

Научная статья

Original article

УДК 504.61

doi: 10.55186/2413046X\_2024\_9\_6\_291

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПРИБРЕЖНО-ВОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
ФИНСКОГО ЗАЛИВА К НЕФТЕРАЗЛИВАМ НА ПРИМЕРЕ  
ЭКОСИСТЕМЫ НЕВСКОЙ ГУБЫ  
ASSESSMENT OF THE STABILITY OF THE COASTAL WATERS OF  
THE GULF OF FINLAND TO OIL SPILLS ON THE EXAMPLE OF THE  
ECOSYSTEM OF THE NEVA BAY**



**Ефременко Валерия Викторовна**, аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, E-mail: [valeriyaefr@gmail.com](mailto:valeriyaefr@gmail.com)

**Абакумов Евгений Васильевич**, доктор биологических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, E-mail: [e\\_abakumov@mail.ru](mailto:e_abakumov@mail.ru)

**Чебыкина Екатерина Юрьевна**, кандидат биологических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, E-mail: [doublemax@yandex.ru](mailto:doublemax@yandex.ru)

**Efremenko Valeria Viktorovna**, graduate student, St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, E-mail: [valeriyaefr@gmail.com](mailto:valeriyaefr@gmail.com)

**Abakumov Evgeny Vasilyevich**, Doctor of Sciences in Biology, professor of professor, St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, E-mail: [e\\_abakumov@mail.ru](mailto:e_abakumov@mail.ru)

**Chebykina Ekaterina Yurievna**, Candidate of Sciences in Biology, associate professor, St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, E-mail: doublemax@yandex.ru

**Аннотация.** Целью исследования является изучение экологической устойчивости грунтов прибрежно-водных территорий Финского залива для разработки эффективных мер по предотвращению и минимизации воздействия аварийных разливов нефти. Особое внимание уделяется оценке влияния физико-химических характеристик грунтов на их способность сопротивляться нефтяным загрязнениям. Результаты исследования показали, что физико-химические характеристики грунтов значительно влияют на их устойчивость к загрязнению нефтью и нефтепродуктами. Грунты с высокой емкостью катионного обмена, насыщенностью основаниями и богатые органическим углеродом, особенно в районах с водной растительностью, демонстрируют лучшую способность к задержке и биодegradации нефтепродуктов. Участки с преобладанием супесей были идентифицированы как более устойчивые к нефтезагрязнениям. На основе полученных результатов разработана система оценки общей устойчивости прибрежно-водных территорий и даны рекомендации для обеспечения эффективной защиты и устойчивого развития прибрежно-водных экосистем Финского залива. Рекомендации включают меры по улучшению мониторинга состояния грунтов, внедрение технологий для повышения их устойчивости к нефтяным загрязнениям и разработку стратегий реагирования на аварийные разливы. Данные меры могут значительно снизить экологические риски, связанные с возможными аварийными ситуациями, и способствовать долгосрочной защите и сохранению природных ресурсов региона.

**Abstract.** The purpose of the study is to study the environmental sustainability of soils in the coastal waters of the Gulf of Finland in order to develop effective measures to prevent and minimize the impact of accidental oil spills. Special attention is paid to the assessment of the influence of the physico-chemical

characteristics of soils on their ability to resist oil pollution. The results of the study showed that the physico-chemical characteristics of soils significantly affect their resistance to pollution by oil and petroleum products. Soils with high cation exchange capacity, base saturation and rich in organic carbon, especially in areas with aquatic vegetation, demonstrate a better ability to delay and biodegrade petroleum products. Sandy loam-dominated areas were identified as more resistant to oil pollution. Based on the results obtained, a system for assessing the overall sustainability of coastal water areas has been developed and recommendations have been made to ensure effective protection and sustainable development of coastal aquatic ecosystems of the Gulf of Finland. The recommendations include measures to improve soil monitoring, the introduction of technologies to increase their resistance to oil pollution, and the development of emergency spill response strategies. These measures can significantly reduce the environmental risks associated with possible emergencies and contribute to the long-term protection and conservation of the region's natural resources.

**Ключевые слова:** экологическая устойчивость, прибрежно-водные территории, физико-химические характеристики грунтов, нефтяное загрязнение, оценка общей устойчивости

**Keywords:** environmental sustainability, coastal water areas, physical and chemical characteristics of soils, oil pollution, assessment of overall sustainability

#### Введение

Прибрежно-водные территории Финского залива представляют собой экосистемы, обладающие значительной экологической и социально-экономической значимостью по сравнению с более отдаленными и менее экономически развитыми морскими регионами. Они являются очагами биологического разнообразия и играют ключевую роль в региональной экономике, связанной с рыболовством, туризмом и рекреацией. Защита этих территорий от антропогенных воздействий, в частности от аварийных

разливов нефти, становится всё более важной задачей в контексте устойчивого развития региона [1].

Протяженность береговой линии Невской губы составляет около 100 км. Комплекс защитных сооружений и бетонированные берега протянулись примерно на 30 км. Одним из факторов воздействия на акваторию и берега восточной части Финского залива в последние десятилетия стали широкомасштабные работы по намыву новых территорий, дноуглублению и подводным отвалам грунта, которые неизбежно увеличивают экологические риски для акватории, в том числе возможность аварийных разливов нефти [24]. Активное судоходство, связанное с развитием портовых инфраструктур и увеличением грузоперевозок, в том числе нефтепродуктов, делает вопросы предотвращения и реагирования на нефтяные разливы особенно актуальными.

За последние десятилетия интерес к проблематике защиты морских и океанических территорий от аварийных разливов нефти активно растет [17]. Ущерб от нефтеразливов может быть многообразным и включать в себя экологические, экономические и социальные последствия. К экономическому ущербу можно отнести убытки рыболовства, снижение доходов от туризма и высокие расходы на очистку береговой линии и акватории. Социальные последствия включают в себя угрозу здоровью населения и потере рабочих мест в сфере туризма и рыбной отрасли, усугубляя социальное напряжение в обществе [14]. По данным HELCOM [38], аварийные разливы нефти могут вызвать долгосрочные изменения в морской биоте, влияя на популяции многих видов. Например, разлив нефти Deep Water Horizon в прибрежных водах Мексиканского залива в 2010 году, который часто называют самой масштабной экологической катастрофой в США, привел к гибели до 800 000 особей птиц и снижению численности смеющихся чаек (лат. *Leucorphaeus atricilla*) на побережье Мексиканского залива примерно на 60% [28].

Основные методы защиты береговой линии от нефтеразливов включают механическое удаление нефти, использование диспергаторов и биоремедиацию. Важным этапом в борьбе с последствиями разливов является быстрый отклик аварийно-спасательных формирований и эффективная система мониторинга [26]. Подготовка к возможным аварийным ситуациям и знание особенностей местной экосистемы позволяют минимизировать потенциальный ущерб [21].

Многие стратегии защиты прибрежных территорий отразились в законодательных актах и национальных стратегиях различных стран. Например, в США действует Oil Pollution Act (1990), принятый после разлива нефти при аварии нефтяного танкера Exxon Valdez у берегов Аляски. Закон устанавливает строгие меры ответственности для владельцев судов и нефтяных платформ, требуя от них разработки и реализацию планов предотвращения и реагирования на разливы. Европейский союз (ЕС) принял ряд директив, направленных на предотвращение морского загрязнения. Например, Директива по безопасности нефтедобычи на море (2013/30/EU) требует от государств-членов обеспечивать строгие меры безопасности на платформах, расположенных в их водах. Российское законодательство также регулирует вопросы, связанные с предотвращением и ликвидацией нефтеразливов. Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ устанавливает общие принципы охраны окружающей среды, в том числе меры по предотвращению аварий, связанных с нефтеразливами [39; 15; 31].

В контексте российского законодательства, ПЛАРН (план ликвидации аварийных разливов нефти), разрабатываемый предприятиями, осуществляющие деятельность, связанную с добычей, транспортировкой, хранением, переработкой и использованием нефти и нефтепродуктов в целях определения мер по предотвращению возникновения аварийных ситуаций, создания системы оперативного реагирования на аварийные разливы,

разработки методов и средств для быстрого и эффективного ликвидации разливов с минимальным ущербом для окружающей среды и здоровья людей, планирования мероприятий по восстановлению окружающей среды после ликвидации разлива, играет ключевую роль в предотвращении и управлении последствиями нефтяных разливов. С целью комплексного подхода к защите прибрежно-водных территорий необходимо учитывать специфические характеристики каждой зоны (биологические, геоморфологические и гидродинамические аспекты), что подчеркивает важность адаптации ПЛАРН к конкретным условиям местности, чтобы обеспечить не только немедленное реагирование на аварийные разливы, но и долгосрочную защиту и восстановление экосистем. Важно отметить, что существующие ПЛАРН часто не учитывают устойчивость прибрежно-водных территорий к нефтеразливам, сосредотачиваясь, главным образом, на непосредственных мерах по ликвидации разливов. Включение комплексного подхода, основанного на понимании уникальных характеристик каждого прибрежного участка, может значительно повысить эффективность ПЛАРН и способствовать более устойчивому управлению прибрежно-водными ресурсами [30; 34].

При рассмотрении сценария аварийного разлива нефти вблизи судоходных маршрутов участки, расположенные вблизи них, наиболее подвержены нефтезагрязнению. Данный факт требует незамедлительную реакцию на возникающие инциденты. Как правило, ресурсы для борьбы с загрязнением могут быть ограничены, поэтому участки вблизи судоходных маршрутов требуют особого внимания и стратегического планирования для минимизации рисков, связанных с нефтезагрязнениями, в частности улучшение мер по предотвращению аварий, повышение готовности реагировать на разливы и восстанавливать затронутые экосистемы.

В сценарии аварийного разлива нефти, происходящего вдали от судоходных маршрутов, участки, не находящиеся в непосредственной

близости к интенсивному морскому трафику, могут испытывать меньшее прямое воздействие. Однако они всё равно подвержены риску, особенно если нефтяное загрязнение распространяется за счёт течений и ветров. Такие участки требуют разработки долгосрочных стратегий мониторинга и мер по восстановлению, учитывающих вероятность отдалённого, но значительного воздействия разливов нефти на экосистемы и местную экономику.

Разработка оптимальных решений требует глубокого изучения специфики каждого конкретного региона, включая геологические, химические и биологические характеристики территорий [2]. Изменение физико-химических характеристик грунтов данных территорий может оказать существенное влияние на биологическое разнообразие и функционирование экосистемы [23].

