

УДК 631.4

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КРИОГЕЛЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ПОЧВ И ГРУНТОВ ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДАМИ

©2015 А.И. Фахрутдинов, Т.Д. Ямпольская, О.В. Гарайзуева

Сургутский государственный университет

Поступила в редакцию 26.05.2015

Проведены лабораторные и полевые исследования эффективности применения криогеля в сочетании с углеводородоокисляющими микроорганизмами (УОМ) для снижения в почвах и грунтах углеводородного загрязнения различного характера и концентрации. В лабораторном эксперименте получена эффективность деструкции при 15 % внесенной нефти более 80%. При этом отмечаются значимые значения корреляций ($r = 0,80-0,95$) с УОМ и отдельными ферментами. Полевые исследования подтвердили эффективность применения криогеля, эффективность до 90 % на фоне высокой активности УОМ и ферментов ($r = 0,80-0,90$), вне зависимости от уровня и характера углеводородного загрязнения.

Ключевые слова: криогель, нефть, углеводородное загрязнение, деструкция углеводородов, углеводородоокисляющие микроорганизмы, почвенные ферменты

Систематическое увеличение добычи углеводородного сырья формирует необходимость обоснования создания и использования новых технологий, направленных на восстановление нарушенной окружающей среды. Основным элементом, наиболее подверженным загрязнениям различными углеводородами, являются почвы, в которых сконцентрировано наибольшее количество различного рода поллютантов. Основной трудностью с которой сталкиваются в процессе рекультивации нефтезагрязненных почв, является необходимость проведения рекультивационных мероприятий в благоприятные погодные условия, т.е. при высокой температуре и оптимальной влажности. В условиях крайнего Севера данные условия окружающей среды длятся не более полутора – двух месяцев и накладываются, в основном, на летний период. Помимо этого существует трудность, связанная с разворачиванием рекультивационных мероприятий на удаленных и труднодоступных точках нашего округа. Поэтому ежегодно появляются новые подходы к проведению восстановительных работ. Они связаны с повышением активности различного рода микробных препаратов, созданием новых образцов техники и новых химических или синтетических компонентов, направленных на углубление и расширение процессов рекультивации нефтезагрязненных территорий. Одним из них являются использование криогеля. Криогель (КГ) – синтетическое соединение,

основной задачей которого является стабилизация температурного и водного режимов почвы при изменении температуры и влажности в окружающей среде[].

Цель работы: определить эффективность использования криогеля в сочетании с углеводородоокисляющими микроорганизмами при различных по концентрации и характеру углеводородных загрязнениях почв и грунтов.

Методы исследования. Для проведения исследований был заложен лабораторный эксперимент в 13 вариантах (табл. 1). Используемый грунт представляет собой смешанный образец горизонтов А и В дерново-подзолистого почвенного профиля, отобранной в Сургутском районе. Объем грунта 2 кг загрузался в емкость, в которую вносились экспериментальные компоненты. Использовалась нефть товарная Западно-Сургутского месторождения. В исследовании использовался криогель Р, ТУ 2454-011-03534067-2013, производитель: ИХН СО РАН, г. Томск. В качестве углеводородоокисляющих микроорганизмов использовались выделенные из нефтезагрязненных почв микроорганизмы: *Pseudomonas montelli* №1 ВКМ В2681D, *Kocuria sp.* ВКМ Ас-2606D с титром $2,8 - 3,1 \times 10^9$ кл/мл. В работе определялась численность углеводородоокисляющих микроорганизмов, уровень деструкции углеводородов, активность отдельных почвенных ферментов: дегидрогеназы и инвертазы. Исследования проводились общепринятыми методами

Таблица 1. Схема лабораторного эксперимента

Контроль	Незагрязненная почва, 2 кг
H5	5% нефть
H5Y5	5% нефть + 5% УОМ
H5K5	5% нефть + 5% криогель

Фахрутдинов Айвар Инталович, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии. E-mail: fachrutdinov_a_i@mail.ru

Ямпольская Татьяна Даниловна, кандидат биологических наук, доцент. E-mail: yampolska0105@mail.ru

Гарайзуева Ольга Викторовна, младший научный сотрудник. E-mail: olga-garajzueva@yandex.ru

H5K5Y5	5% нефть + 5% УОМ + 5% криогель
H10	5% нефть
H10Y10	10% нефть + 10% УОМ
H10K10	10% нефть + 10% криогель
H10K10Y10	10% нефть + 10% УОМ + 10% криогель
H15	15% нефть
H15Y15	15% нефть + 15% УОМ
H15K15	5% нефть + 5% криогель
H15K15Y15	15% нефть + 15% УОМ + 15% криогель

