

ЕЖЕЛЕВ ЗАХАР СЕРГЕЕВИЧ

**СВОЙСТВА И РЕЖИМЫ РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫХ ПОСЛЕ
РАЗЛИВОВ НЕФТИ ПОЧВ УСИНСКОГО РАЙОНА
РЕСПУБЛИКИ КОМИ**

06.01.03 - агрофизика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Москва 2015

Диссертационная работа выполнена на кафедре физики и мелиорации почв факультета почвоведения Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Научные руководитель: **Умарова Аминат Батальбиевна,** доктор биологических наук, профессор кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Официальные оппоненты: **Мазиров Михаил Арнольдович,** доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и методики опытного дела факультета агрономии и биотехнологии ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева»

Шамрикова Елена Вячеславовна, кандидат биологических наук, доцент ФГБУН Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук

Защита состоится «__» _____ 2015 года в 15 час 30 мин в аудитории М-2 на заседании Диссертационного совета Д 501.002.13 при Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ, д. 1 стр. 12, факультет почвоведения, тел/факс (495) 9392947.

С диссертацией можно ознакомиться в Фундаментальной библиотеке МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский проспект, 27, отдел диссертаций) и на сайте <http://soil.msu.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2015 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании Диссертационного совета. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просьба направлять по вышеуказанному адресу.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 501.002.13



Зенова Галина Михайловна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. В последние десятилетия происходит увеличение площадей загрязнённых нефтью и нефтепродуктами почв. Наибольший ущерб природе наносят аварии на магистральных нефте- и газопроводах. Так при одном прорыве нефтепровода выбрасывается в среднем 2 т нефти, что выводит из строя 1000 м³ земли (Гриценко, 1997). Последствия разливов нефти носят сложный характер, поскольку нарушают многие естественные процессы и взаимосвязи в ландшафте, деформируют структуру биоценозов, изменяют условия обитания всех видов живых организмов. Это обусловлено сложным составом нефти и ее одномоментным поступлением в окружающую среду.

Сильнейшую трансформацию испытывает почвенный покров: происходит глубокое изменение всех почвенных свойств, нарушение водно-воздушного режима и баланса многих элементов, миграция токсичных веществ в почве (Солнцева, 1988), происходит усиленное размножение микроорганизмов, использующих нефть в качестве источника энергии и углерода (Гавриш, 1984).

Нефтяное загрязнение почв ведет к безусловной необходимости проведения рекультивационных работ. Их целью является восстановление нарушенной территории и включает в себя множество этапов, среди основных - следующие: (1) ликвидация нефтяного загрязнения (устранение утечки, локализация разлива, сбор свободной нефти); (2) восстановление/создание почвенного покрова; (3) формирование растительного покрова.

К настоящему времени накоплен большой опыт рекультивации загрязненных земель, предложено множество методов рекультивации и мониторинга земель (Лобачева и др., 2012; "Пожарная безопасность..», 2004). Однако, несмотря на большое количество исследований по изучению остаточных количеств углеводородов, агрохимических свойств почв, состояния растительного покрова очень мало внимания уделяется агрофизическим свойствам рекультивируемых почв, которые во многом определяют водный, воздушный, тепловой и питательный режимы почв, обуславливают доступность и оптимальность всех факторов жизни растений. Вопрос оптимизации агрофизических свойств рекультивированных почв является актуальным в любом почвенно-климатическом поясе, где произошло загрязнение почв нефтью, и остро стоит проблема их рекультивации.

Цель исследования: Изучение физических, химических и биологических свойств, водного и температурного режимов почв Усинского района Республики Коми, рекультивированных разными способами после разливов нефти.

Задачи исследования:

- 1) Исследовать основные морфологические, агрофизические, агрохимические и биологические свойства тундрово-глеевых почв и почв, рекультивированных после разлива нефти.
- 2) Изучить особенности содержания остаточных углеводородов нефти в рекультивированных почвах и возможность их миграции в почвенной толще.

- 3) Изучить особенности влияния углеводородов нефти на некоторые гидрофизические свойства почв.
- 4) Исследовать влияние остаточных количеств углеводородов нефти на особенности температурного и водного режимов рекультивированных почв.