Целью настоящего исследования является ранжирование участков прибрежно-водных территорий Финского залива на примере Невской губы по параметрам устойчивости к нефтяному загрязнению на основе анализа физико-химических характеристик грунтов. Исследование направлено на выявление особенностей природной среды данного региона и получение исходных данных для разработки стратегии защиты участков береговой линии Невской губы при аварийном разливе нефти и нефтепродуктов. Задачами исследования являются:

- определить основные участки отбора проб и установить ключевые критерии их выбора;
- провести анализ физико-химических характеристик грунтов прибрежно-водных территорий Финского залива на примере Невской губы;
- разработать предложения по стратегии защиты и восстановления береговой линии Невской губы в случае нефтеразливов.

Рабочая гипотеза настоящего исследования состоит в том, что устойчивость грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы Финского залива к аварийным разливам нефти и нефтепродуктов зависит от

определенных комбинаций показателей физико-химических характеристик данной территории. Понимание данных особенностей позволит разработать наиболее эффективные методы защиты и реабилитации береговой линии при возможных нефтяных авариях.

#### Объекты и методы исследований

С целью оценки прибрежно-водных территорий Невской губы с точки зрения устойчивости к разливу нефти летом 2022 года изучена морфология побережья береговой линии.

Для этого выполнено предварительное исследование, включающее в себя анализ и обработку данных дистанционного зондирования, а также доступных визуальных и видеоизображений с целью выявления ключевых участков для изучения и отбора проб.

При определении ключевых участков для изучения и отбора проб выбраны следующие критерии:

- морфогенетический тип берегов: аккумулятивный песчаный со сложными косами, абразионный моренный (валунный), аккумулятивный песчаный;
- наличие водной растительности (ВР);
- местоположение относительно основных судоходных маршрутов нефтеналивных танкеров: на удалении от судоходных маршрутов (> 6 км), поблизости судоходных маршрутов (< 6 км).

В результате отобрано 8 потенциальных участков для отбора проб, которые учитывают все перечисленные выше критерии. На основе выделенных критериев отбора составлена таблица участков отбора проб.

Таблица 1. Участки отбора проб

	ВР	без ВР
	> 6 км от судоходных маршрутов	
1*	Северный берег заказника "Западный Котлин" (СБЗКвр)	Северный берег заказника "Западный Котлин" (СБЗК)
2	Заказник «Северное побережье Невской губы» (СПНГвр)	Заказник «Северное побережье Невской губы» (СПНГ)
3	-**	-



< 6 км от судоходных маршрутов		
1	-	-
2	Заказник «Южное побережье Невской губы» (ЮПНГвр)	Берег от Дудергофского канала на запад Стрельны (ЖП)
3	Южный берег заказника "Западный Котлин" (ЮБЗКвр)	Южный берег заказника "Западный Котлин" (ЮБЗК)
* Морфогенетический тип берегов: 1 - аккумулятивный песчаный со сложными косами; 2 - абразионный моренный (валунный); 3 - аккумулятивный песчаный ** Участки для изучения, соответствующие выделенным критериям отбора, расположенные на объекте исследования (Невская губа), не диагностированы.		

Отбор проб осуществлялся в четырех равномерно расположенных точках в пределах литоральной зоны во время отлива (рисунок 1). Глубина отбора проб составляла 0-15 см. Проведена фотофиксация участков отбора проб для иллюстрации морфологических особенностей прибрежно-водных территорий.

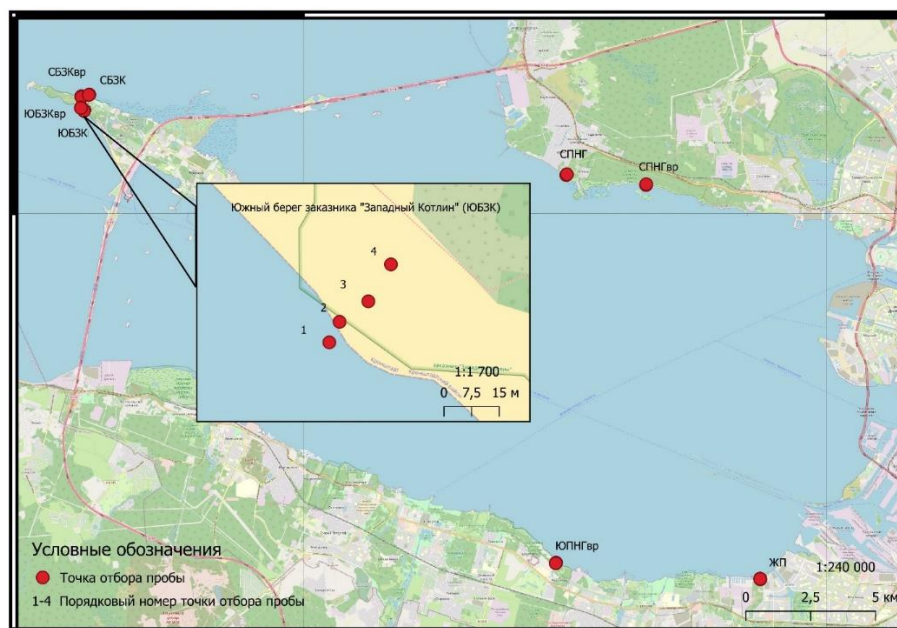


Рис. 1. Точки отбора проб грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

Общее количество отобранных проб составило 32. Отбор и подготовка проб осуществлялись в соответствии с требованиями [4; 12].

Анализ механического состава грунтов осуществлялся в соответствии с требованиями [3]. Определение емкости катионного обмена грунтов осуществлялся методом Е.В. Бобко и Д. Л. Аскинази в модификации П.П. Грабарова и З.А. Уваровой (вариант С.Н. Алешина) [24]. Определение содержания углерода органических веществ осуществлялся методом И.В. Тюрина [25]. Анализ кислотности осуществлялся в соответствии с [7; 8]. Степень насыщенности основаниями определялась как отношение суммы обменных катионов к сумме тех же катионов и величины гидролитической кислотности почвы, выраженное в процентах. Гидролитическая кислотность определялась согласно [6]. Сумма обменных катионов ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{N-NH}_4$ ) определялась на основе [9; 5; 11; 10]. Определение содержания массовой доли нефтепродуктов согласно [18].

#### Результаты исследования

В современном мире с развитием промышленности и урбанизации увеличивается интенсивность антропогенного воздействия на прибрежных территориях, происходит активное изменение береговых линий. Данная тенденция приводит к значительной трансформации морфологии прибрежных зон, что особенно заметно на примере Невской губы, где наблюдаются как естественные, так и искусственные изменения береговой линии.

Устойчивость прибрежно-водных территорий к нефтеразливам зависит от ряда критериев, а именно:

1. Морфогенетический тип берегов имеет прямое влияние на динамику и распределение нефтяных загрязнений в прибрежной зоне. Разные типы берегов имеют различные физические характеристики, включая механический состав, которые определяют, как они реагируют на загрязнение нефтью [16].

2. Физико-химические показатели грунтов оказывают существенное влияние на способность прибрежной зоны справляться с нефтяными загрязнениями [27].

3. Местоположение относительно основных судоходных маршрутов нефтеналивных танкеров: участки, находящиеся вблизи судоходных маршрутов, подвергаются повышенному риску нефтяных разливов из-за активности судов. Эти зоны требуют особого внимания в контексте мониторинга и предотвращения загрязнений [13].

Данные критерии, сочетаясь вместе, обеспечивают комплексный подход к оценке уязвимости прибрежных территорий к нефтяным загрязнениям и разработке стратегий их предотвращения и ликвидации.

#### Морфология побережья Невской губы

На примере прибрежно-водных территорий Невской губы рассмотрены морфогенетические типы берегов: аккумулятивный песчаный со сложными косами; абразионный моренный (валунный); аккумулятивный песчаный. Наиболее распространенным морфогенетическим типом берегов прибрежно-водных территорий Невской губы является аккумулятивный песчаный берег.

Аккумулятивный песчаный со сложными косами формируется в результате накопления песка, приносимого водными потоками. Косы — это узкие полосы песка или гальки, вытянутые вдоль побережья, обычно с одного конца прикрепленные к суше, а другим уходящие в воду (рисунок 2).



Рис. 2. Южный берег заказника "Западный Котлин"

В конце 1970-х годов площадь аккумулятивных песчаных тел составляла 2,24 км<sup>2</sup>, в том числе площадь вдольберегового песчаного бара – 0,65 км<sup>2</sup>. К 2003 г. общая площадь зоны аккумуляции сократилась на 80% (до 0,5 км<sup>2</sup>) [40].

Абразионные берега формируются в результате разрушительного действия волн на твердые участки побережья. Такие берега часто покрыты валунами и галькой, и их характеризует отсутствие тонких осадочных материалов, таких как песок или ил (рисунок 3).



Рис. 3. Мыс Лисий Нос [20]

Основная доля абразионных берегов приходится на Курортный район Санкт-Петербурга и составляет 72% береговой зоны района.

Стоит отметить, что берега восточной части Невской губы испытали настолько значительное антропогенное воздействие, что на данный момент относятся преимущественно к техногенному типу [35]. Пример наиболее значительных изменений, вызванных техногенными процессами, - вершина Лужской губы, где в результате выемки песков для строительства порта произошла полная деградация песчаного бара. Развивающаяся антропогенная деятельность приводит к изменению естественных ландшафтов, трансформируя их и оказывая стрессовое воздействие на прибрежную среду. На рисунке 4 оранжевым цветом показана площадь искусственно сформированных прибрежных территорий.

