



МУРМАНСКИЙ
АРКТИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Разработка природосберегающих решений для предотвращения и ликвидации аварийных разливов нефти в арктической акватории

Жанна Вячеславовна Васильева

к.т.н., заведующий кафедрой экологии и
техносферной безопасности МАУ,
заведующая НИЛ «Экоинжиниринг и
мониторинг загрязнений АЗРФ» МАУ,
Ст. науч. сотрудник ФИЦ Кольского научного
центра РАН

Михаил Викторович Васёха

д.т.н., заведующий кафедрой морского
нефтегазового дела МАУ,
заведующий НИЛ «Логистика в Арктике» МАУ,
заведующий НИЛ «Арктическая логистика»
ФИЦ Кольского научного центра РАН,
Координатор «Лиги вузов ПАО Газпром
нефть»

Актуальность проекта

В настоящее время вопрос экологической безопасности в Арктике становится одним из самых острых и политически значимых как в национальных, так и в международных масштабах. Согласно «Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года», утвержденной Указом Президента РФ № 645 от 26.10.2020 г., освоение АЗРФ и развитие крупных инфраструктурных проектов должно сопровождаться обеспечением экологической безопасности, решением вопросов ликвидации экологического ущерба и снижения воздействия на окружающую среду Севера.

При этом проблема загрязнения нефтепродуктами является одной из самых острых проблем освоения северных (заполярных) территорий и функционирования объектов экономики Арктики. В арктических условиях нефть сохраняется значительно дольше ввиду низких температур, недостатка естественного освещения, низкой самоочищающей способности почв арктической зоны и ряда других факторов. В свою очередь очистка природных сред от нефтепродуктов представляет собой сложную научно-техническую задачу, обусловленную поликомпонентностью и изменчивостью состава нефтепродуктов, вариабельностью климатических условий и высокой уязвимостью экосистем региона. Таким образом, разработка природосберегающих решений для предотвращения и ликвидации ЛАРН является высоко востребованным направлением научного поиска.

Данное направление работ развивается в русле Указа Президента РФ от 05.03.2020 № 164 "Об основах государственной политики РФ в Арктике на период до 2035 года" в части обеспечения создания эффективной системы предупреждения и ликвидации (минимизации) последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов на всей протяженности Северного морского пути и других морских транспортных коридоров,



Портфолио проектов:

- Договор № Д-1106.2021, № Д-1597.2022, № Д-1487.2023 с НОЦ «Российская Арктика»
- Договор №Д-1353.2024 с НОЦ «Российская Арктика»
- НИОКТР № 225012402633-2" Разработка природоохранных решений для восстановления нефтезагрязненных природных сред арктического региона
- НИОКТР № 123122100184-3, «Разработка природосберегающих технологий и материалов»
- UTF/10023 Logistics and environmental management of natural resources development and transportation in the Arctic
- PN 320266 - KSPSAMARBEID20 «Collaborative Project Development of Arctic maritime logistics and intermodal sea-land transport connections: Implications for the Barents Euro-Arctic Region»
- Thematic network development project «Arctic Transport and Logistics»
- Collaborative Project «Establishment of UArctic Thematic Network “Arctic transport and logistics” (ATL)»
- Kolarctic ENPI CBC KO 187 «CETIA- Coastal environment, technology and innovation in the Arctic»

Практическая значимость

Экономически эффективные и экологически обоснованные решения, нацеленные на (комплексное) снижение рисков повышение безопасности добычи и транспортирования углеводородного сырья в Арктике могут быть интересны компаниям осуществляющим морехозяйственную деятельность в Арктике, производящим добычу и обеспечивающим логистику углеводородов.

Мурманское подразделение Профессиональное аварийно-спасательное формирование ЭКОСПАС (ПАСФ «ЭКОСПАС»), ПАСФ «ЭкоСервис» и другие аварийно-спасательные подразделения Мурманской области, т.к. в соответствии с Постановлением Правительства РФ № 2124 эти ПАСФ обязаны быть оснащены достаточными количествами сорбента (не менее 4-5 тонн сорбента для потенциально опасных объектов федерального уровня), в сумме эта потребность в сорбентах только аварийно-спасательным подразделениям МО достигает ежегодно около 56- 70 тонн.

Кроме того, предприятия, осуществляющие оборот, хранение, использование, перевалку нефтепродуктов (НП) должны иметь на балансе небольшое количество сорбента для первоначальных действий по ликвидации аварийного разлива. К таким организациям относятся практически все предприятия, занимающиеся морехозяйственной деятельностью (в т.ч. в акватории Кольского залива, Кандалакшского залива, Двинской губе и др.), а также иные предприятия, осуществляющие перевалку, хранение, использование НП. В том числе многие предприятия, не относящиеся к вышперечисленным категориям (пример ООО «Аврора-Логистика, Мурманск), согласно внутренним регламентирующим документам организуют мобильный пост ЛАРН, оснащенный установленным запасом сорбционного материала. Количество сорбента составляет не менее 200- 300 кг на балансе таких предприятий.