Научная новизна работы:

Впервые было проведено исследование агрофизических свойств и режимов почв территорий, рекультивированных разными методами, в условиях Русского Севера. Оно показало важность и необходимость их оптимизации для решения основной цели рекультивации - восстановление продуктивности земель и улучшение условий окружающей среды («Основные положения о рекультивации..», 1995). Новизна научных исследований заключается в комплексности проведенных работ, включивших, в том числе, изучение агрохимических, химических и биологических свойств рекультивированных почв. Выявлено влияние загрязнения остаточными углеводородами на гидрофизические характеристики почв: происходит снижение фильтрации влаги, водоудерживающей способности почв, сужение диапазона продуктивной влаги.

Практическая значимость работы заключается в разработке экспериментально обоснованной необходимости проведения агрофизических исследований почвенного покрова при рекультивации земель, загрязненных нефтью и нефтепродуктами. Полученные данные могут быть использованы для обоснования выбора метода рекультивации нефтезагрязненных почв в условиях Севера. Комплексность проведенных исследований позволяет рекомендовать полученные экспериментальные данные в качестве реперных для ведения дальнейшего мониторинга территории объекта исследования. Результаты исследований используются в курсе лекций «Почвенно-ландшафтное проектирование» для студентов, обучающихся по специальности «Почвоведение».

Личный вклад автора. Автор принимал участие в постановке и решении задач исследования, им проведены аналитический обзор литературы. Все полевые и лабораторные работы, интерпретация полученных результатов и статистическая обработка данных, формулировка основных положений и выводов диссертации выполнены при непосредственном участии автора. Доля участия в научных публикациях пропорциональна числу авторов.

Апробация работы. Результаты исследований были представлены на Международных и Всероссийских конференциях: «VI съезд общества почвоведов им. В. В. Докучаева» (Петрозаводск, 2012), «Природно-технологические комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование» (Новосибирск-Новокузнецк, 2013), на международном семинаре «Антропогенная трансформация почвенного покрова» (Барнаул, 2014), на заседаниях кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ.

Публикации. Основные теоретические положения и результаты экспериментальных исследований опубликованы в 6 научных работах, из них 2 статьи в рецензируемых журналах из «перечня» ВАК РФ.

Структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, глав, выводов, списка литературы и приложений. Она изложена на страницах машинописного текста, содержит таблиц, приложений и рисунков. Библиографический список включает отечественных и зарубежных источников.

Выражаю искреннюю благодарность за помощь и постоянную поддержку при работе над диссертацией Умаровой А.Б., Шеину Е.В., Гончарук Н. Ю., Початковой Т.Н., Лысак Л.В, Кокоревой А.А., Завгородней Ю.А., Орешниковой Н.В., Гасиной Н.И., Курченко А.Б, а также всем сотрудникам кафедры физики мелиорации почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова за практическую помощь и ценные советы на всех этапах выполнения работ.

Глава 1. Загрязнение почв нефтью, их рекультивация и мониторинг (обзор литературы)

В главе проведен анализ научной литературы по вопросам загрязнения углеводородами нефти почв, их рекультивации и дальнейшего мониторинга как отечественными (Пиковский и др., 1985, 1993, 2003; Солнцева и др., 1998, 1985; Трофимов, Розанова, 2002; Алексеева, 2000; Александров, 2001; Чижов, 2000; Арчегова и др., 1998, 2012; Лиханова, 2006; Панюков, 2005; Пикунова, 2011; Саксонов, 2005; Киреева и др., 1995, 2001, 2003; и др.), так и зарубежными исследователями (YingWangetal., 2013; Mazzeoetal., 2010; Abosedo, 2013; Marinescuetal., 2011; IsamaLawrenceRank, 2013; Uzoije, Agunwamba, 2011; и др.).

Глава 2. Объекты и методы исследования

2.1. Объект исследования.

Объектом исследования явился почвенный покров территории, площадью 76,5 га, расположенный вблизи нефтепровода «Возей – Головные сооружения» Усинского района Республики Коми (66°25'с.ш. и 67°18'в.д.).

Исследуемая территория относится к подзоне лесотундры, характеризующейся сложными экологическими условиями (Иватанова, Голованова, 2011). Климат умеренно континентальным со среднегодовой температурой воздуха -3.2 °С («Научно-прикладной справочник..», 1989). Период с температурами выше 0 °С длится 150 дней, начало вегетационного периода - первая декада июня, заморозки до -5÷-7 °С возможны в любом из летних месяцев. За год в среднем выпадает 474 мм осадков, из них за вегетационный период – 159 мм. Максимальное количество осадков приходится на период с июля по октябрь.