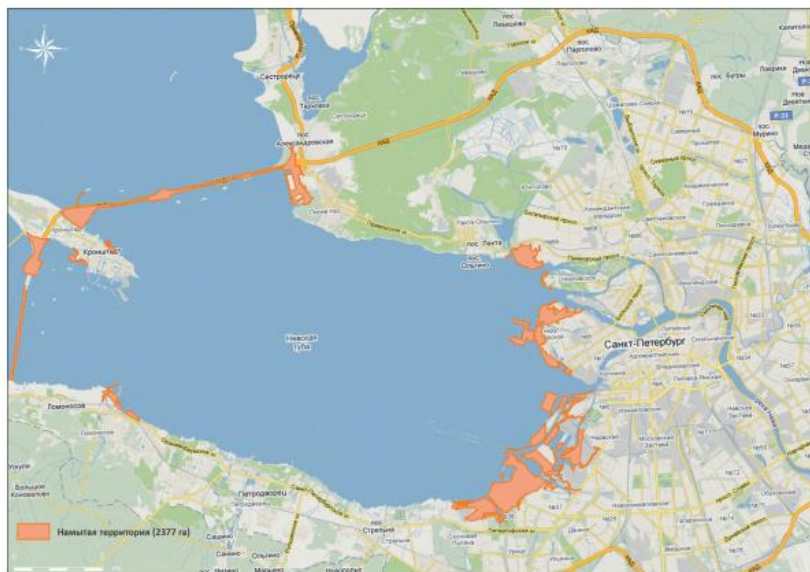


Рис. 4. Искусственно сформированные прибрежные территории  
Невской губы [6]

Протяженность и тип береговой линии играют ключевую роль в определении устойчивости территории к нефтеразливам. Аккумулятивные песчаные берега обладают естественной гибкостью и способностью к самовосстановлению, делая их относительно устойчивыми к эрозии и антропогенным воздействиям. В отличие от этого, абразионные берега могут быть менее устойчивыми к нефтяным загрязнениям по сравнению с песчаными берегами, поскольку нефтепродукты могут проникать в мелкие трещины и поры между камнями, что затрудняет их удаление. Кроме того, отсутствие значительной вегетации на таких берегах может снижать естественную способность экосистемы к самовосстановлению после загрязнения. Техногенные берега, сформированные в результате человеческой деятельности, снижают способность этих зон к самовосстановлению.

#### Механический состав и емкость катионного обмена

По механическому составу исследованные грунты относятся преимущественно к пескам рыхлым и супесям. Супеси по результатам

определения емкости катионного обмена имеют большую поглотительную способность по сравнению с песками (Таблица 2).

Таблица 2. Результаты анализа механического состава и емкости катионного обмена проб грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

Участок отбора проб	№ точки отбора пробы	№ точки отбора пробы в пределах литоральной зоны	Класс грунта по механическому составу	Разновидность грунта по механическому составу	ЕКО, мг-экв	Поглотительная способность грунтов*
> 6 км от судоходных маршрутов						
СБЗК	1	1	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	13,83	Низкая (ЕКО = 5,1-15 мг-экв/100 г)
	2	2	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	12,44	Низкая (ЕКО = 5,1-15 мг-экв/100 г)
	3	3	супеси	пылевато-песчаные	40,72	Умеренно высокая (ЕКО = 35,1-45 мг-экв/100 г)
	4	4	супеси	пылевато-песчаные	1,49	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
СПНГ	5	1	супеси	пылевато-песчаные	30,50	Средняя (ЕКО 25,1-35 мг-экв/100 г)
	6	2	супеси	пылевато-песчаные	0,97	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	7	3	пески рыхлые	мелкозернистые гравелистые	33,37	Средняя (ЕКО 25,1-35 мг-экв/100 г)
	8	4	супеси	пылевато-песчаные	1,47	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
СБЗКвр	9	1	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,49	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	10	2	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,98	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	11	3	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,46	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-

						экв/100 г)
	12	4	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	4,98	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
СПНГвр	13	1	супеси	пылевато-песчаные	17,63	Умеренно низкая (ЕКО = 15,1-25 мг-экв/100 г)
	14	2	супеси	гравелисто-песчаные	40,48	Умеренно высокая (ЕКО = 35,1-45 мг-экв/100 г)
	15	3	супеси	гравелисто-песчаные	30,82	Средняя (ЕКО = 25,1-35 мг-экв/100 г)
	16	4	пески рыхлые	мелкозернистые гравелистые	23,44	Умеренно низкая (ЕКО = 15,1-25 мг-экв/100 г)
< 6 км от судоходных маршрутов						
ЮБЗК	17	1	супеси	пылевато-песчаные	0,49	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	18	2	супеси	пылевато-песчаные	0,49	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	19	3	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,94	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	20	4	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	1,96	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
ЖП	21	1	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	3,49	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	22	2	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,46	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	23	3	супеси	пылевато-песчаные	1,43	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	24	4	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	1,38	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
ЮБЗКвр	25	1	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,94	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	26	2	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,99	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)

	27	3	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	0,48	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
	28	4	супеси	пылевато-песчаные	0,91	Очень низкая (ЕКО < 5 мг-экв/100 г)
ЮПНГ р	29	1	супеси	гравелисто-песчаные	29,41	Средняя (ЕКО = 25,1-35 мг-экв/100 г)
	30	2	супеси	гравелисто-песчаные	24,17	Умеренно низкая (ЕКО = 15,1-25 мг-экв/100 г)
	31	3	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	8,76	Низкая (ЕКО = 5,1-15 мг-экв/100 г)
	32	4	пески рыхлые	среднезернистые гравелистые	11,18	Низкая (ЕКО = 5,1-15 мг-экв/100 г)
* Шкала ранжирования поглотительной способности грунтов по А.А. Васильеву, В.П. Дьякову, 1996						

Механический состав имеет значительное влияние на устойчивость грунта к нефтяному загрязнению. Это связано с различиями в физических и химических свойствах песков и супесей и их влиянии на поведение нефтепродуктов в почвенной среде.

Песок за счет крупных частиц обеспечивает хорошую воздухопроницаемость и дренирование грунта. Это способствует быстрой аэрации, уменьшению аккумуляции влаги и исключению дальнейшего образования стока. На песчаных грунтах влага меньше задерживается в верхних слоях, и быстрее просачивается вглубь грунта. В результате нефтепродукты, попадая на поверхность, могут быстро распространяться вниз и достигать грунтовых вод, что усиливает риск загрязнения подземных вод.

Песчаные грунты, как правило, также обладают низкой емкостью катионного обмена и ограниченной способностью к удержанию нефти и нефтепродуктов. Это может способствовать более быстрому распространению нефтепродуктов в окружающей среде.



Супеси характеризуются присутствием более тонких фракций, что создает плотную агрегатную структуру грунта и уменьшает водопроницаемость, а также может приводить к накоплению влаги в верхних слоях и дальнейшим затоплениям с учетом ряда факторов, включая рельеф, климатические условия и системы водоотведения конкретной местности.

Более высокая емкость катионного обмена у супесей по сравнению с песками способствует эффективному поглощению нефтяных загрязнений. Обменные ионы на поверхности элементарных частиц грунта могут связываться с нефтепродуктами и удерживать их в верхних слоях грунта.

В сочетании с другими компонентами грунта супеси могут способствовать формированию агрегатов в грунте, которые служат барьерами для распространения нефтепродуктов вглубь грунта и до грунтовых вод. Агрегаты в почве действуют как барьеры для нефтепродуктов в основном из-за своей способности фильтровать и адсорбировать частицы. Органические компоненты, входящие в состав агрегатов, могут адсорбировать углеводороды нефти, временно удерживая их и препятствуя проникновению в грунтовые воды.

Заказник "Западный Котлин", как на южном, так и на северном берегах, демонстрирует равное соотношение супесей и песков. В то же время, при наличии водной растительности в заказнике "Западный Котлин" преобладают пески как на южном, так и на северном берегах.

Для Северного побережья Невской губы вне зависимости от наличия водной растительности характерно преобладание супесей. Супеси обладают более высокой плотностью по сравнению с песками, встречающимися на других исследованных территориях.

Грунты на исследованных территориях неоднородны по своему гранулометрическому составу, причем наличие или отсутствие водной растительности может влиять на структуру грунтов. Корневые системы растений могут снизить скорость миграции нефтепродуктов в грунте,

ограничивая глубину проникновения и распространения загрязнения. Корни могут физически препятствовать перемещению нефтепродуктов в глубокие слои грунта, действуя как барьер. Некоторые растения способны поглощать и накапливать определенные загрязнители, включая углеводороды, что может снизить их мобильность в грунте.

Емкость катионного обмена грунтов (ЕКО) – максимальное количество катионов, способное удерживаться твердой фазой грунта и обмениваться на катионы раствора. Обычно песчаные и супесчаные грунты имеют невысокую ЕКО из-за относительно низкого содержания глинистых минералов и органического вещества.

На ряде исследованных участков зафиксирована умеренно высокая и средняя емкость катионного обмена. К примеру, грунты северного берега заказника "Западный Котлин" демонстрировали умеренно высокую ЕКО, а грунты с Северного побережья Невской губы показали различную емкость катионного обмена, включая как умеренно высокую, так и среднюю ЕКО.

Можно предположить, что грунты Северного побережья Невской губы имеют повышенную емкость катионного обмена по причине большего содержания углерода органических соединений. Органическое вещество грунта имеет высокую ЕКО из-за наличия функциональных групп (карбоксильные, фенольные, карбонильные, аминогруппы), способных к обмену катионами [29].

Рассмотрим дополнительные химические показатели объектов исследования.

#### Содержание углерода органических соединений

По результатам проведенного анализа содержание углерода органических соединений в пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы без водной растительности варьирует от 0,01 до 0,47% (рисунок 5).

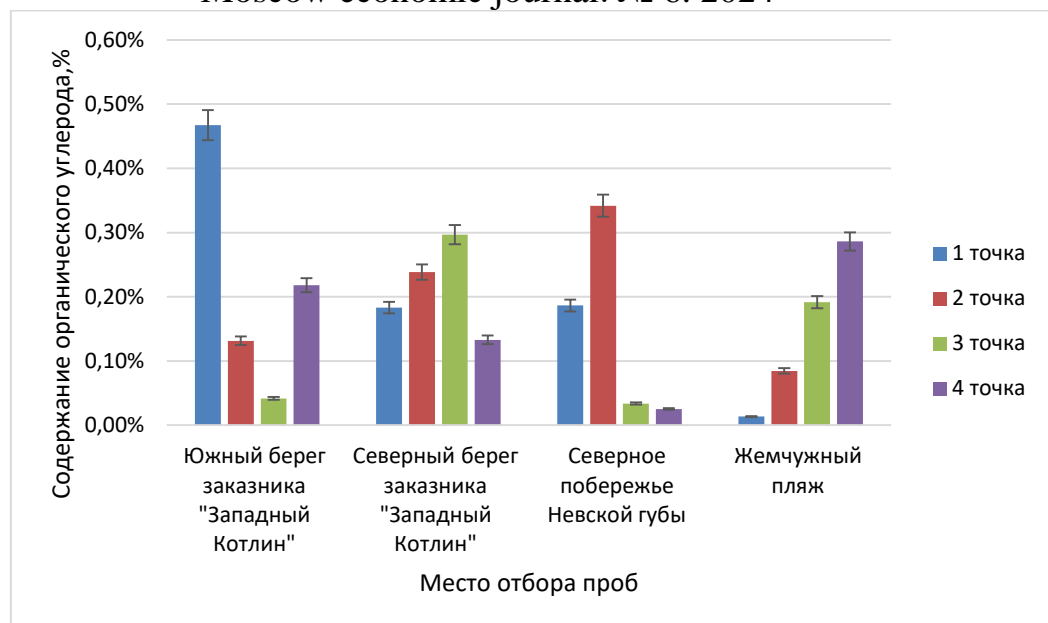


Рис. 5. Содержание углерода органических соединений по методу И.В.Тюрина в отобранных пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы без водной растительности

В пробах с водной растительностью концентрация углерода значительно выше, варьирует от 0,07% до 12,27% (рисунок 6). Подобное различие в содержании углерода указывает на ключевую роль водной растительности в накоплении и сохранении органического вещества в прибрежных экосистемах.