Анализ результатов лабораторного эксперимента показывает, что увеличение дозы углеводородного нефтяного загрязнения снижает ак-

тивность углеводородокисляющих микроорганизмов как аборигенных так и внесенных (рис. 1). Применение КГ позволяет активизировать работу почвенного микробоценоза с достижением оптимальных значений после заморозки лабораторных образцов, с достижением значений 100-140 млн. клеток на грамм почвы. При этом высокая численность УОМ способствует активной деструкции углеводородов, как до заморозки, так и после (рис. 2.). Это говорит о двойственном функционировании КГ: с одной стороны как стабилизатора состояния почвенной системы, а с другой – как биохранилища различного рода ферментов и микроорганизмов, как до заморозки, так и после.

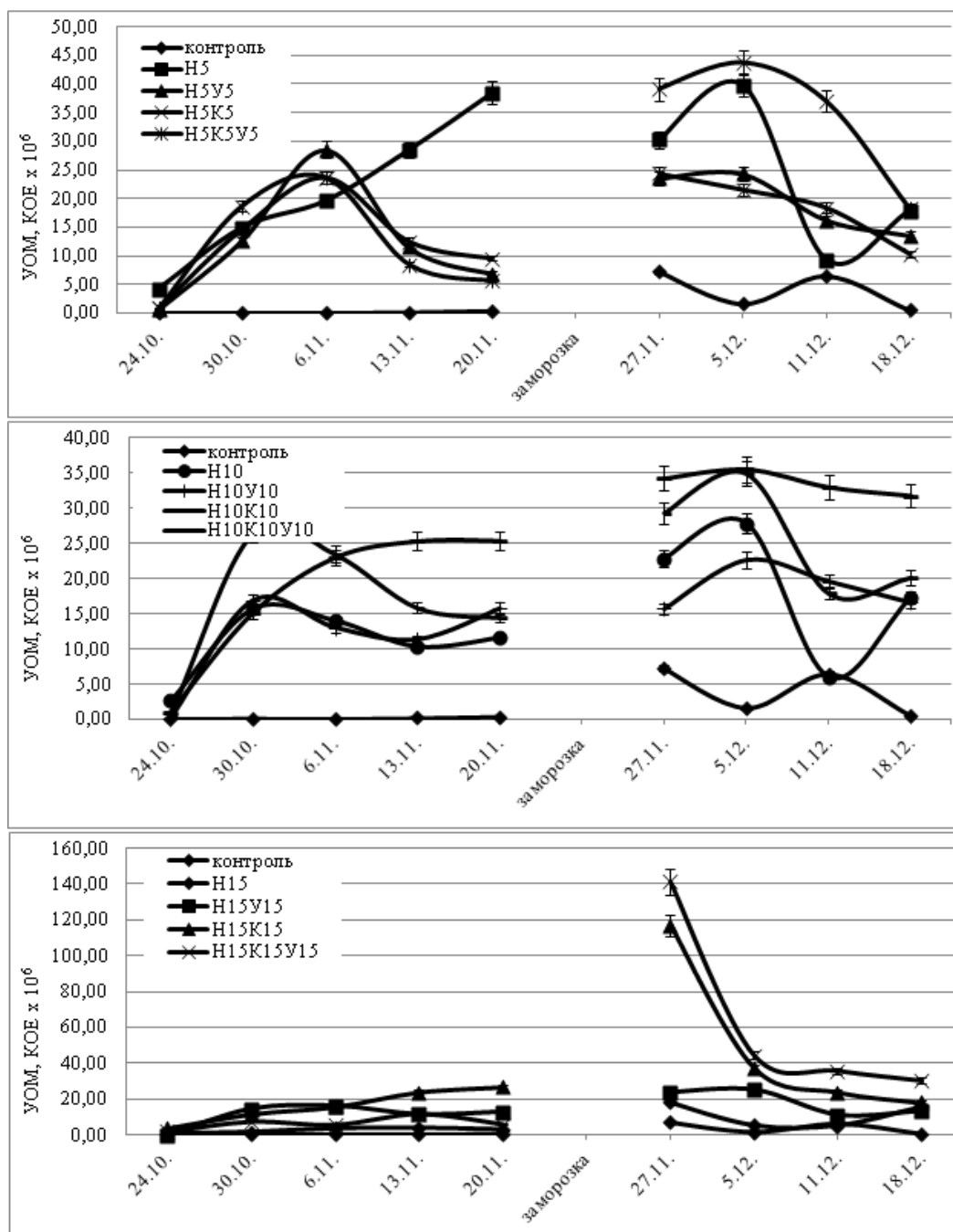


Рис. 1. Численность УОМ в различных вариантах лабораторного эксперимента

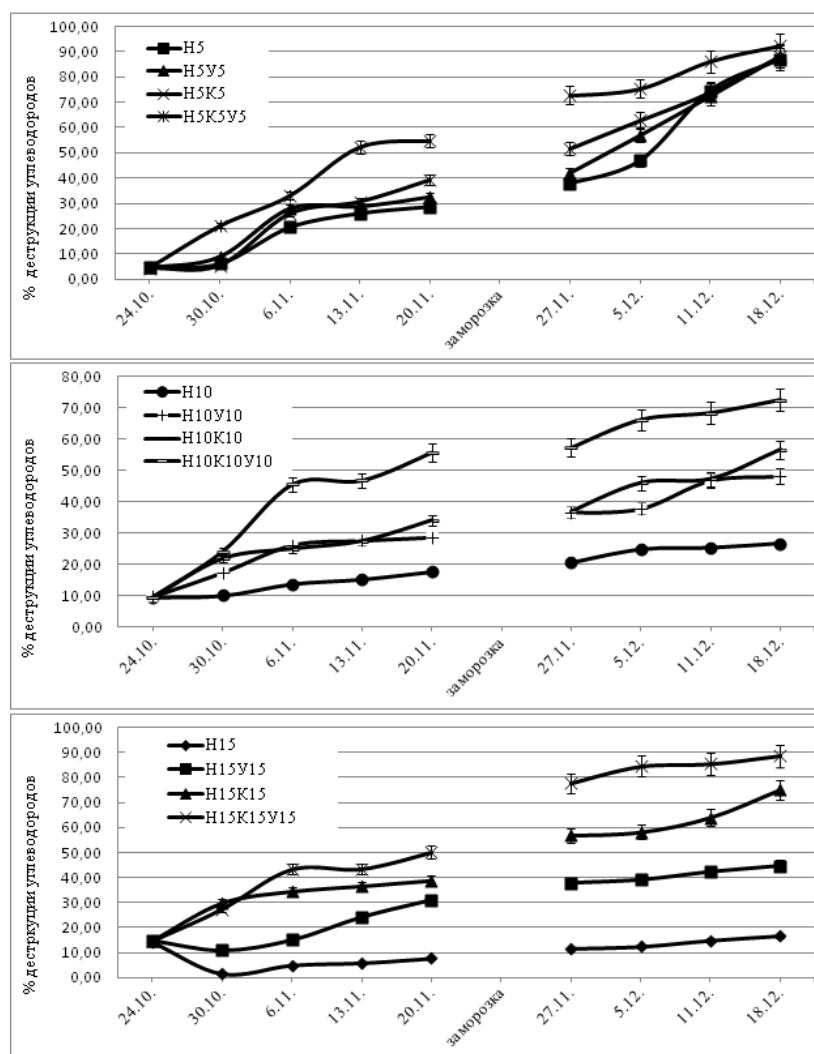


Рис. 2. Динамика деструкции углеводородов в различных вариантах лабораторного эксперимента

Активность деструкции нефтяных углеводородов обеспечивается рядом ферментов, в частности, активность дегидрогеназы как фермента, работающего на длинных углеводородных цепях, наиболее ярко наблюдается при высоких дозах углеводородного загрязнения с применением максимальной дозы КГ с достижением значений в 5-8 раз выше контрольных (рис. 3). Подобная значимая динамика прослеживается при анализе активности инвертазы, где видно, что максимальные значения достигаются как до замораживания ла-

бораторных почвенных образцов, так и после него (рис.4).

В целом, проведение лабораторного эксперимента показало перспективность использования КГ как дополнительного компонента при рекультивации нефтезагрязненных территорий. Данная эффективность подтверждается широким спектром положительных корреляционных значений, представленных в табл. 2. Наибольшее внимание, на наш взгляд, привлекают значение корреляции при 15% нефтяном загрязнении при внесении 15% КГ на фоне использования УОМ.