Поверхностная заболоченность территории составляет около 70%, залегание грунтовых вод неглубокое: 0-5 м. Почвообразующие породы представлены моренными суглинками, местами перекрытыми маломощным чехлом флювиогляциальных супесей и песков. В почвенном покрове Усинского района преобладают болотно-подзолистые и болотные почвы. На дренированных приречных участках, водоразделах и бровках склонов, сложенных суглинками и двучленными породами, развиты глееподзолистые почвы. Главной и характерной

чертой почв территорий тундры и подзоны крайней северной тайги является резкое разделение на органогенный слой и минеральную толщу. В растительном покрове преобладают сообщества бугристых сфагновых, осоковых, травяно-кустарничково-мохово-лишайниковых болот. До 25% территории занимают тундровые ивняково-мелкоерниковые группировки. В долинах рек и на склонах холмов встречаются разреженные еловые, березовые, елово-березовые и лиственничные леса (до 20 %). В низинах с осоками и разнотравьем (иногда на обнаженном торфе) разрастаются *Eriophorum polystachion*, *Carex limosa*, *Menyanthes trifoliata* (Юдин, 1954).

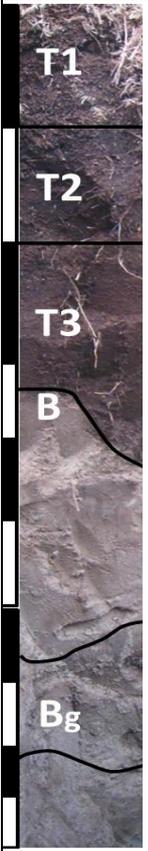
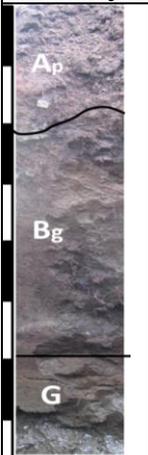
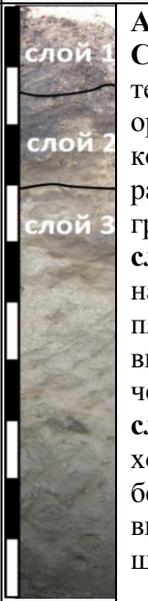
Объектом нашего исследования явилась тундровая глеевая торфянистая почва (фон), которая подверглась сильнейшему нефтяному загрязнению в 1994 году после разлива (по разным оценкам) 60 - 150 тыс. тонн сырой нефти. С 1994 г. по 2010 г. проводились работы по рекультивации данной территории разными методами.

2.2. Методы исследования

Определение физических свойств почв проводили общепринятыми методами (Вадюнина, Корчагина, 1986; Воронин, 1986, Шеин и др., 2001, Теории и методы..., 2007): плотность почвы буровым методом, коэффициент фильтрации методом трубок с постоянным напором, плотность твердой фазы пикнометрически, удельная поверхность методом десорбции паров воды над насыщенными растворами солей, расчет полной удельной поверхности по уравнению БЭТ, определение основной гидрофизической характеристики тензиостатическим методом на монолитах и методом центрифугирования. Гранулометрический состав был определен методом лазерной дифрактометрии на приборе Analysette-22. Предварительная пробоподготовка почв заключалась в удалении органического вещества, в состав которого входили углеводороды нефти, осадки сточных вод и органическое вещество почвы, ацетонирилом. Общее содержание углерода в почвенных образцах определяли на газоанализаторе АН – 8012 (Когут, 1993). Определение содержания подвижных форм калия, фосфора и общего азота общепринятыми методами (Воробьева, 2005; Аринушкина, 1970). Все определения физических и химических свойств велись в 3-х кратной повторности.