Содержание углерода органических соединений ( $C_{орг}$ ) в пробах с водной растительностью превышает  $C_{орг}$  в пробах без водной растительности. Статистический анализ показал, что это различие является статистически значимым на уровне значимости  $\alpha = 0,05$ .

Рисунок 7 показывает зависимость содержания углерода органических соединений и емкости катионного обмена в отобранных пробах грунтов. Наблюдается положительная корреляция (0,53) между ЕКО и содержанием органического углерода, что подтверждает предположение, что грунты Северного побережья Невской губы имеют повышенную емкость катионного

обмена по причине большего содержания углерода органических соединений.

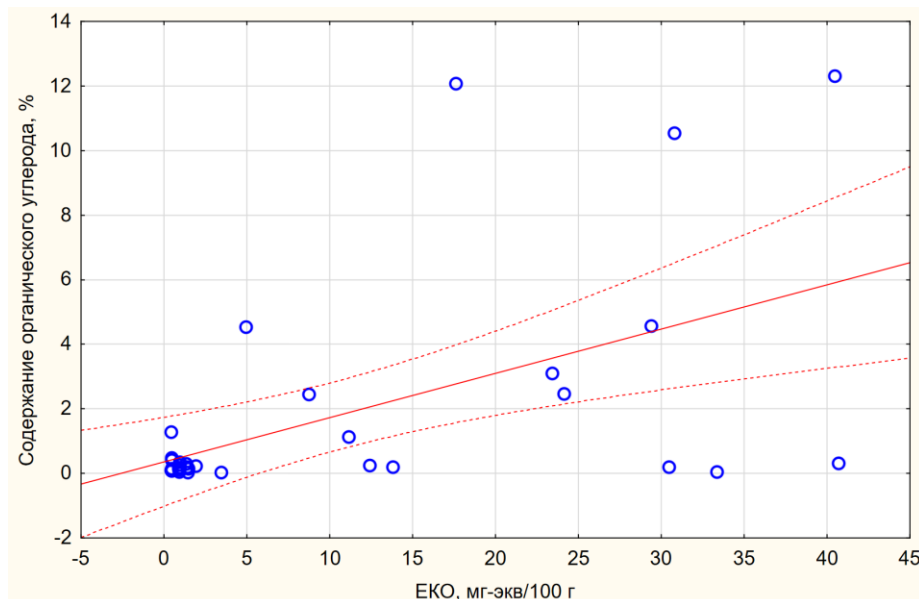


Рис. 7. Зависимость углерода органических соединений и емкости катионного обмена в отобранных пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

$S_{орг}$  в грунтах оказывает существенное влияние на их устойчивость к нефтяному загрязнению. Углерод органических веществ, содержащийся в грунтах и почве, может выступать важной компонентой в процессах связывания и удержания нефтяных загрязнений. Данные процессы служат основой для понимания механизмов взаимодействия грунта с нефтепродуктами и разработки методов ремедиации при ликвидации последствий загрязнения.

Органические вещества обладают высокой способностью адсорбировать нефтепродукты [33]. Углерод может образовывать химические связи и ассоциации с нефтяными компонентами, что приводит к их удержанию в грунте. Большее содержание  $S_{орг}$  в грунтах может способствовать более эффективному захвату и задержанию нефтяных веществ, что снижает их миграцию и распространение.

Высокое  $C_{\text{орг}}$  может способствовать развитию биологической активности в грунте, являясь источником питательных веществ для микроорганизмов. Биологическая активность способствует биоразложению нефтепродуктов и их превращению в менее токсичные и более стабильные соединения, например, углекислый газ ( $\text{CO}_2$ ) и вода ( $\text{H}_2\text{O}$ ) [36].

Оптимальная агрегатная структура и воздухоёмкость грунтов, связанные с высоким содержанием органического вещества, способствуют снижению горизонтальной и вертикальной миграции нефтепродуктов, локализуя их в конкретных горизонтах, снижая риск распространения загрязнения на большие территории [19].

Однако высокое  $C_{\text{орг}}$  как природного так и антропогенного происхождения, включая углерод, содержащийся в нефтепродуктах, приводит к перенасыщению метаболического комплекса и замедлению процессов биодegradации. Накопление токсичных веществ в грунтах приводит к негативному воздействию на окружающую среду. Частота таких случаев зависит от множества факторов, включая уровни промышленной безопасности, географическое положение, меры по предотвращению аварий и эффективность системы управления экологическими рисками на предприятиях и в регионах.

Грунты северного берега заказника "Западный Котлин", демонстрировали умеренно высокую ЕКО, однако по результатам исследований не показали повышенное  $C_{\text{орг}}$ , что может говорить о иных причинах повышения ЕКО, в том числе антропогенное воздействие. Примерами антропогенного воздействия могут служить незаконное внесение промышленных отходов в грунты, тяжелых металлов и других загрязнителей (некоторые тяжёлые металлы могут адсорбироваться почвенными частицами, участвуя в катионном обмене, однако это также может привести к ухудшению качества грунта и снижению его биологической активности, что в долгосрочной перспективе негативно скажется на ЕКО), изменение агрегатной структуры

грунта при строительстве, земледелии и других видах землепользования. Механическое воздействие на почву, такое как строительство и другие виды землепользования, может улучшить аэрацию и водопроницаемость грунта, что способствует развитию микроорганизмов и увеличению органического вещества в почве. Емкость катионного обмена (ЕКО) почвы тесно связана с содержанием органических веществ и активностью микроорганизмов. Органическое вещество, обогащая почву гумусом, увеличивает ЕКО, что способствует удержанию питательных элементов и улучшает плодородие. Микроорганизмы, разлагая органические остатки, не только обогащают почву, но и влияют на её способность к катионному обмену. Однако интенсивное и неумеренное использование земли может привести к уплотнению почвы, ухудшению её структуры и, как следствие, снижению ЕКО.

*Степень насыщенности основаниями и содержание нефтепродуктов*

Анализ кислотности, степени насыщенности основаниями и содержания нефтепродуктов в пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы, представленный в таблице 3, выявил следующие ключевые аспекты: степень насыщенности основаниями в большинстве образцов составляет менее 50%, что указывает на относительно низкий уровень химической активности грунтов в данной области. В контексте степени насыщенности основаниями, химическая активность относится к способности грунта обмениваться определенными катионами, такими как кальций ( $\text{Ca}^{2+}$ ), магний ( $\text{Mg}^{2+}$ ), калий ( $\text{K}^+$ ) и натрий ( $\text{Na}^+$ ). Низкая степень насыщенности основаниями обычно свидетельствует о низком содержании этих катионов, что может снижать плодородие почвы и её способность к восстановлению после воздействия внешних факторов, включая загрязнения нефтепродуктами. Также, по содержанию нефтепродуктов образцы грунта классифицируются как соответствующие первому и второму уровням загрязнения, что означает наличие допустимых и низких уровней загрязнения

соответственно [22]. Кроме того, измерения рН водной и солевой суспензии показывают, что грунты в исследуемой области преимущественно кислые.

Таблица 3. Результаты анализа кислотности, степени насыщенности основаниями и доли нефтепродуктов в пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

Участок отбора проб	№ точки отбора пробы	№ точки отбора пробы в пределах литоральной зоны	рН, ед				Кислотность гидролитическая, ммоль/100 г	Степень насыщенности основаниями, %	Массовая доля нефтепродуктов, мг/г	Уровень загрязнения*
			H <sub>2</sub> O	Градации кислотности почв по величине рН	KCl	Градации кислотности почв по величине рН				
> 6 км от судоходных маршрутов										
СБЗК	1	1	6,4	слабокислые	6,4	близкие к нейтральным	0,36	12,9	0,022	1 уровень, допустимый
	2	2	6,4	слабокислые	6,3	близкие к нейтральным	0,39	13,6	<0,005	1 уровень, допустимый
	3	3	6,4	слабокислые	5,9	близкие к нейтральным	0,35	7,9	<0,005	1 уровень, допустимый
	4	4	6,3	слабокислые	5,9	близкие к нейтральным	0,38	4,2	<0,005	1 уровень, допустимый
СПНГ	5	1	5,3	кислые	4,6	среднекислые	0,83	10,0	<0,005	1 уровень, допустимый
	6	2	4,9	кислые	4,3	сильнокислые	0,89	10,2	<0,005	1 уровень, допустимый
	7	3	5,8	слабокислые	5,2	слабокислые	0,6	14,9	0,063	1 уровень, допустимый
	8	4	5,1	кислые	4,5	сильнокислые	0,75	13,0	<0,005	1 уровень, допустимый
СБЗКвр	9	1	4,1	сильнокислые	3,7	сильнокислые	1,26	8,4	<0,005	1 уровень, допустимый