Правительство и крупные предприятия Мурманской области – заинтересованы в создании производства отечественного конкурентоспособных инструментов и сорбционных материалов на основе регионального сырья и их применении при реализации природоохранных мероприятий на предприятиях регионов, связанных с добычей, переработкой, использованием нефти и нефтепродуктов и утилизацией отработанных нефтепродуктов.



Краткие результаты исследования

1. Оценка характеристик сорбционных материалов в условиях, имитирующих среднегодовую температуру поверхности Баренцева моря у входа в Кольский залив

Пример оценки сорбционной емкости материалов

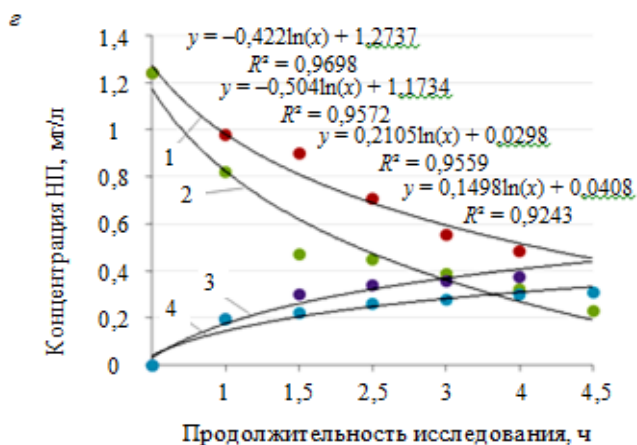
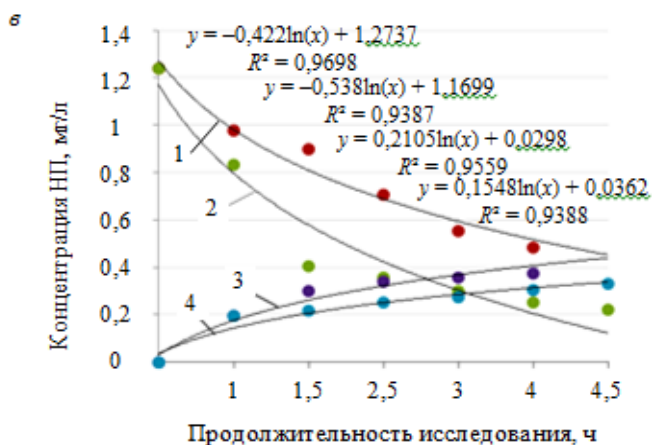
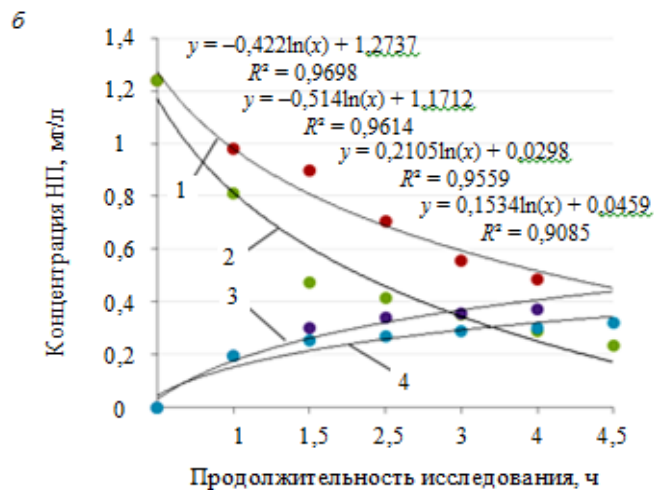
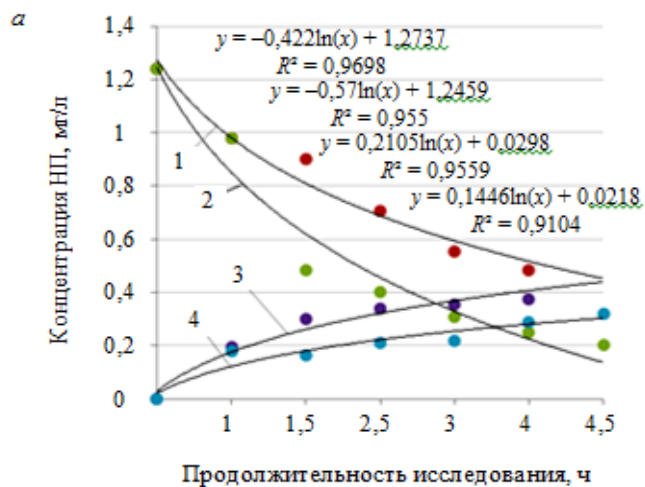
Образец НП	«Лессорб»		Хитин		«Новосорб»		Вермикулит	
	Результаты исследования	Заявлено производителем ⁵	Результаты исследования	Литературные данные [35, 36]	Результаты исследования	Заявлено производителем ⁶	Результаты исследования	Заявлено производителем ⁷
нефть	6,25	4,0-15,0	5,59	3,9-4,5	4,72	6	4,62	8-12
дизельное топливо	5,63	3,3-9,5	5,31	–	4,53	–	4,28	–
судовое масло	6,35	–	5,61	–	5,28	–	5,48	–