Для изучения особенностей миграции влаги и растворенных веществ в почве проводились полевые и лабораторные фильтрационные эксперименты (Умарова, 2010). Измерение годовой динамики температуры почв осуществлялся в автоматическом режиме с помощью мини-сенсоров температуры (Dallas Semiconductor) в период 01.08.12 – 30.06.13 с шагом 4 ч, 08.07.13-24.09.13 каждый час. Определение общей численности бактерий в почвах проводили прямым люминесцентным методом с использованием красителя акридина оранжевого (Методы почвенной..., 1991). Определение таксономического состава сапротрофного бактериального комплекса проводили методом посева на ГПД среде. Методом капиллярной газожидкостной хроматографии определены: суммарное содержание углеводородов, содержание их среднекипящей (C14-C23) и высококипящей (C24-C34) фракций. Для оценки почв к самоочищению от техногенных углеводородов

Фоновая почва исследуемой территории – тундровая глеевая торфянистая (рис.2,а), состоящая из торфяного горизонта полной степени разложения (Зайдельман, 1996), подстилаемого песчаным слоем, переходящим на глубине 80 см в оглеенную супесь. Глубина грунтовых вод не вскрыта.

<p>а) Фон Тундровая глеевая торфянистая</p>	 <p>T1 (0-10см) сырой, темно-бурый, торф слаборазложенный, рыхлый, включения из плохо разложившихся частей растений, переход ясный по разложению, граница ровная T2 (10-20см) сырой, темно-бурый, торф среднеразложенный, рыхлый, включения из разложившихся частей растений, переход ясный по разложению, граница ровная T3 (20-30см) свежий, бурый, сплошная органическая мажущаяся масса, плотнее верхнего, переход резкий по цвету, граница затечная B(30-73) песок, свежий, палевый, светло-каштановый, переход ясный по цвету, граница волнистая Bg (73-83) песок, свежий, палево-серый, охристые включения, переход ясный по цвету, граница волнистая G (83-100↓) супесь, влажный, сизый, ржавый по ходам корней, плотный, с 90 сантиметров горизонтальная ориентированность</p>	<p>б) Вариант 1 Реплантозем</p>	 <p>Слой 1 (0-40см) супесь, свежий, на буром фоне охристые пятна, бесструктурная раздельно-частичная, уплотненный, специфический запах нефтепродуктов, включения дресвы и гальки, переход ясный по цвету, граница ровная Слой 2 (40-72см) супесь свежий, на светло-буром фоне сизые линзы оглеения, бесструктурная раздельно-частичная, уплотненный, специфический запах нефтепродуктов, переход ясный по цвету, граница волнистая [G] (72-80↓) супесь, свежий, сизый, бесструктурный, плотный</p>
<p>в) Вариант 2 Тундровая глеевая торфянистая пахотная</p>	 <p>Ap (0-20) торфяной горизонт, свежий, бурый, включения черных пятен нефтепродуктов, рыхлый, черные отмершие корни, переход резкий, граница волнистая Bg (20-60) супесь, свежий, на буром фоне светло-бурый пятна песка и черные пятна нефтепродуктов, уплотненный, специфический запах нефтепродуктов, переход ясный по цвету, граница ровная G (60-75↓) супесь, мокрый, серовато-сизый, бесструктурный, рыхлый, специфический запах нефтепродуктов, с глубины 64 см сочится вода</p>	<p>г) Вар. 3 Группа артифабрикаты, подгруппа артифимостраты</p>	 <p>Ad (0-3см) Слой 1 (3-15см) супесь, свежий, темно-серый, фрагментарно ореховатая, уплотненный, много корней травянистой растительности, переход ясный, граница слабоволнистая слой 2 (15-30) супесь, свежий, на коричневом фоне темно-бурые пятна, глыбистая, переуплотнен, включения дресвы, переход четкий, граница ровная слой 3 (30-100↓) песок, холодный, серый, бесструктурный, рыхлый, включения дресвы и единично щебень, окатыши</p>

д) Вариант 4 Тундровая глеевая с нефтью на поверхности	е) Вариант 5 группа Натурфабрикаты подгруппа Литострат
 <p>Ad(0-3см) дернина, на поверхности много техногенных включений, переход четкий, граница ровная слой 1(3-15см) супесь, свежий, темно-серый, фрагментарно ореховатая, уплотненный, много корней травян. растительности, переход ясный, слабоволнистая слой 2 (15-30см) супесь, свежий, на коричневом фоне темно-бурые пятна, глыбистая, переуплотнен, включения дресвы, переход четкий, граница ровная слой 3(30-100↓) песок, холодный, серый, бесструктурный, рыхлый, включения дресвы и единично щебень, окатыши.</p>	 <p>B1(0-10см) супесь, влажный, пропитанный нефтью, черный, много отмерших корней, переход ясный по цвету, граница ровная B2(10-40см) супесь, свежий, бурый, рыхлый, бесструктурный, переход заметный, граница карманная B3g(40-65см) супесь, свежий, на палевом фоне охристые пятна и затеки по ходам корней, бесструктурный, единичные корни, переход ясный, граница ровная G(65-80↓) супесь, влажный, на серо-сизом фоне охристые пятна, плотный комковато-призматическая, много мелких пор, единичные мертвые корни, охристые пленки по ходам корней и граням структурных отдельностей</p>