										мый	
	10	2						8,7	<0,005	1 уровень, допустимый	
			5,9	слабокислые	4,8	среднекислые	1,03				
	11	3						11,6	0,014	1 уровень, допустимый	
			5,9	слабокислые	5	среднекислые	1,01				
	12	4						8,5	0,018	1 уровень, допустимый	
			5,4	кислые	4,4	сильнокислые					
СПНГвр	13	1						14,2	11,3	0,11	2 уровень, низкий
			4,9	кислые	4,3	сильнокислые					
	14	2						13,9	13,0	0,08	1 уровень, допустимый
			4,9	кислые	4,4	сильнокислые					
	15	3						14,9	9,6	0,1	2 уровень, низкий
			4,5	кислые	4	сильнокислые					
	16	4						3,7	17,8	0,11	2 уровень, низкий
			6	слабокислые	5,2	слабокислые					
< 6 км от судоходных маршрутов											
ЮБЗК	17	1							60,2	<0,005	1 уровень, допустимый
			6,2	слабокислые	5,5	слабокислые	0,37				
	18	2						3,8	<0,005	1 уровень, допустимый	
			6,1	слабокислые	5,6	близкие к нейтральным	0,35				
	19	3						5,4	<0,005	1 уровень, допустимый	
			6,3	слабокислые	6,1	близкие к нейтральным	0,33				
	20	4						13,8	<0,005	1 уровень, допустимый	
			6,3	слабокислые	5,8	близкие к нейтральным	0,34				
ЖП	21	1							23,2	0,01	1 уровень, допустимый
			5,4	кислые	4,7	среднекислые	0,58				
	22	2						0,36	10,9	0,013	1 уровень, допустимый
			6,6	нейтральные	6	близкие к нейтральным					
	23	3						0,44	18,4	0,018	1 уровень, допустимый
			6,3	слабокислые	6,3	близкие к нейтральным					
	24	4						1,13	12,6	0,016	1
			5,9	слабокис	4,6	среднекис					



				лые		лые				уровень , допустимый
ЮБЗКвр	25	1					0,36	3,4	<0,005	1 уровень , допустимый
			6,3	слабокислые	5,7	близкие к нейтральным				
	26	2					0,37	3,8	<0,005	1 уровень , допустимый
			6,2	слабокислые	5,5	слабокислые				
ЮПНГвр	27	3					0,43	13,6	0,047	1 уровень , допустимый
			6,2	слабокислые	5,7	близкие к нейтральным				
	28	4					1,78	5,9	0,009	1 уровень , допустимый
			3,9	сильнокислые	3,7	сильнокислые				
ЮПНГвр	29	1					8,1	16,8	0,067	1 уровень , допустимый
			5,8	слабокислые	4,8	среднекислые				
	30	2					7,6	15,4	0,034	1 уровень , допустимый
			5,3	кислые	4,7	среднекислые				
ЮПНГвр	31	3					4,7	8,7	<0,005	1 уровень , допустимый
			4,9	кислые	4,2	сильнокислые				
ЮПНГвр	32	4					3,1	19,4	0,008	1 уровень , допустимый
			5,9	слабокислые	5,2	слабокислые				
* согласно Письму Роскомзема N 315/582 от 27.03.1995 г. «Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель»										

Низкая степень насыщенности основаниями указывает на потенциальную уязвимость грунтов и ухудшение условий в дальнейшем в результате нефтяного загрязнения. Это связано с тем, что присутствие нефти и нефтепродуктов в почве может способствовать изменению pH грунта и увеличению степени кислотности за счет окисления углеводородов и образования углекислого газа. Более высокая степень насыщенности основаниями, которую можно повысить, например, путём известкования, помогает улучшить буферные свойства почвы, способствуя нейтрализации

кислот и обеспечивая более эффективное самоочищение грунта от загрязнений, включая нефтяные компоненты.

Присутствие нефтепродуктов в пробах грунта или воды свидетельствует о воздействии человека на окружающую среду и сопряжено с рядом экологических рисков, включая потенциальное снижение биоразнообразия, ухудшение качества воды и почвы, а также негативное влияние на живые организмы. Несмотря на присутствие нефтепродуктов в пробах, большинство участков не достигают критически высоких уровней загрязнения, предоставляя возможность для эффективного восстановления посредством естественной биодegradации и реализации профилактических мер по предотвращению дальнейшего загрязнения, таких как контроль за источниками потенциального загрязнения, улучшение технологий добычи и транспортировки нефти, а также разработку планов экстренного реагирования на случаи разливов.

Преобладание кислых грунтов требует особого внимания к методам управления и восстановления экосистемы Невской губы, так как кислотность почвы увеличивает риск мобилизации тяжелых металлов и других токсичных веществ, повышая их доступность для биоты.

На рисунке 8 представлен кластерный анализ полученных данных. Анализ был выполнен с использованием метода Уорда, который минимизирует сумму квадратов различий внутри всех кластеров. Это иерархический метод, объединяющий переменные в кластеры на основе евклидовых расстояний между ними.

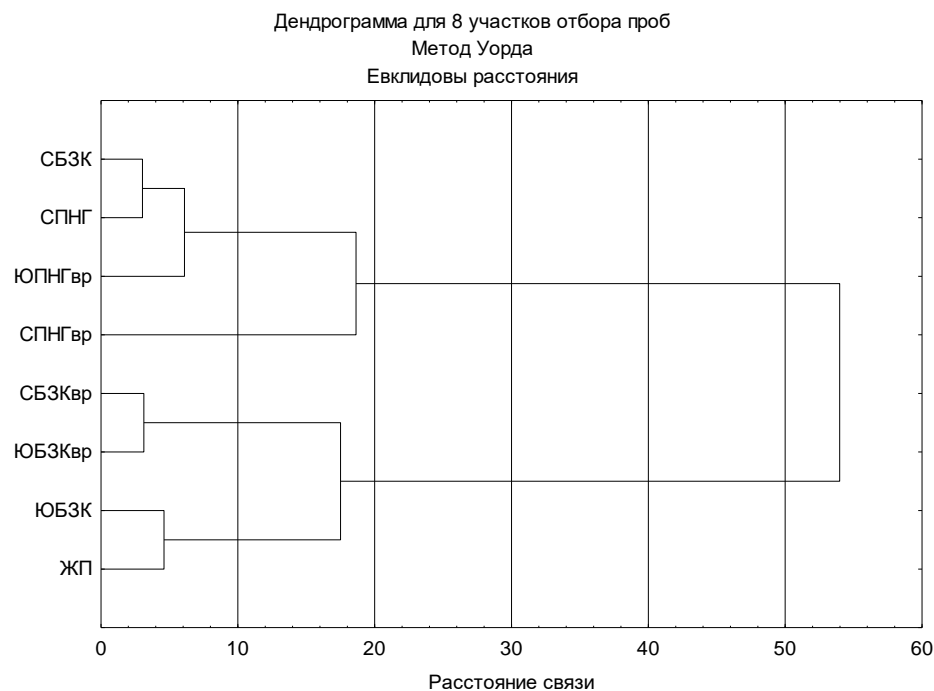


Рис. 8. Кластерный анализ данных химических параметров грунтов в зависимости от участка отбора проб грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

В рамках проведенного исследования был выполнен кластерный анализ восьми участков отбора проб, основанный на средних значениях измеренных химических параметров: ЕКО, степени насыщенности основаниями, Сорг, рНКСl, рНН2О и массовой доле нефтепродуктов. При установленном пороговом значении расстояния связи, равном 15,0609, были определены четыре кластера, демонстрирующие схожесть по ключевым параметрам. В таблице 4 представлены данные о принадлежности анализируемых объектов к определенным кластерам, что свидетельствует о характере распределения исследуемых участков по группам схожих химических характеристик.

Таблица 4. Принадлежность к кластеру исследуемых участков отбора проб грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

Расстояние связи = 15,0607	
Метод Уорда	
Евклидовы расстояния	
Участок отбора проб	Кластер
СБЗК	4
СПНГ	4
СБЗКвр	2
<b>СПНГвр</b>	<b>1</b>
ЮБЗК	3
ЖП	3
ЮБЗКвр	2
ЮПНГвр	4

Исходя из предоставленной таблицы, можно сделать вывод о том, что большинство участков распределены между 4 кластерами. Участок СПНГвр является единственным, входящим в кластер номер 1, что говорит о его уникальных химических характеристиках по сравнению с другими участками. Отличие участка СПНГвр может быть результатом уникальных экологических условий, различий в степени загрязнения или других факторов, влияющих на химический состав проб.

В таблице 5 представлена корреляционная матрица, исследуемых показателей в пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы, которая показывает степень взаимосвязи между различными переменными, связанными с физико-химическими свойствами грунтов. Значения корреляции варьируются от -1 до +1, где +1 означает идеальную прямую связь, -1 - идеальную обратную связь, а 0 - отсутствие связи.

Таблица 5. Корреляционная матрица, исследуемых показателей в пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

	ЕКО, мг- экв/1 00 г	Степень насыщенн ости основани ями, %	Массовая доля нефтепрод уктов, мг/г	Содержан ие органичес кого углерода, %	рН (солевая суспензи я), ед рН	рН (водна я суспен зия), ед рН
ЕКО, мг-экв/100 г	1,00					
Степень насыщенности основаниями, %	0,00	1,00				
Массовая доля нефтепродуктов, мг/г	<b>0,59</b>	0,06	1,00			
Содержание органического углерода, %	<b>0,53</b>	-0,02	<b>0,78</b>	1,00		
рН (солевая суспензия), ед рН	-0,14	0,09	-0,25	-0,43	1,00	
рН (водная суспензия), ед рН	-0,15	0,14	-0,24	-0,42	<b>0,93</b>	1,00

Стоит обратить внимание, что наблюдается положительная корреляция (0,53) между ЕКО и содержанием органического углерода, что указывает на то, что увеличение содержания органического углерода обычно связано с увеличением емкости катионного обмена. В биотопе высокий уровень органического углерода и ЕКО может способствовать разнообразию и активности микроорганизмов, которые участвуют в биодеградации органических загрязнителей, включая нефтепродукты. Это создает условия для активного микробного разложения нефти, превращая её в менее токсичные соединения и интегрируя в циклы круговорота веществ. В эдафотопе высокие значения ЕКО и органического углерода способствуют образованию устойчивой агрегатной структуры, улучшению влагопроницаемости и воздухообмена, что важно для поддержания здоровья корневых систем растений и целостности почвенной экосистемы в целом. Увеличение содержания нефтепродуктов, однако, может привести к дисбалансу в почвенной микрофлоре и негативно повлиять на почвенные

процессы, если не будет эффективно утилизировано микробными сообществами.

Умеренная положительная корреляция (0,59) показывает, что более высокое содержание нефтепродуктов может сопровождаться увеличением ЕКО.