Sample OP	Sorption capacity, g / g							
	«T2»		«Unisorb-extra»		«TShR»		«SoNet-1»	
	Actual value	Manufacturer data	Actual value	Manufacturer data	Actual value	Manufacturer data	Actual value	Manufacturer data
Oil	4.02	4.00	1.64	-	6.61	до 9.0	1.48	4.00
Diesel fuel	3.19	3.25	1.61	35	6.76	7.0-9.0	1.11	-
Engine oil	3.56	-	1.66	-	7.30	8.5-10.7	1.33	-

Анализ экспериментальных данных показал, что сорбционная емкость каждого материала в отношении различных НП изменяется в пределах 10-20 %. Полученные результаты сорбционной емкости отличаются от заявленных производителями значений как в меньшую, так и большую сторону.

Краткие результаты исследования

2. Сравнительная оценка эффективности использования различных сорбентов в модельных системах «морская вода – нефть» и «морская вода – нефть – сорбент»

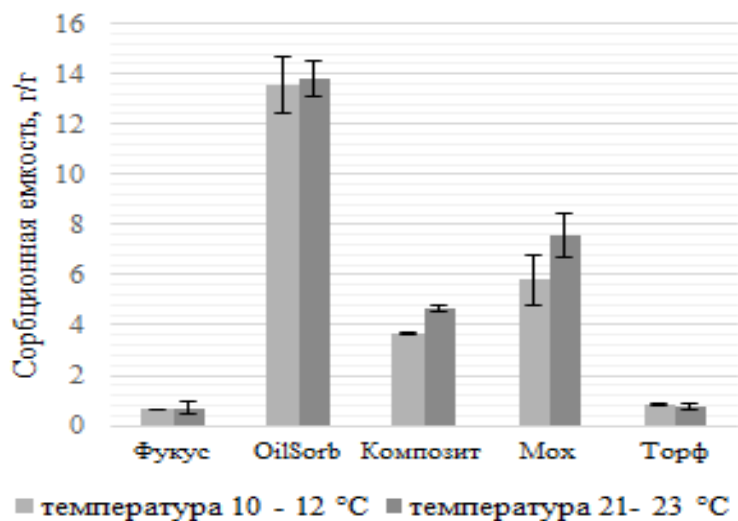


Изменение концентрации НП в модельных системах «морская вода – нефть» с добавлением сорбента и без него: а – хитин; б – «Новосорб»; в – «Лессорб»; г – вермикулит, 1 – приповерхностный слой без сорбента; 2 – приповерхностный слой с сорбентом; 3 – в толще воды без сорбента; 4 – в толще воды с сорбентом

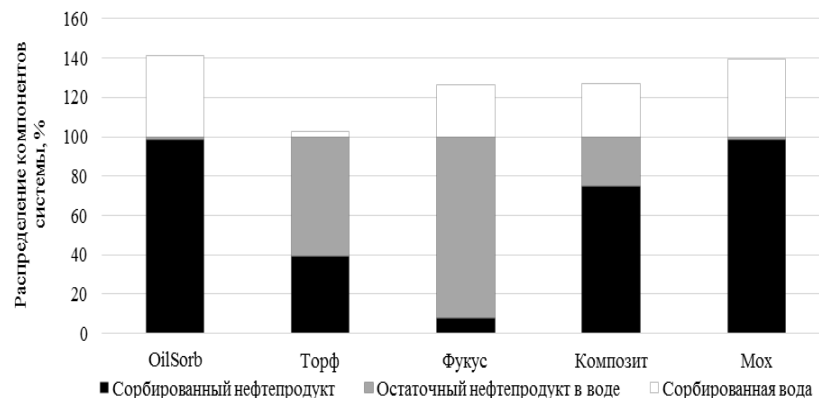
Краткие результаты исследования

4. Результаты оценки сорбционных характеристик материалов в стандартных условиях и в системе «морская вода-нефтепродукт»

Сорбционная емкость материалов, определяемая в стандартных условиях (сорбент-нефть)