Рис.2.Профили и морфологическое описание исследованных почв: а) фоновая тундрово-глеевая; б) вариант 1; в) вариант 2; г) вариант 3; д) вариант 4; е) вариант 5

Наши исследования включали пять вариантов рекультивированных почв, строение профиля и морфологическое описание почв представлены на рис.2. Названия почв даны по классификации Почвенного института им. В.В. Докучаева «Систематика техногенных поверхностных образований».

Вариант 1.Реплантозем. Была проведена промывка загрязненной почвы на специализированной установке по переработке нефтешламов и затем ее размещение на исходное место (рис. 2 б);

Вариант 2.Тундровая глеевая торфянистая пахотная почва. Проведен сбор нефти и запахивание оставшейся (рис. 2 в);

Вариант 3. Почва группы артифабрикаты, подгруппы артифимостраты. Загрязненный слой был заменен песчаным с размещением на его поверхности осадков сточных вод (ОСВ) слоем мощностью 15-30 см (рис. 2 г);

Вариант 4.Тундровая глеевая с нефтью на поверхности. Проведен сбор нефти с поверхности (остаточное частичное, локальное загрязнение участка) (рис. 2 д);

Вариант 5. Почва группы натурфабрикаты, подгруппы литострат. Проведено сжигание нефти; размещение на поверхности незагрязненного грунта (рис. 3 е).

В вариантах 1, 2, 3 и 5 были проведены агротехнические мероприятия: боронование, внесение минеральных удобрений (архив ООО СПАСФ «Природа»). Подкормки включали внесение аммиачной селитры, мочевины, доломитовой муки во вторую подкормку в 1 и 3 варианты был внесен хлористый калий

3.2. Формирование растительного покрова. На биологическом этапе рекультивации был проведен высеv злаков: *Festuca pratensis*, *Festuca rubra*, *Festuca ovina*, *Phleum pratense*, *Lolium perenne*, *Lolium multiflorum*. Также, на 3 участке в 2011 г. провели рядную посадку саженцев сосны высотой 10 см с шагом 1 м.

Т.о., к настоящему времени исследуемые территории полностью прошли этапы рекультивации, созданный растительный покров функционирует в течение нескольких лет (4-15 лет).

Глава 4. Агрофизические и агрохимические свойства почв

4.1. Основные физические свойства

Плотность. Во всех вариантах почв верхняя часть профилей имела низкие значения плотности почв, что обусловлено высоким содержанием органических веществ (рис. 3), особенно в фоновой почве.

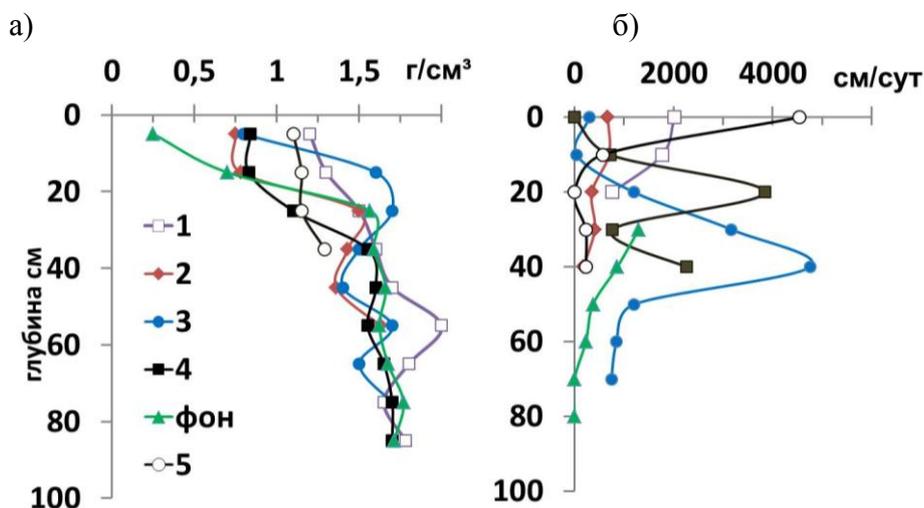


Рис. 3. Профильные распределения: а) плотности почв; б) коэффициента фильтрации (средние значения) фоновой почвы и вариантов рекультивированных почв