В матрице также присутствует сильная положительная корреляция (0,78), указывающая на то, что высокие уровни органического углерода могут быть связаны с высокими уровнями нефтепродуктов в пробах грунта (рисунок 10).

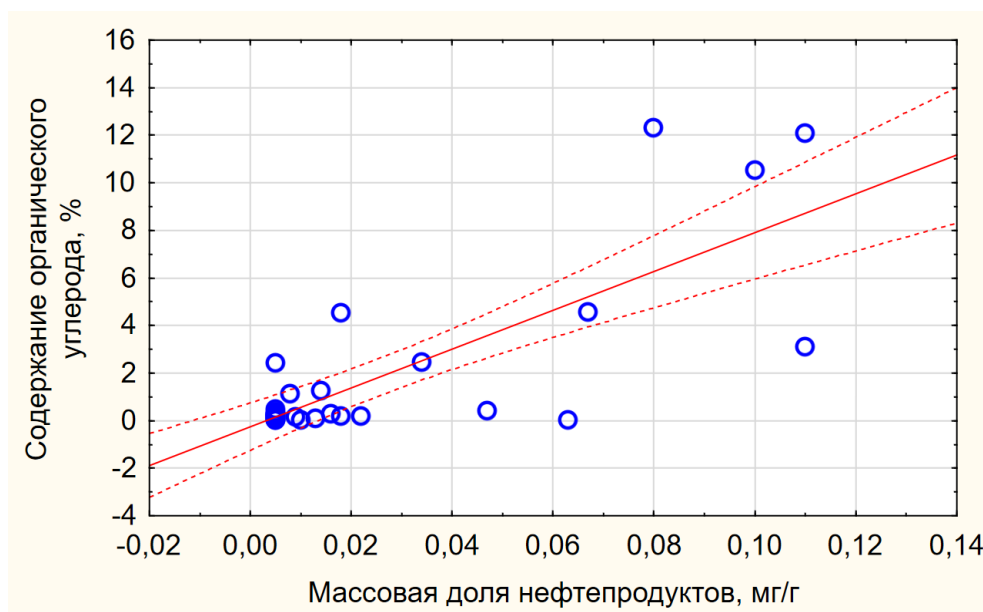


Рис. 10. Корреляция между содержанием органического углерода и массовой доли нефтепродуктов в пробах грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы

Исходя из представленного статистического анализа, химические характеристики почвы, в особенности ЕКО и содержание органического углерода, оказывают существенное влияние на количество нефтепродуктов в грунтах прибрежно-водных территорий Невской губы. Отмечено, что грунты, обогащённые органическим углеродом, имеющие нейтральный или слабощелочной уровень рН, а также характеризующиеся высокими значениями ЕКО и достаточной степенью насыщенности основаниями, как

правило, обладают лучшей способностью к задержанию и биодegradации нефтепродуктов.

*Разработка системы оценки общей устойчивости территории (ОУТ)*

В работе предложено рассчитать общую устойчивость территории (ОУТ) как взвешенную сумму оценок по каждому из показателей. Если предположить, что все показатели имеют равное значение, формула будет выглядеть следующим образом:

$$OYT = k_l \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i$$

где:

ОУТ - общая устойчивость территории,

N - количество показателей,

$P_i$  - оценка i-го показателя по пятибалльной шкале,

$k_l$  - вспомогательный коэффициент в случае, если участок находится вблизи судоходных маршрутов (< 6 км от судоходных маршрутов).

Вспомогательный коэффициент  $k_l$  рассчитывается по формуле:

$$k_l = 1 - \frac{E}{N} = 1 - \frac{3}{27} = 1 - 0,111 = 0,889$$

где:

E - количество инцидентов загрязнения нефтью вблизи судоходных маршрутов,

N - количество лет наблюдений.

На основании данных, собранных HELCOM в период с 1990 по 2016 год, в акватории Невской губы было зафиксировано три инцидента загрязнения

нефтью, все из которых произошли в непосредственной близости к судоходным маршрутам, на основе данной информации рассчитан  $k_1$  с учётом вероятности инцидента на акватории Невской губы.

С целью перевода полученных значений общей устойчивости территорий в проценты можно использовать следующую формулу:

$$\left( \frac{\text{Средний балл}}{\text{Максимальный балл}} \right) \times 100\%$$

Градация по изученным показателям позволит оценить устойчивость различных участков прибрежно-водных территорий к нефтяному загрязнению и сформировать приоритеты в плане защитных и восстановительных мер.

В рамках исследования каждый из ключевых показателей устойчивости прибрежно-водных территорий к нефтеразливам оценивается на основе пятибалльной шкалы. Эта оценка присваивается в соответствии с пределами изменчивости каждого показателя, как подробно показано в таблице 4.

Таблица 4. Пятибалльная шкала оценки критериев общей устойчивости прибрежно-водных территорий к нефтеразливам

Баллы	1	2	3	4	5
Показатель	Пределы изменения показателей				
рН, ед	3-4,5	4,5-6,5	6,5-7	7-8,5	>8,5
Содержание органического углерода (ОУ), %	Менее 2	2-4	4-6	6-10	Более 10
Емкость катионного обмена (ЕКО), мг-экв/100 г	<5	5-15	15-25	25-35	>35
Степень насыщенности основаниями, %	Менее 35	36-50	51-65	66-80	Более 80



Данный подход позволяет нам систематизировать характеристики каждой территории, обеспечивая тем самым точную и объективную оценку их способности противостоять воздействию нефтяных загрязнений. Каждый показатель оценивается от 1 до 5 баллов в зависимости от его количественных значений.

Оценка в 1 балл соответствует критическим условиям, которые могут значительно снижать устойчивость территории к нефтяным загрязнениям. С увеличением балла условия улучшаются и постепенно переходят в оптимальный диапазон, отражённый оценкой в 5 баллов, указывающей на благоприятные условия для устойчивости территории и её самоочищения.

Стоит отметить, что установление нижнего предела в 3-4,5 ед. для оценки рН в контексте экологической устойчивости учитывает, природные экосистемы с рН менее 3 крайне редки и обычно ограничены специфическими условиями, такими как серные источники или зоны высокой геотермальной активности. В большинстве природных и антропогенных экосистем такие условия не характерны, поэтому они редко рассматриваются в контексте общей устойчивости к нефтяным загрязнениям.

Разработана шкала для классификации грунтов по их устойчивости к нефтяному загрязнению на основе ИИУ:

Высокая устойчивость: ИИУ = 81% - 100%

Территории в этой категории обладают отличной способностью к самоочищению и восстановлению после нефтеразливов. Они характеризуются высокой эффективностью биodeградации нефтепродуктов и минимальным воздействием на экосистему.

Средняя устойчивость: ИИУ = 61% - 80%

Территории с таким рейтингом способны справляться с нефтеразливами, но могут требовать дополнительных усилий для восстановления. Эффективность биodeградации и самоочищения заметна, но в меньшей степени по сравнению с высокоустойчивыми территориями.

Ниже средней устойчивости: ИИУ = 41% - 60%

Эти территории демонстрируют умеренную способность к восстановлению после нефтеразливов. Влияние на экосистему может быть заметным, для восстановления потребуются значительные усилия.

Низкая устойчивость: ИИУ = 21% - 40%

Территории в этой категории плохо справляются с последствиями нефтеразливов. Экосистемы подвержены серьезному риску, и для их восстановления потребуются интенсивные и длительные меры.

Очень низкая устойчивость: ИИУ = 0% - 20%

Эти территории наиболее уязвимы к нефтеразливам, с минимальной или отсутствующей способностью к самоочищению. Восстановление экосистемы может оказаться крайне сложным и потребовать комплексных и дорогостоящих методов реабилитации.

Таблица 5. Классификация грунтов прибрежно-водных территорий Невской губы по степени устойчивости к нефтеразливам

Участок отбора проб	ИИУ, %	Классификации грунтов по степени устойчивости к нефтеразливам
> 6 км от судоходных маршрутов		
СБЗК	41%	Ниже средней устойчивости
СПНГ	39%	Низкая устойчивость
СБЗКвр	31%	Низкая устойчивость
СПНГвр	64%	Средняя устойчивость
< 6 км от судоходных маршрутов		
ЮБЗК	28%	Низкая устойчивость
ЖП	28%	Низкая устойчивость
ЮБЗКвр	27%	Низкая устойчивость
ЮПНГвр	42%	Ниже средней устойчивости

Данная классификация позволяет оценить потенциал территории к естественному восстановлению после нефтеразливов и определить, какие меры предотвращения и реагирования будут наиболее эффективными в зависимости от уровня устойчивости.

Основываясь на разработанной системе оценки общей устойчивости территории (ОУТ), можно сделать вывод, что степень устойчивости территорий к нефтеразливам в значительной мере зависит от ряда взаимосвязанных факторов, включая физико-химические характеристики берегов, состояние водной растительности, а также от близости к судоходным маршрутам. Комбинация этих элементов обеспечивает более точную картину потенциальной экологической устойчивости конкретных участков. Таким образом, именно комплексный подход к оценке различных факторов и сценариев является наиболее показательным для определения устойчивости прибрежных территорий к нефтеразливам.

Участки с преобладанием супесей над песками и наличием водной растительности оказались более устойчивыми к нефтеразливам (Заказник «Северное побережье Невской губы» (СПНГвр), Южный берег заказника «Западный Котлин» (ЮБЗКвр), Заказник «Южное побережье Невской губы» (ЮПНГвр)). Водная растительность в сочетании с высокой емкостью катионного обмена супесей способствует удержанию нефтепродуктов, ограничивая глубину проникновения и распространение загрязнения. Песчаные участки, особенно те, где отсутствует водная растительность, являются наиболее уязвимыми (Южный берег заказника "Западный Котлин" (ЮБЗК), Берег от Дудергофского канала на запад Стрельны (ЖП)). Высокая проницаемость песчаных грунтов способствует глубокому проникновению нефтепродуктов, увеличивая риск загрязнения грунтовых вод. Низкая емкость катионного обмена этих грунтов означает, что они менее эффективно удерживают нефтепродукты, что способствует их распространению.

Участки вблизи судоходных маршрутов нефтеналивных танкеров подвержены повышенному риску нефтезагрязнения из-за интенсивного морского трафика и операций с нефтепродуктами. Особое внимание

требуется уделить участкам прибрежно-водных территорий Невской губы вблизи судоходных маршрутов нефтеналивных танкеров, а именно: Заказник «Южное побережье Невской губы» (ЮПНГвр), Берег от Дудергофского канала на запад Стрельны (ЖП), Южный берег заказника "Западный Котлин" (ЮБЗКвр), Южный берег заказника "Западный Котлин" (ЮБЗК).