Таблица 2. Корреляционные зависимости полученных результатов применения КГ в разных вариантах лабораторного эксперимента

Параметр	% деструкции			Дегидрогеназа			Инвертаза		
	до	после	общая	до	после	общая	до	после	общая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
контроль	-	-	-	-0,10	0,17	-0,23	-0,32	0,54	0,47
H5	0,92	-0,78	0,04	0,30	0,83	0,43	0,82	-0,71	0,22
H5Y5	0,43	-0,92	0,34	0,64	0,91	0,66	0,94	-0,55	0,15
H5K5	0,31	-0,98	0,32	0,91	0,58	0,85	0,12	0,69	0,33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
H5K5Y5	0,04	-0,85	0,60	0,93	0,83	0,89	0,21	-0,53	-0,06
H10	0,28	-0,36	0,44	0,78	0,78	0,76	-0,35	0,11	-0,09
H10Y10	0,68	-0,16	0,72	-0,13	0,06	-0,22	0,26	0,92	0,12
H10K10	0,52	-0,53	0,49	0,29	0,36	-0,08	0,93	-0,55	0,72
H10K10Y10	0,96	-0,59	0,95	0,12	-0,92	-0,24	-0,77	0,68	0,23
H15	-0,45	0,01	0,47	0,60	-0,48	0,21	0,90	0,06	0,34
H15Y15	0,10	-0,87	0,41	0,74	-0,08	0,44	0,63	0,95	0,68
H15K15	0,93	-0,66	0,37	0,91	0,49	0,67	-0,05	-0,81	-0,09
H15K15Y15	0,56	-0,95	0,57	-0,24	0,68	0,73	-0,05	0,94	0,83

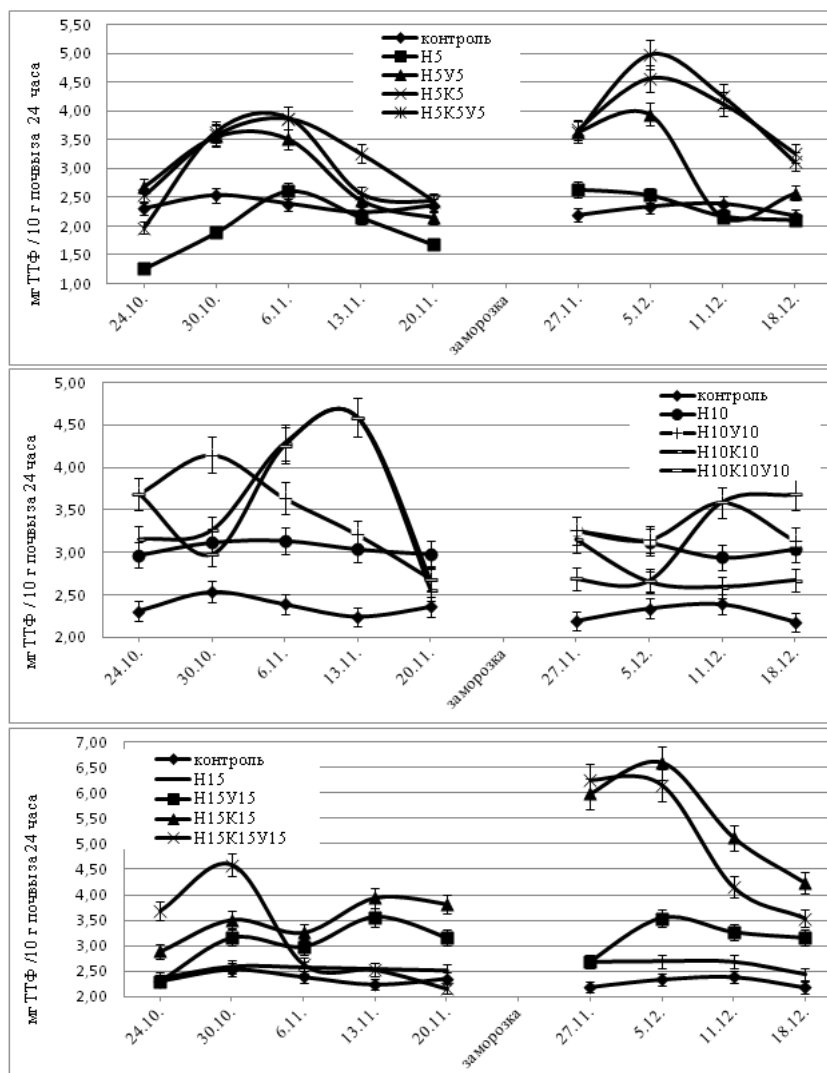


Рис. 3. Динамика дегидрогеназной активности почвы в различных вариантах лабораторного эксперимента