В вариантах 2 и 4 не было произведено перемещения почвенных масс, и плотность верхнего горизонта $< 1 \text{ г/см}^3$, что соответствует фоновым значениям. Во всех вариантах вертикальные распределения плотности почв отражают особенности морфологического строения, профиля смену генетических горизонтов. В варианте 3 резкое увеличение плотности глубже 10 см обусловлено проведением боронования. Наличие естественных и искусственно созданных резких переходов горизонтов по значениям плотности дает основание предположить о возможности регулярного накопления и застоя влаги на границах слоев.

Коэффициент фильтрации (Кф) верхнего слоя в тех почвах, где была проведена замена или перемешивание грунта, имеет высокие значения по классификации Эггелсмана, на фоне сильного варьирования абсолютных величин в повторностях определений, особенно в 1 и 5 вариантах. При смыве нефти (вариант 4), водопроницаемость поверхности почв резко снизилась до почти нулевых значений. Морфологически почва данного участка пропитана сверху нефтью, препятствующей прохождению влаги (рис.2).

Для большинства исследованных вариантов данное свойство было определено до глубины 45 см и выявило наличие слабопроницаемых горизонтов на разных глубинах. Ближе всего к поверхности водоупорный горизонт расположен в варианте 3, в котором на глубине 10-20 см происходит резкое падение фильтрации почти до нуля и затем постепенный рост в песчаном слое. Это связано с разуплотнением при бороновании верхних 10 см и подстиланием с глубины 30 см жестким песчаным слоем. Определение Кф в течении трех лет наблюдений на данном участке показали снижение его величин в 3-5 раз под действием растительного покрова, хотя абсолютные значения продолжают оставаться высокими.

С остаточным загрязнением нефти и резкой переходной границей между очищенным и загрязненным горизонтами связано и сильное снижение фильтрации на глубине 40 см варианта 1 и глубине 20 см. варианта 5. В фоновой почве определения данного параметра были проведены для минерального горизонта, показавшие наличие водоупора на глубине 70-80 см. Это согласуется с морфологически выделяемым оглеением почвенной толщи. Такие же значения получены и для 4 варианта, в котором кроме вышеуказанного верхнего горизонта застой влаги отмечен на той же глубине, что и в фоновой почве.

Таким образом, в естественной (фоновой) почве на глубине 70-80 см располагается слабопроницаемый горизонт, препятствующий прохождению влаги и, вероятно, образующий верховодку при значительных выпадениях осадков и снеготаянии. Все способы рекультивации повлияли на профильное распределение коэффициента фильтрации, сформировав близко расположенные к дневной поверхности водоупорные слои, обусловленные остаточным морфологически выделяемым нефтезагрязнением или резкими границами перехода слоев.

Дисперсность почв.

Гранулометрический состав. Верхняя часть фоновой почвы представлена торфяным горизонтом мощностью 20-30 см, подстилаемым песчаным слоем. Преобладающей фракцией минерального горизонта является песок мелкий (64-77 %), с глубиной происходит снижение доли среднего и крупного песка и увеличение тонких фракций, что ведет к росту содержания физической глины от 3 до 12 %, постепенному утяжелению гранулометрического состава - от связанного песка до супеси по Качинскому.

Подробное исследование гранулометрического состава, наряду с фоновой почвой, проводилось для 3 варианта (рис. 2), в котором было осуществлено поднятие территории с изменением рельефа, формированием склона и замещением минеральной части грунта. Для исследования физических и химических свойств были выбраны две точки, отличавшиеся гидрологическими условиями: автоморфный участок и гидроморфный. Гранулометрический состав обеих почвенных разностей практически одинаков. Присутствует некоторая слоистость песчаной подстилающей толщи. Данный факт указывает на высокое качество технического этапа рекультивации при создании слоев, их равномерное настиление друг на друга, однородность используемого грунта.

Другой характеристикой дисперсности почв, отражающей количество и качество поверхности твердой фазы, является *удельная поверхность*. Она определялась методом десорбции паров воды, на рис. 4 представлены изотермы десорбции паров воды фоновой и рекультивированных почв.