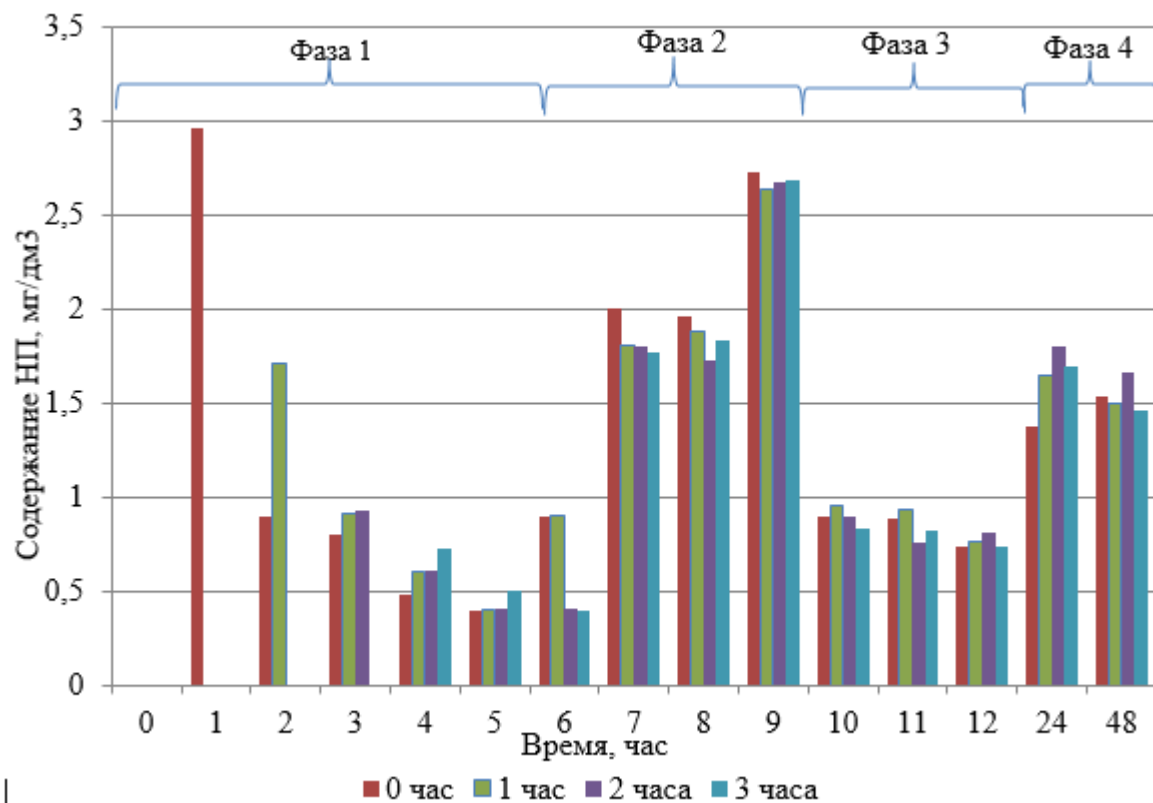
Распределение сорбированной воды и НП в материалах и остаточного НП в системе «сорбент морская вода-нефть»



Сорбционный материал	Экспозиция, мин	Количество остаточного нефтепродукта в воде, г	Количество сорбированного нефтепродукта, г	Количество сорбированной воды, г
OilSorb	30	0,09 ± 0,11	6,21	9,13
	60	0,07 ± 0,35	6,23	9,36
	90	0,34 ± 0,21	5,96	9,65
Торф (Месторождение Катка-2, Мурманская область)	30	3,85 ± 0,14	2,45	0,28
	60	5,41 ± 0,17	0,89	0,76
	90	5,22 ± 0,17	1,08	0,64
Фукус пузырчатый (<i>Fucus vesiculosus</i>)	30	5,82 ± 0,19	0,48	2,69
	60	6,24 ± 0,14	0,06	2,86
	90	5,42 ± 0,18	0,88	2,92
Композит (мох сфагнум 50% и фукус пузырчатый 50%)	30	1,59 ± 0,24	4,71	4,23
	60	5,02 ± 0,13	1,28	5,79
	90	6,09 ± 0,22	0,21	6,65
Мох сфагнум (<i>Sphagnum palustre</i> L.)	30	0,11 ± 0,24	6,19	8,51
	60	0,09 ± 0,34	6,21	8,70
	90	0,10 ± 0,35	6,20	9,14