Для подтверждения эффективности были проведены полевые исследования на различных участках, имеющих разное по величине и характеру углеводородное загрязнение, а именно: свежее нефтяное загрязнение (32,2 г / 100 г почвы), шламовый амбар (24,3 г / 100 г почвы), газоконденсатные загрязнения (6,6 г / 100 г почвы) и участок урбанозема возле АЗС (1,6 г / 100 г почвы). Внесение криогеля 5 л/м², культуры УОМ - 3 л/м², титром 2,0 – 3,0 × 10⁹ кл/мл. Эффективность оценивалось в

период сентябрь-октябрь, май-июнь. Как видно из представленных графиков, наибольшие значения достигаются при применении УОМ с КГ, что подтверждает наше предположение о высокой протекторной активности криогеля (рис. 5). Эффективность УОМ подтверждается высокой деструкцией различных углеводородов (рис. 6). Как видно, в нефтяном загрязнении к концу эксперимента эффективность приближалась к 90%.

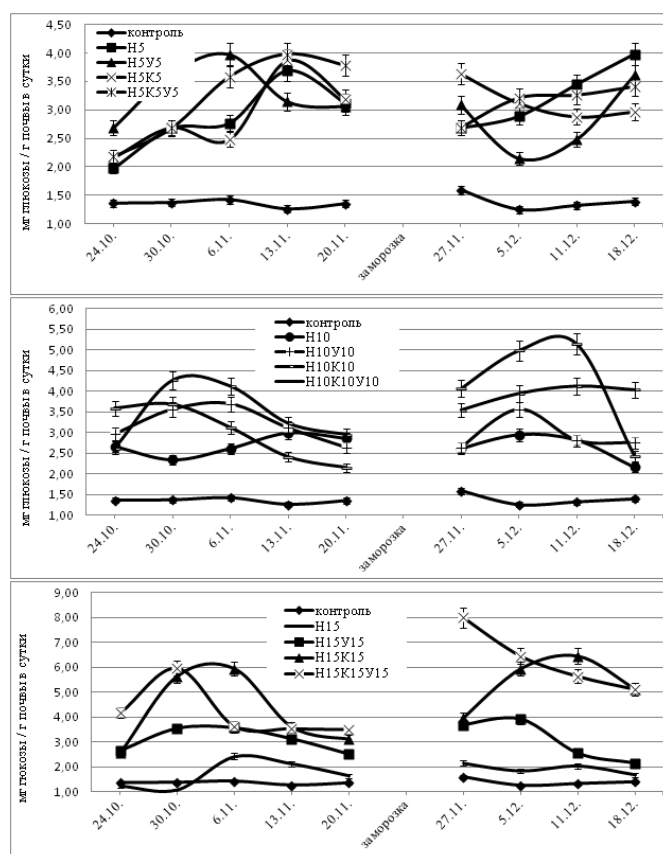


Рис. 4. Динамика инвертазной активности почвы в различных вариантах лабораторного эксперимента

