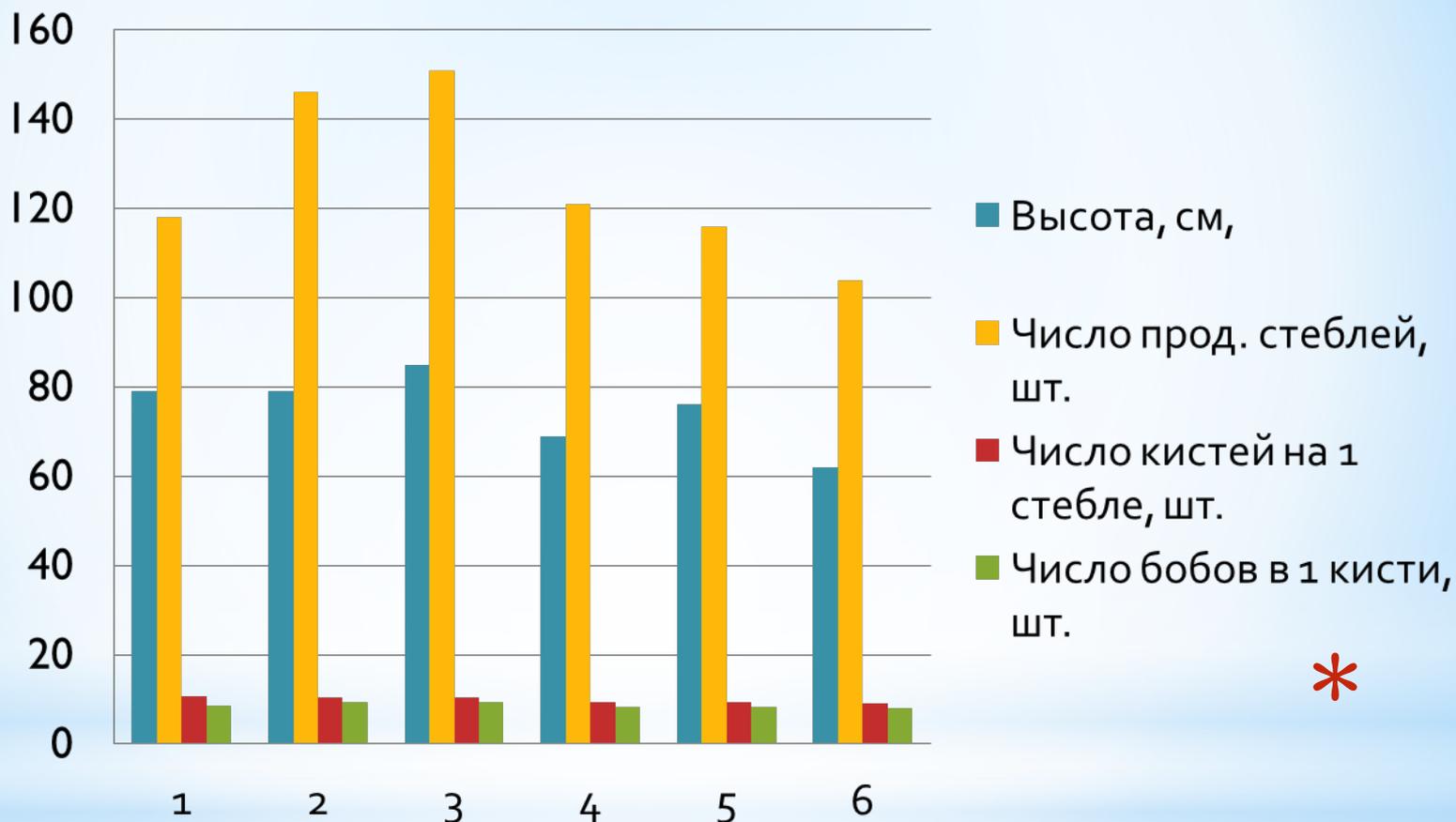
№ п/п	Вариант эксперимента
1	Контроль без препарата
2	Контроль с обработкой <i>Sinorhizobium meliloti</i> S3
3	Контроль с обработкой <i>Sinorhizobium meliloti</i> S3 + <i>Serratia plymuthica</i> 57
4	Внесение отработанного машинного масла 1 л при обработке <i>Sinorhizobium meliloti</i> S3
5	Внесение отработанного машинного масла 1 л при обработке <i>Sinorhizobium meliloti</i> S3 + <i>Serratia plymuthica</i> 57
6	Внесение отработанного машинного масла 3 л при обработке <i>Sinorhizobium meliloti</i> S3

* Схема опыта

Урожайность люцерны посевной



Биометрические показатели люцерны посевной



* Преимущества

- * С экономической точки зрения фиторемедиация выгоднее альтернативных технологий, она не предполагает крупных единовременных капиталовложений, связанные с ней издержки могут быть распределены на несколько лет.
- * Фиторемедиация не требует экскавации почвы и может применяться на больших площадях, что особенно важно для отечественной нефтяной промышленности.
- * Фиторемедиация способствует сохранению и улучшению окружающей среды, поскольку связана с выращиванием растений, улучшением почв и защитой их от эрозии.
- * Это наиболее эстетичная технология очистки почвы, что тоже немаловажно.
- * Наконец, в глазах государства и общества это наиболее приемлемая технология очистки почвы от вредных веществ, и ее применение улучшает имидж компании.

- * Экономическая эффективность фиторемедиации является, пожалуй, самым весомым аргументом в пользу данной технологии. Сегодня инженерные методы очистки загрязненных нефтью участков земли обходятся североамериканским нефтяным компаниям в сумму от \$10 до \$1000 за кубометр почвы.
- * Особенно дорогостоящи методы полной очистки от плохо растворимых в воде компонентов нефти, требующие экскавации почвы и ее транспортировки к очистным установкам.
- * Конечная стоимость фиторемедиации одного кубометра загрязненной нефтью почвы, по оценкам ВР Атосо, обходится в \$3 в год. Более того, внедрение современных сельскохозяйственных технологий позволило удешевить технологию до \$0,02 в год (в пересчете на гектар от \$200 в год).

Состояние почв до
применения технологий



* Результаты

Состояние почв после
применения технологий



- * Продуктивность пашни увеличилась на 44%.
- * Экономия топлива и суммарные эксплуатационные затраты снизились на 55-60%.
- * Средневзвешенное содержание гумуса за период внедрения мероприятий увеличилось с 1,7 до 2,21%



Спасибо за внимание и
терпение!