Краткие результаты исследования

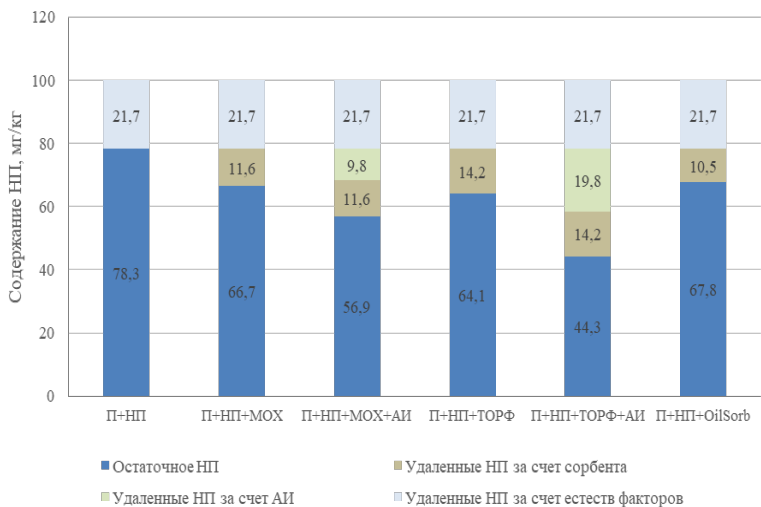
4. Изменения концентрации нефтепродуктов в приповерхностном слое воды при вариативном использовании сорбента (на основе вермикулита)



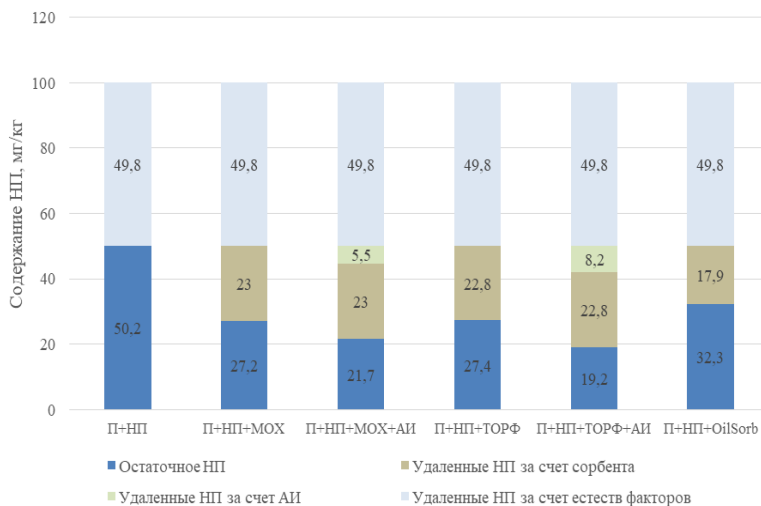
Краткие результаты исследования

5. Сравнительная оценка сорбентов на основе природных материалов с добавлением микроорганизмов АИ для очистки нефтезагрязненных почв в условиях Кольского севера

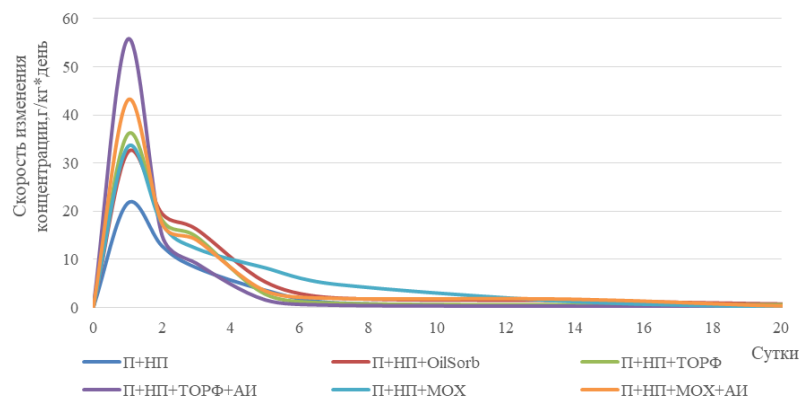
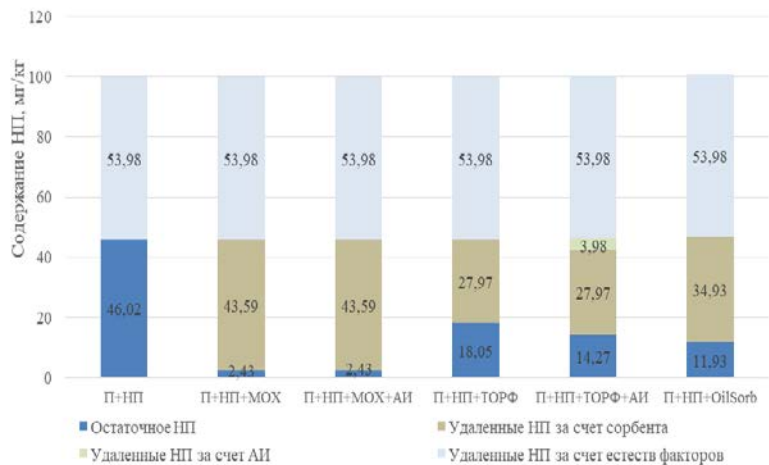
1 сутки