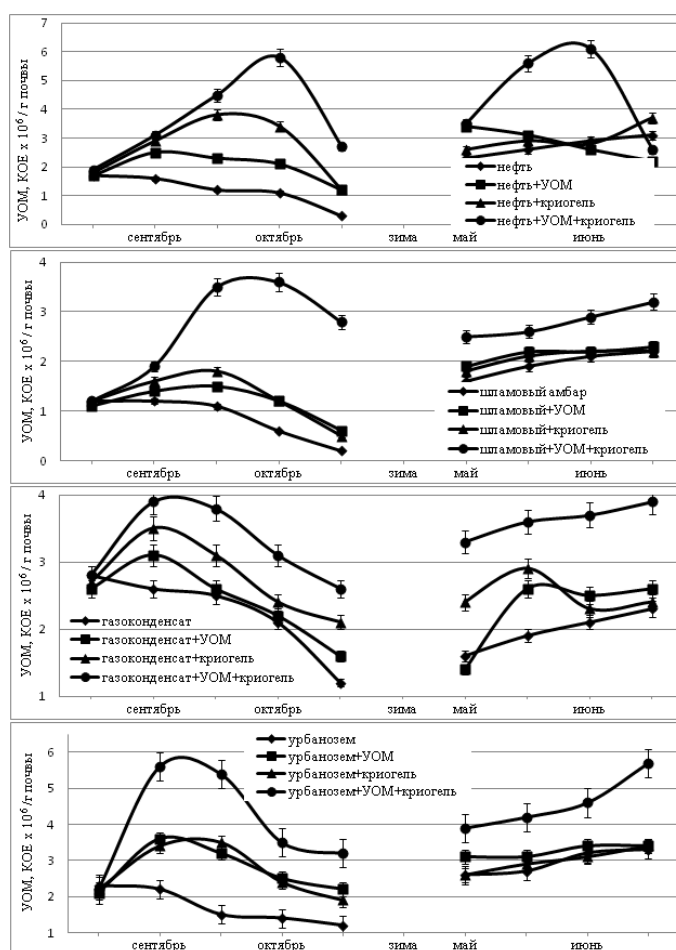


Рис. 5. Численность УОМ на различных участках исследований

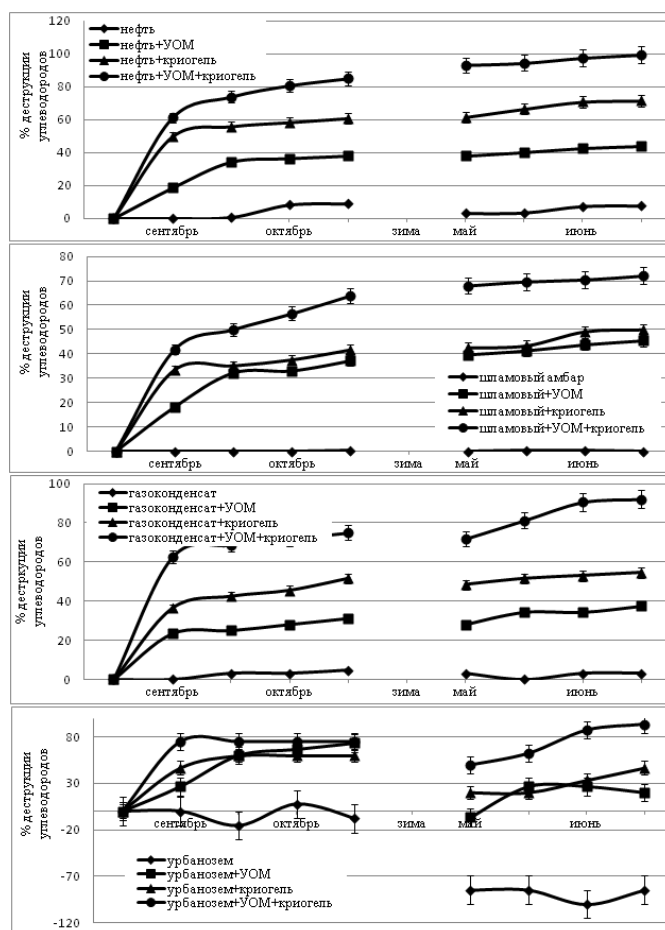


Рис. 6. Динамика деструкции углеводов на различных участках исследований

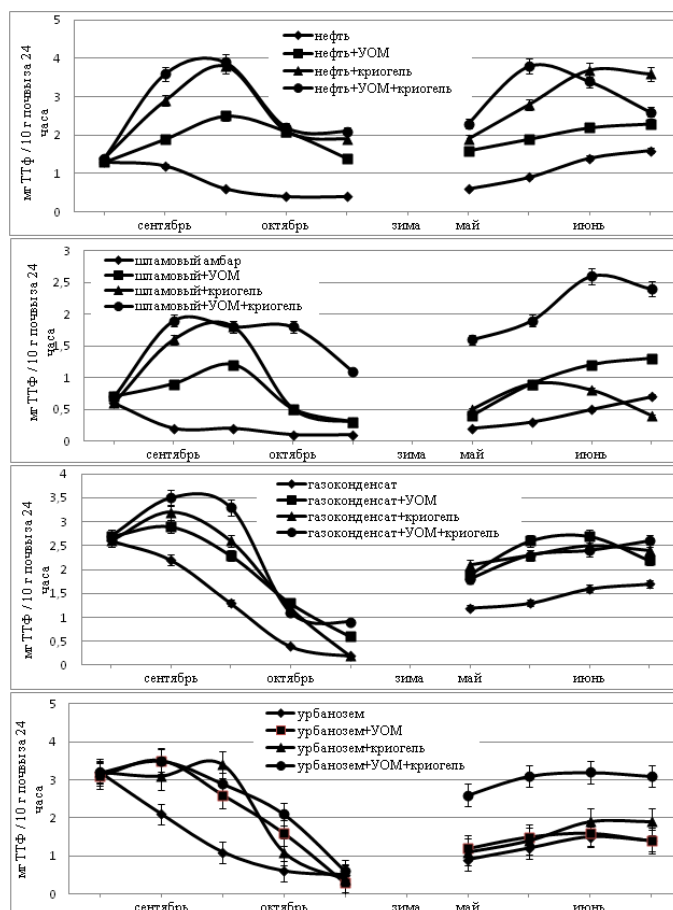


Рис. 7. Дегидрогеназная активность почв на различных участках исследований

Как и в лабораторном эксперименте, проанализирована активность ряда ферментов: выявлена высокая активность дегидрогеназы, как до зимнего периода, так и после, что говорит о высокой поглотительной и накопительной способности внесенного КГ по отношению ферментам, т.е. он дублирует почвенную систему, создавая условия для сохранения функциональной активности различного фермента (рис. 7). Подобная динамика наблюдается при анализе активности инвертазы. При нефтяном загрязнении инвертазная активность достигает максимальных значений в

весенний период, при загрязнении газоконденсатным – в осенний, что говорит о возможности, как сохранения активности ферментов, так и их иммобилизации в необходимый нам период. Наиболее ровные и стабильные значения получены при использовании КГ на шламовом амбаре.