Исходя из проведенных кластерного анализа и оценки общей устойчивости территории, на рисунке 11 изученные участки ранжированы относительно их устойчивости к нефтеразливам. Стоит отметить, что именно Заказник «Северное побережье Невской губы» (СПНГвр) является единственным участком, входящим в свой кластер, что также отражается при расчете общей устойчивости территории.

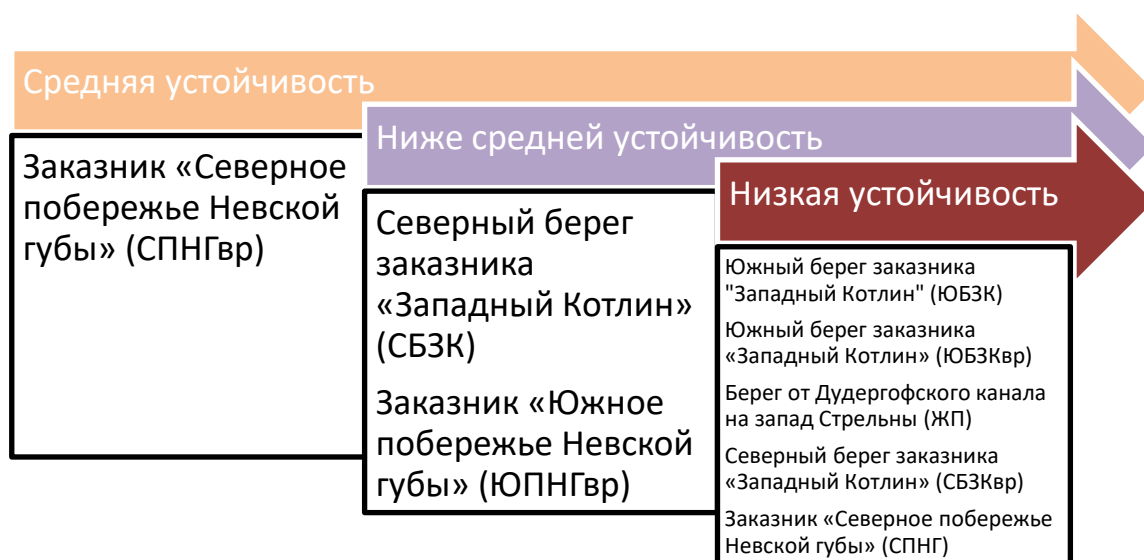


Рис. 11. Распределение участков прибрежно-водных территорий Невской губы по степени устойчивости к нефтеразливам

По результатам работы в качестве мер по предотвращению и минимизации последствий нефтяных загрязнений в прибрежно-водных территориях Невской губы рекомендуется следующее:

1. Акцентировать внимание на постоянном мониторинге уязвимых участков с низкой устойчивостью, выявленных в результате исследования, и разработке превентивных мер для минимизации рисков разливов нефти.

2. Усилить готовность к оперативному реагированию на разливы нефти, обеспечив, в том числе, ресурсы для быстрой и эффективной ликвидации загрязнения.
3. Рассмотреть возможности для улучшения устойчивости уязвимых участков, включая реабилитацию и укрепление экосистем, государственными структурами и муниципалитетом.
4. Развивать взаимодействие и партнерство между различными отраслями и секторами, включая государственные органы, частный сектор, научные и исследовательские учреждения, а также общественные и международные организации, для обмена знаний, опыта и ресурсов для противодействия и минимизации нефтезагрязнения. Данный подход направлен на объединение усилий различных отраслей экономики и сфер общественной жизни для решения сложных задач, включая разработку совместных планов аварийного реагирования, обмен технологиями очистки и восстановления грунтов, а также совместное финансирование исследований и разработку законодательных инициатив для защиты окружающей среды.

#### **Список источников**

1. Бредис О. А. Геоэкологическая оценка побережья Финского залива в пределах Курортного района Санкт-Петербурга // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2012. №147. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoekologicheskaya-otsenka-poberezhya-finskogo-zaliva-v-predelah-kurortnogo-rayona-sankt-peterburga> (дата обращения: 30.09.2023).
2. Горбунова О. Л. Эффективность систем мониторинга и реагирования на аварийные разливы нефти. Ярославль: Ярославский гос. университет, 2017. - 172 с.
3. ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава»
4. ГОСТ 17.4.3.01-2017 «Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб»

5. ГОСТ 26210-91 «Почвы. Определение обменного калия по методу Масловой»
6. ГОСТ 26212-2021 «Почвы. Определение гидrolитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО»
7. ГОСТ 26423-85 «Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки»
8. ГОСТ 26483-85 «Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО»
9. ГОСТ 26486-85 «Почвы. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО»
10. ГОСТ 26489-85 «Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО»
11. ГОСТ 26950-86 «Почвы. Метод определения обменного натрия», ГОСТ 26485-85 «Почвы. Определение обменного (подвижного) алюминия по методу ЦИНАО»
12. ГОСТ ISO 11464-2015 «Качество почвы. Предварительная подготовка проб для физико-химического анализа»
13. Громов, А. С. Анализ рисков нефтяных разливов в прибрежных зонах, находящихся вблизи судоходных маршрутов // Экологическая безопасность и природопользование. - 2022. - №3. - С. 29-35.
14. Демельханов М.Д., Оказова З.П., Чупанова И.М. Экологические последствия разливов нефти // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 12. – С. 91-94; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35730> (дата обращения: 20.11.2023).
15. Директива 2013/30/EU Европейского парламента и Совета от 12 июня 2013 года по безопасности нефтедобычи на море. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013L0030> (дата обращения: 30.09.2023).

16. Кузнецов, И. В. Влияние морфогенетического типа берегов на распределение нефтяных загрязнений // Морская экология. - 2021. - №4. - С. 12-18.
17. Лаврова О.Ю., Митягина М.И., Костяной А.Г. Спутниковые методы выявления и мониторинга зон экологического риска морских акваторий. Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2016. 336 с. ISBN 978-5-00015-004-7.
18. Методика измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02» ПНД Ф 16.1:2.21-98 Метод А (Вариант 1)
19. Моторыкина В. В., Соколова Д. С., Завгородняя Ю. А., Демин В. В., Трофимов С. Я. Влияние органического вещества на сорбцию ароматических углеводородов торфом и черноземом // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. 2008. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-organicheskogo-veschestva-na-sorbtsiyu-aromaticeskikh-uglevodorodov-torfom-i-chnozemom> (дата обращения: 08.08.2023).
20. Мыс Лисий Нос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://yandex.ru/images/search?img\\_url=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2FUWUWbmWck8A%2Fmaxresdefault.jpg&lr=213&pos=0&rpt=simage&text=%20%D0%9C%D1%8B%D1%81%20%D0%9B%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B9%20%D0%9D%D0%BE%D1%81](https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2FUWUWbmWck8A%2Fmaxresdefault.jpg&lr=213&pos=0&rpt=simage&text=%20%D0%9C%D1%8B%D1%81%20%D0%9B%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B9%20%D0%9D%D0%BE%D1%81) (дата обращения: 07.08.2023).
21. Николаев С.А. Методы борьбы с разливами нефти в прибрежных зонах.
22. Письмо Минприроды России от 27.12.1993 N 04-25/61-5678 «О порядке определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами»
23. Попов Д. А. Изменение физико-химических характеристик грунтов воздействием антропогенных факторов // Экология и устойчивое развитие. - 2019. - №2. - С. 34-40.

24. Прокофьев В.А., Кревский А.В. Техническо-экологическое обоснование возможности реализации проекта комплексного развития намывной территории "Залив Островов" в акватории Финского залива с оценкой возможного влияния на условия эксплуатации Комплекса защитных сооружений Санкт-Петербурга в части предотвращения наводнений: Технический отчет / Акционерное общество "Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники имени Б.Е. Веденеева". - Санкт-Петербург, 2018. - Договор № 7-ВН-502 от 05 февраля 2018 г. URL: <http://zinger-development.ru/wp-content/uploads/2018/11/Tehnicheskij-otchet-7-VN-502.pdf> (дата обращения: 30.09.2023).
25. Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. Химический анализ почв: Учебное пособие. Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургского университета, 1995. 264 с. ISBN 5-288-01019-6.
26. РИА Новости [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://ria.ru/20200422/1570286195.html>. - Дата доступа: [03.09.2023].
27. Сидорова Е. А. Роль водной растительности в процессах самоочищения водных экосистем от нефтепродуктов // Экология и устойчивое развитие. - 2020. - №1. - С. 45-51.
28. Смирнов Д.О. Аварийные разливы нефти в мировом океане: последствия и стратегии реагирования. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2015. - 276 с.
29. Соколова Т.А., Трофимов С.Я. Сорбционные свойства почв. Адсорбция. Катионный обмен: учебное пособие по некоторым главам почв. – Тула: Гриф и К, 2009. – 172с.
30. Соловьянов А.А. Аварийные разливы нефти и нефтепродуктов - актуальная проблема России // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2021. № 1 (298). С. 5-7. УДК: 504.75. ISSN: 2411-7013.



31. Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ  
URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/) (дата обращения: 30.09.2023).
32. Федорова Е.П. Защита морских экосистем: международный опыт и российская практика. Самара: Самарский национальный исследовательский университет, 2020. - 198 с.
33. Химический анализ почв: Учеб.пособие/ Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. - СПб., Издательство С.-Петербургского университета. 1995. 264 с.
34. Черноплеков А.Н. Структура и состав планов ликвидации аварийных разливов нефти // Управление рисками чрезвычайных ситуаций: доклады и выступления. Москва: КРУК, 2001. С. 118-124.
35. Шилин М.Б., Сычев В.И., Михеев В.Л., Истомин Е.П., Леднова Ю.А., Лукьянов С.В., Абрамов В.М. Результаты исследований техносферы Невской губы в РГГМУ // Гидрометеорология и экология. 2020. № 60. С. 351-370. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370.
36. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska URL: [https://www.researchgate.net/publication/225704848\\_Application\\_of\\_an\\_oil\\_spill\\_vulnerability\\_index\\_to\\_the\\_shoreline\\_of\\_lower\\_Cook\\_Inlet\\_Alaska](https://www.researchgate.net/publication/225704848_Application_of_an_oil_spill_vulnerability_index_to_the_shoreline_of_lower_Cook_Inlet_Alaska) (дата обращения: 08.08.2023)
37. Atlas of geological and environmental geological maps of the Russian area of the Baltic Sea / Гл. ред. О. В. Петров; авт.: А. В. Амантов и др. - Санкт-Петербург: ВСЕГЕИ, 2010. - 1 атл. (77 с.): цв., карты, схемы, текст, табл., диагр., профили, разрезы, ил.; 31x44см.; ISBN 978-5-93761-165-9, : 500 экз.
38. HELCOM (2009). "Ecosystem Health of the Baltic Sea 2003–2007: HELCOM Initial Holistic Assessment". Baltic Sea Environment Proceedings No. 122.