5 сутки



14 сутки



Скорость изменения концентрации остаточных НП

Краткие результаты исследования

6. Моделирование составов композитных сорбентов для эффективной ликвидации аварийных разливов нефти в условиях Арктического региона

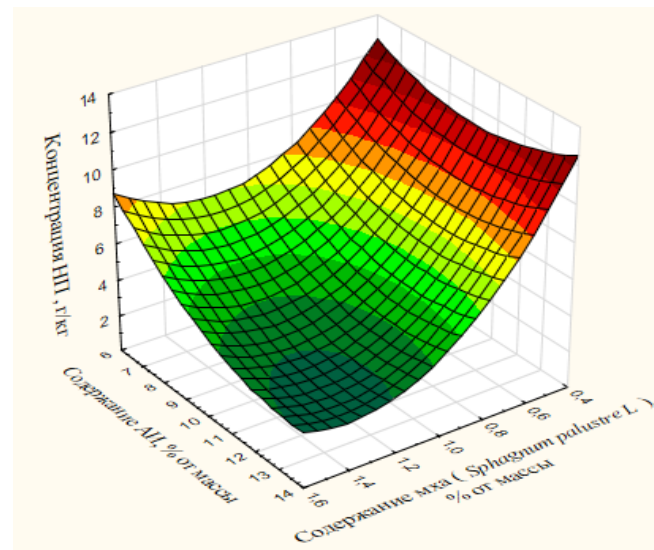
Факторы (компоненты), определяющие эффективность композитного сорбента

Факторы	Уровень			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
x – содержание мха (Sphagnum L.), (% от масс)	0,5	1	1,5	0,5
y – содержание активного ила, (% от масс)	6,7	10	13,3	3,3

Пример плана моделирования и оптимизации состава композитного сорбента

Опыт	План эксперимента				Массовая доля НП в образцах почв, X, г/кг
	Содержание мха (Sphagnum L.) в почве, (% от масс)		Содержание активного ила в почве (% от масс)		
	По матрице, x	В натуральном выражении	По матрице, y	В натуральном выражении	
1	0	1	0	10	0,95
2	+1	1,5	+1	13,3	0,875
3	-1	0,5	-1	6,7	11,00
4	-1	0,5	+1	13,3	9,30
5	+1	1,5	-1	6,7	6,34
6	0	1	+1	13,3	6,70
7	0	1	-1	6,7	6,95
8	-1	0,5	0	10	10,15
9	+1	1,5	0	10	6,35