Эффективность применения криогеля при рекультивации почв с различного рода углеводородным загрязнением подтверждается высокими значениями корреляционных зависимостей, как до заморозки, так и после (табл. 3).

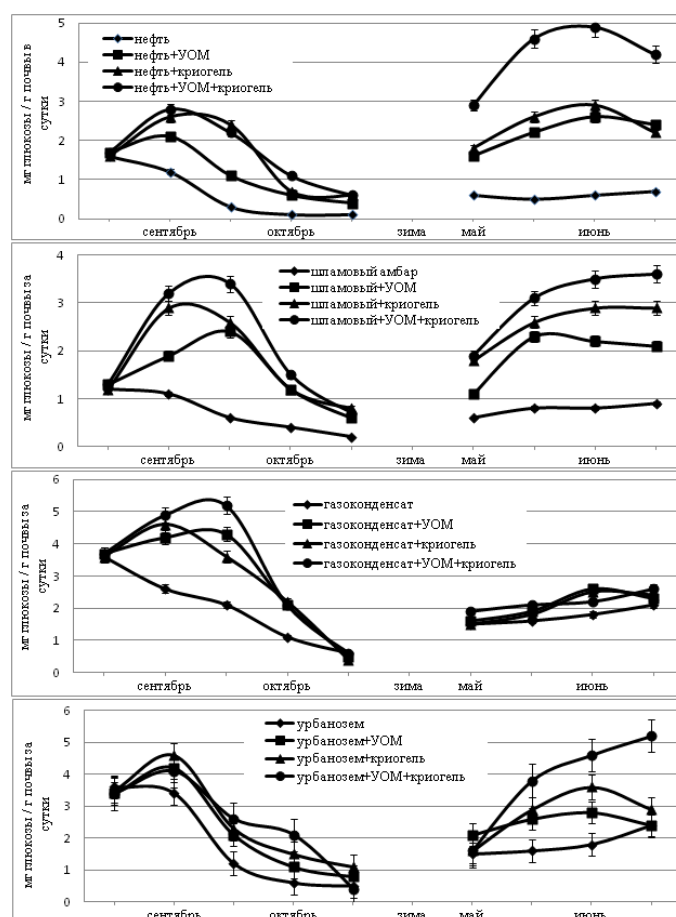


Рис. 8. Инвертазная активность почв на различных участках исследований

Таблица 3. Корреляционные зависимости полученных результатов применения КГ на различных участках полевых исследований

Параметр	% деструкции			Дегидрогеназа			инвертаза		
	до	после	общая	до	после	общая	до	после	общая
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
нефть	-0,83	0,93	0,01	0,83	0,99	0,57	0,81	0,58	0,13
нефть + УОМ	-0,06	-0,99	0,31	0,74	-0,97	0,65	0,57	-0,81	0,63
нефть + КГ	0,35	0,69	0,42	0,75	0,61	0,82	0,48	-0,03	0,64
нефть + УОМ + КГ	0,63	-0,20	0,52	0,35	0,86	0,72	-0,08	0,65	0,56
шламовый амбар	-0,83	0,22	0,06	0,62	0,94	0,14	0,89	0,95	0,26
шламовый амбар + УОМ	-0,20	0,87	0,55	0,89	0,95	0,42	0,94	0,92	0,72
шламовый амбар + КГ	-0,11	0,81	0,42	0,89	0,26	0,17	0,87	1,00	0,86
шламовый амбар + УОМ + КГ	0,82	0,96	0,70	0,60	0,83	0,71	0,13	0,81	0,52