39. Oil Pollution Act of 1990. Public Law 101-380, 104 Stat. 484, Aug. 18, 1990. URL: <https://www.govinfo.gov/app/details/PLAW-101publ380> (дата обращения: 30.09.2023).

40. Sergeev A., Ryabchuk D., Zhamoida V., Nesterova E. The impact of two newly built port terminals in the Eastern Gulf of Finland on sedimentation processes and coastal zone dynamics // Estonian J. of Engin. 2009. Vol. 15. № 3. – P. 212–226.

### References

1. Bredis O. A. Geocological assessment of the coast of the Gulf of Finland within the Kurortny district of St. Petersburg // Izvestiya RSPU named after A. I. Herzen. 2012. No.147. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/geoekologicheskaya-otsenka-poberezhya-finskogo-zaliva-v-predelah-kurortnogo-rayona-sankt-peterburga> (date of reference: 30.09.2023).
2. Gorbunova O. L. Effectiveness of monitoring and response systems for emergency oil spills. Yaroslavl: Yaroslavl State University. University, 2017. - 172 p.
3. GOST 12536-2014 "Soils. Methods of laboratory determination of granulometric (grain) and microaggregate composition"
4. GOST 17.4.3.01-2017 "Interstate standard. Nature conservation. Soils. General requirements for sampling"
5. GOST 26210-91 "Soils. Determination of exchangeable potassium by the Maslova method"
6. GOST 26212-2021 "Soils. Determination of hydrolytic acidity by the Kappen method in the modification of TSINAO"
7. GOST 26423-85 "Soils. Methods for determining the specific electrical conductivity, pH and dense residue of an aqueous extract"
8. GOST 26483-85 "Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by the TSINAO method"

9. GOST 26486-85 "Soils. Determination of exchangeable calcium and exchangeable (mobile) magnesium by the methods of TSINAO"
10. GOST 26489-85 "Soils. Determination of exchangeable ammonium by the TSINAO method"
11. GOST 26950-86 "Soils. Method of determination of exchangeable sodium", GOST 26485-85 "Soils. Determination of exchangeable (mobile) aluminum by the TSINAO method"
12. GOST ISO 11464-2015 "Soil quality. Preliminary preparation of samples for physico-chemical analysis"
13. Gromov, A. S. Risk analysis of oil spills in coastal zones located near shipping routes // Environmental safety and environmental management. - 2022. - No. 3. - pp. 29-35.
14. Demelkhanov M.D., Okazova Z.P., Chupanova I.M. Ecological consequences of oil spills // Successes of modern natural science. – 2015. – No. 12. – pp. 91-94; URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=35730> (date of application: 11/20/2023).
15. Directive 2013/30/EU of the European Parliament and of the Council of 12 June 2013 on the safety of offshore oil production. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32013L0030> (date of reference: 30.09.2023).
16. Kuznetsov, I. V. Influence of morphogenetic type of shores on the distribution of oil pollution // Marine ecology. - 2021. - No.4. - pp. 12-18.
17. Lavrova O.Yu., Mityagina M.I., Kostyanoi A.G. Satellite methods of identification and monitoring of marine environmental risk zones. Moscow: Institute of Space Research of the Russian Academy of Sciences, 2016. 336 p. ISBN 978-5-00015-004-7.
18. Method of measuring the mass fraction of petroleum products in soil and soil samples by the fluorimetric method on the liquid analyzer "Fluorat-02" HDPE F 16.1:2.21-98 Method A (Option 1)

19. Motorykina V. V., Sokolova D. S., Zavgorodnaya Yu. A., Demin V. V., Trofimov S. Ya. The effect of organic matter on the sorption of aromatic hydrocarbons by peat and chernozem // Bulletin of the Moscow University. Episode 17. Soil science. 2008. No.1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-organicheskogo-veschestva-na-sorbtsiyu-aromaticeskikh-uglevodorodov-torfom-i-chernozemom> (date of application: 08.08.2023).
20. Cape Fox Nose [Electronic resource]. – Access mode: [https://yandex.ru/images/search?img\\_url=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2FUWUWbMwck8A%2Fmaxresdefault.jpg&lr=213&pos=0&rpt=simage&text=-%20%D0%9C%D1%8B%D1%81%20%D0%9B%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B9%20%D0%9D%D0%BE%D1%81](https://yandex.ru/images/search?img_url=https%3A%2F%2Fi.ytimg.com%2Fvi%2FUWUWbMwck8A%2Fmaxresdefault.jpg&lr=213&pos=0&rpt=simage&text=-%20%D0%9C%D1%8B%D1%81%20%D0%9B%D0%B8%D1%81%D0%B8%D0%B9%20%D0%9D%D0%BE%D1%81) (date of reference: 08/07/2023).
21. Nikolaev S.A. Methods of combating oil spills in coastal zones.
22. Letter of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation dated 12/27/1993 No. 04-25/61-5678 "On the procedure for determining the amount of damage from land pollution with chemicals"
23. Popov D. A. Changes in the physico-chemical characteristics of soils under the influence of anthropogenic factors // Ecology and sustainable development. - 2019. - No.2. - pp. 34-40.
24. Prokofiev V.A., Krevsky A.V. Technical and environmental justification of the possibility of implementing a project for the integrated development of the alluvial territory "Bay of Islands" in the waters of the Gulf of Finland with an assessment of the possible impact on the operating conditions of the Complex of protective structures of St. Petersburg in terms of flood prevention: Technical report / Joint Stock Company "All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering named after B.E. Vedeneeva". - St. Petersburg, 2018. - Agreement No. 7-VN-502 dated February 05, 2018 URL: <http://zinger-development.ru/wp-content/uploads/2018/11/Tehnicheskij-otchet-7-VN-502.pdf> (date of reference: 30.09.2023).

25. Solvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., Fedorova N.N. Chemical analysis of soils: A textbook. St. Petersburg: St. Petersburg University Press, 1995. 264 p. ISBN 5-288-01019-6.
26. RIA Novosti [Electronic resource]. - Access mode: <https://ria.ru/20200422/1570286195.html> . - Date of access: [09/03/2023].
27. Sidorova E. A. The role of aquatic vegetation in the processes of self-purification of aquatic ecosystems from petroleum products // Ecology and sustainable development. 2020. - No.1. - pp. 45-51.
28. Smirnov D.O. Emergency oil spills in the world ocean: consequences and response strategies. St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg State University, 2015. - 276 p.
29. Sokolova T.A., Trofimov S.Ya. Sorption properties of soils. Adsorption. Cation exchange: a textbook on some chapters of soils. – Tula: Grif and K, 2009. – 172s.
30. Solovyanov A.A. Emergency oil and petroleum product spills - an urgent problem of Russia // Environmental protection in the oil and gas complex. 2021. No. 1 (298). pp. 5-7. UDC: 504.75. ISSN: 2411-7013.
31. Federal Law "On Environmental Protection" dated 10.01.2002 N 7-FZ URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823) / (date of reference: 30.09.2023).
32. Fedorova E.P. Protection of marine ecosystems: international experience and Russian practice. Samara: Samara National Research University, 2020. - 198 p.
33. Chemical analysis of soils: Textbook.stipend/ Solvorova O.G., Andreev D.P., Gagarina E.I., Kasatkina G.A., Fedorova N.N. - St. Petersburg, St. Petersburg University Press. 1995. 264 p.
34. Chernoplekov A.N. Structure and composition of oil spill response plans // Risk management of emergency situations: reports and speeches. Moscow: KRUK, 2001. pp. 118-124.

35. Shilin M.B., Sychev V.I., Mikheev V.L., Istomin E.P., Lednova Yu.A., Lukyanov S.V., Abramov V.M. The results of studies of the technosphere of the Neva Bay in RSMU // Hydrometeorology and Ecology. 2020. No. 60. pp. 351-370. doi: 10.33933/2074-2762-2020-60-351-370.

36. Application of an oil spill vulnerability index to the shoreline of lower Cook Inlet, Alaska URL: [https://www.researchgate.net/publication/225704848\\_Application\\_of\\_an\\_oil\\_spill\\_vulnerability\\_index\\_to\\_the\\_shoreline\\_of\\_lower\\_Cook\\_Inlet\\_Alaska](https://www.researchgate.net/publication/225704848_Application_of_an_oil_spill_vulnerability_index_to_the_shoreline_of_lower_Cook_Inlet_Alaska) (date of application: 08.08.2023)

37. Atlas of geological and environmental geological maps of the Russian area of the Baltic Sea / Chief editor O. V. Petrov; author: A.V. Amantov et al. - St. Petersburg: VSEGEI, 2010. - 1 atlas (77 p.): color, maps, diagrams, text, table, diagonal, profiles, sections, etc.; 31x44cm.; ISBN 978-5-93761-165-9, : 500 copies.

38. HELCOM (2009). "Ecosystem Health of the Baltic Sea 2003–2007: HELCOM Initial Holistic Assessment". Baltic Sea Environment Proceedings No. 122.

39. Oil Pollution Act of 1990. Public Law 101-380, 104 Stat. 484, Aug. 18, 1990. URL: <https://www.govinfo.gov/app/details/PLAW-101publ380> (date of application: 30.09.2023).

40. Sergeev A., Ryabchuk D., Zhamoida V., Nesterova E. The impact of two newly built port terminals in the Eastern Gulf of Finland on sedimentation processes and coastal zone dynamics // Estonian J. of Engin. 2009. Vol. 15. № 3. – P. 212–226.

© Ефременко В.В., Чебыкина Е.Ю., Абакумов Е.В., 2024. Московский экономический журнал, 2024, № 6.