Модель процесса очистки нефтезагрязненной почвы с помощью композитного сорбента



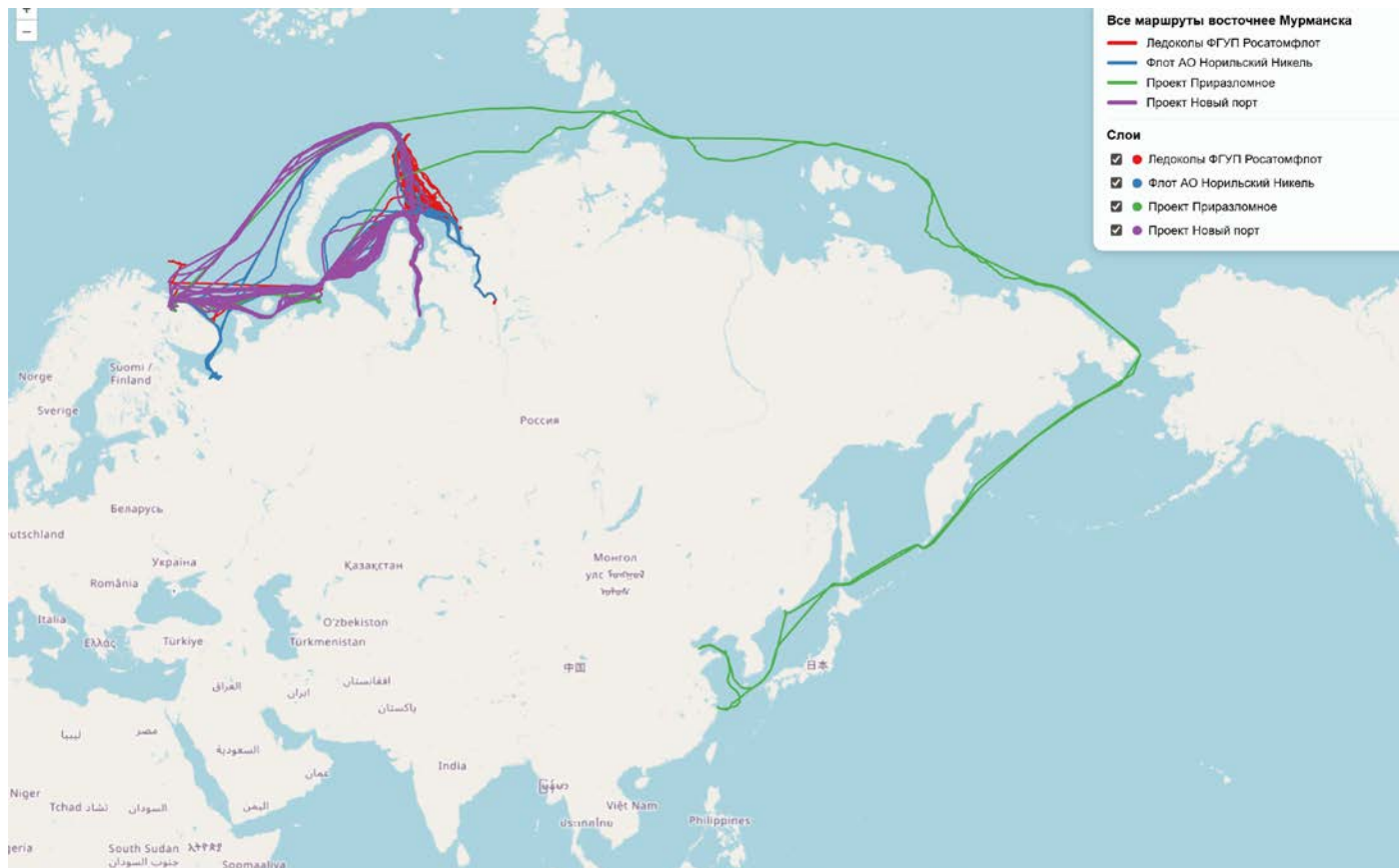
Получены математические модели (уравнения регрессий) описывающие процесс очистки нефтезагрязненных почв, связывающие массовую долю НП с изменяемыми факторами (различными соотношениями компонентов композитных сорбентов) с за 1, 7, 14, 28, 42, 56 сутки:

- 1) $X1 = 26,8508 + 2,3472 \cdot x + 0,3694 \cdot y - 0,069 \cdot x^2 - 0,0146 \cdot x \cdot y + 0,0012 \cdot y^2$;
- 2) $X7 = 38,8457 - 4,1109 \cdot x + 0,2218 \cdot y + 0,1098 \cdot x^2 - 0,0023 \cdot x \cdot y - 0,0007 \cdot y^2$;
- 3) $X14 = 52,0435 - 2,5027 \cdot x - 0,2665 \cdot y + 0,0539 \cdot x^2 + 0,0019 \cdot x \cdot y + 0,0007 \cdot y^2$;
- 4) $X28 = 36,1534 - 2,3628 \cdot x - 0,1351 \cdot y + 0,0599 \cdot x^2 + 0,0012 \cdot x \cdot y + 0,0003 \cdot y^2$;
- 5) $X42 = 14,2442 - 0,7392 \cdot x - 0,0478 \cdot y + 0,0235 \cdot x^2 - 0,0011 \cdot x \cdot y + 0,0002 \cdot y^2$;
- 6) $X56 = 27,3043 - 19,6771 \cdot x - 1,7217 \cdot y + 9,8767 \cdot x^2 + 0,5705 \cdot x \cdot y + 0,0959 \cdot y^2$