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
газоконденсат	-0,85	0,17	-0,61	0,86	0,96	0,55	0,90	0,95	0,69
газоконденсат + УОМ	-0,41	0,94	-0,18	0,96	0,78	0,74	0,94	0,71	0,70
газоконденсат + КГ	-0,20	-0,14	-0,31	0,93	-0,22	0,65	0,93	-0,44	0,67
газоконденсат + УОМ + КГ	0,29	0,96	0,49	0,78	0,99	0,71	0,84	0,95	0,57
урбанозем	0,28	-0,47	-0,83	0,96	0,90	0,36	0,99	0,86	0,52
урбанозем + УОМ	-0,01	0,49	-0,24	0,56	0,51	0,45	0,51	0,48	0,65
урбанозем + КГ	0,25	0,93	0,20	0,71	0,93	0,59	0,53	0,70	0,70
урбанозем + УОМ + КГ	0,68	0,88	0,74	0,38	0,55	0,70	0,36	0,83	0,68

Выводы: представленные результаты впервые проведенных широкомасштабных лабораторных и полевых исследований по оценке возможности применения криогеля в качестве дополнительного компонента-криопротектора при разработке и внедрении технологий рекультивации почв и грунтов загрязненных углеводородами и оценке его эффективности выявило широкие перспективы его применения. Впервые за многолетнюю практику исследований получена эффективность деструкции остаточных углеводородов на уровне 80-90%, при этом подтверждена ведущая микробиологическая составляющая в процессе снижения концентрации поллютанта на фоне высокой ферментативной активности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. *Гарайзуева, О.В.* Биологическая активность нефтезагрязненного грунта при использовании криогеля / *О.В. Гарайзуева, А.И. Фахрутдинов, Т.Д. Ямпольская* // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Том 16, №1(4).С. 1073-1079.
2. *Алтунина, Л.К.* Изменение свойств почвы под влиянием криогеля // Почвоведение. 2014. № 5. С. 563-570.
3. *Филатов, Д.А.* Методы защиты почв от дефляции, с применением криогелей и многолетних растений / *Д.А. Филатов, Л.К. Алтунина, М.С. Фуфаева и др.* // Экология и природопользование в Югре : мат-лы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 15-летию кафедры экологии СурГУ (Сургут 24–25 октября 2014 г.). – Сургут. гос. ун-т ХМАО-Югры. – Сургут: ИЦ СурГУ, 2014. С. 52-54
4. Определение концентрации нефти в почве методом инфракрасной спектрофотометрии http://www.znaytovar.ru/gost/2/MUK_41195605_Opredelenie_konce.html МУК 4.1.1956-05
5. ПНД Ф 16.1;2.2.22-98 Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органоминеральных почвах
6. *Хазиев, Ф.Г.* Методы почвенной энзимологии. – М.: Наука, 2005. 252 с.
7. *Звягинцев, Д.Г.* Методы почвенной микробиологии и биохимии: Учебное пособие. – М., 1991. 304 с.

THE EFFICIENCY OF CRYOGEL USING IN TECHNOLOGIES OF RECULTIVATION THE SOILS, POLLUTED BY HYDROCARBONS

©2015 A.I. Fakhrutdinov, T.D. Yampolskaya, O. V. Garayzuyeva

Surgut State University

Laboratory and field researches of efficiency of cryogel using in combination with hydrocarbon-oxidizing microorganisms (HOM) for decrease in soils the hydrocarbon pollution of various character and concentration are conducted. In laboratory experiment efficiency of destruction at 15% of the brought oil is received more than 80%. Thus significant values of correlations ($r = 0,80-0,95$) with HOM and separate enzymes are noted. Field researches confirmed efficiency of cryogel using, efficiency to 90% against high activity of HOM and enzymes ($r = 0,80-0,90$), regardless of level and nature of hydrocarbon pollution.

Key words: cryogel, oil, hydrocarbon pollution, destruction of hydrocarbons, hydrocarbon-oxidizing microorganisms, soil enzymes

Ayvar Fakhrutdinov, Candidate of Biology, Associate Professor at the Microbiology Department. E-mail: fakhrutdinov_a_i@mail.ru

Tatiana Yampolskaya, Candidate of Biology, Associate Professor. E-mail: yampolska0105@mail.ru

Olga Garayzuyeva, Minor Research Fellow. E-mail: olga-garayzueva@yandex.ru