Моделирование и оценка сценариев аварийного разлива нефти в акватории СМП

Инструмент : OpenDrift - открытый лагранжевый фреймворк на языке Python

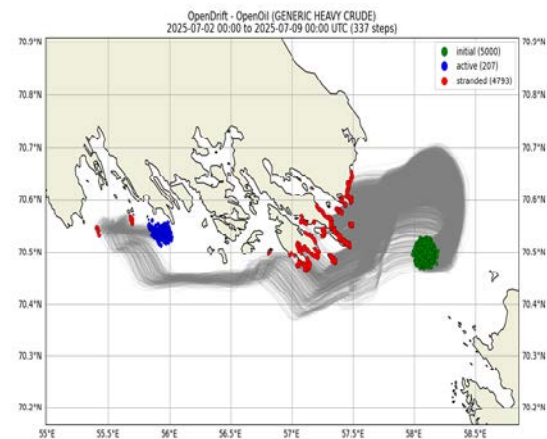
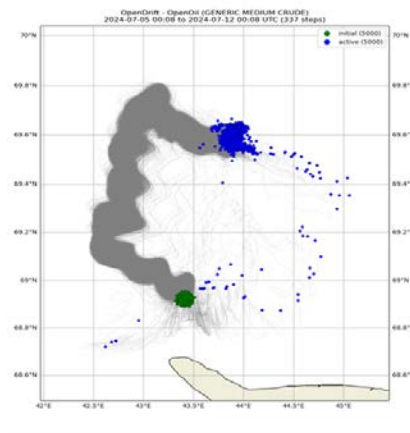
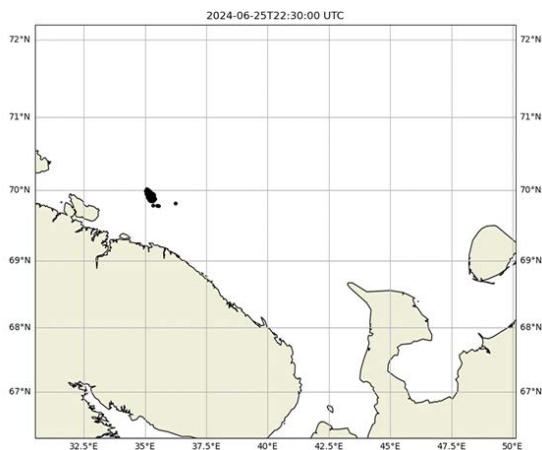
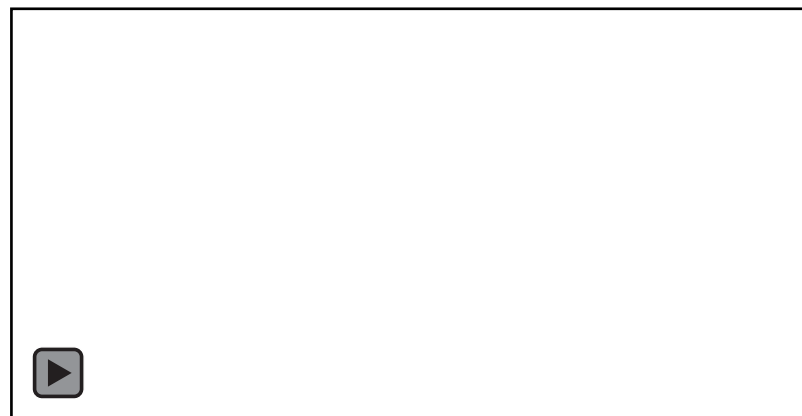
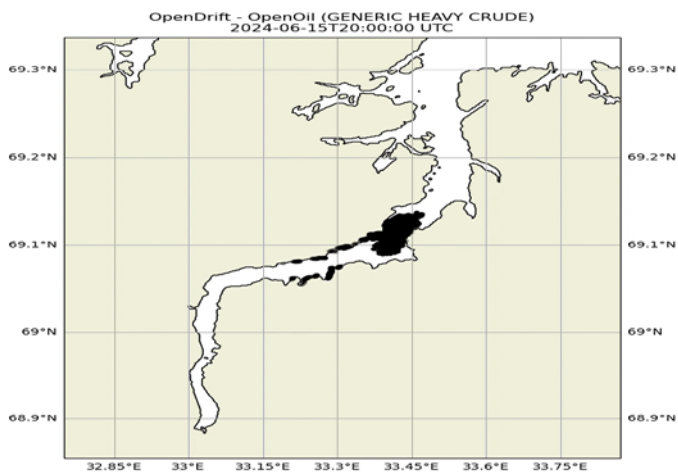
Задачи: анализ наиболее вероятных сценарии разливов с учетом маршрутов транспортировки углеводородов в акватории СМП (месторождения и пункты перевалки нефти)



Моделирование и оценка сценариев аварийного разлива нефти в акватории СМП

Инст румент : OpenDrift - открытый лагранжев фреймворк на языке Python

Задачи: анализ наиболее вероятных сценарии разливов с учетом маршрутов транспортировки углеводородов в акватории СМП (месторождения и пункты перевалки нефти)



НЕОБХОДИМО:

Создание отечественной системы поддержки принятия решений по реагированию на аварийные разливы нефти в арктической акватории, включающей инструментарий по моделированию и прогнозированию нефтяного пятна, систему дифференцированных технологических решений по ЛАРН и банк данных по материалам и средствам ликвидации разливов

Составляющие:

1. Система принятия решений «Управление реагированием на загрязнение окружающей среды водным транспортом в Арктической зоне РФ».
2. Программные продукты для имитационного моделирования, прогнозирования, разработки сценариев разливов нефти и нефтепродуктов и оценке их рисков.
3. Методы и технологические подходы для локализации аварийных разливов нефти, очистки и восстановления прибрежных территорий в Арктической зоне РФ с учетом типа береговой линии и уязвимости загрязненного участка.
4. Средства и инструменты для сбора нефти и нефтепродуктов с поверхности воды в арктических условиях.