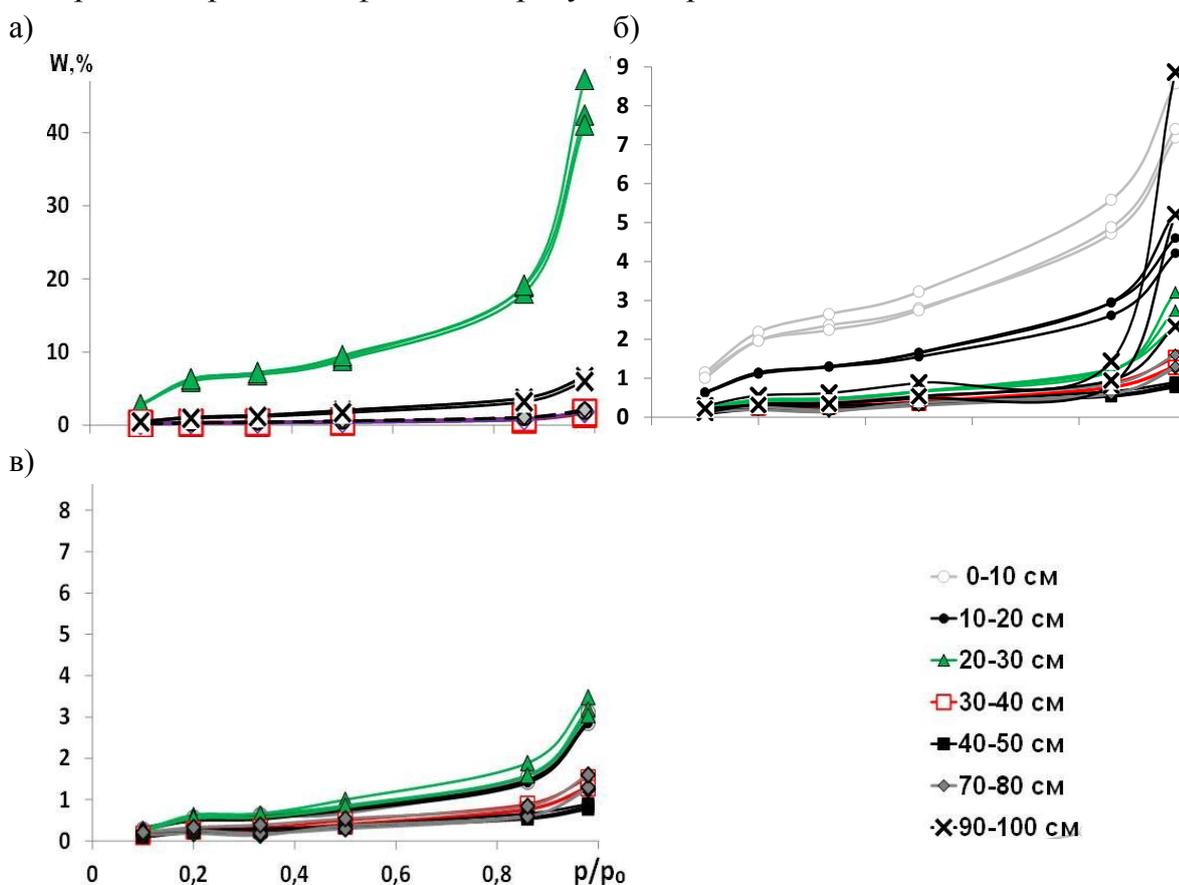


Рис.4.Изотермы десорбции паров воды: а) фоновой почвы, б) вариант 3, автоморфная почва в) вариант 3, гидроморфная почва

В фоновой почве (рис. 4а) отчетливо выделяется верхний торфяной слой высокой сорбирующей способностью, его кривые значительно смещены относительно остальных в сторону больших влажностей. Изотермы десорбции минеральных горизонтов расположены в области низких влажностей, что соответствует песчаному гранулометрическому составу этих слоев.

Изотермы десорбции паров воды автоморфных и гидроморфных почв варианта 3 различаются (рис.4 б, в). В автоморфной почве выделяются верхние горизонты, в которых отмечается наибольшая сорбционная способность к воде. С глубиной происходит ее снижение, что ведет к смещению кривых десорбции в область низких значений влажности почв. На глубине 90-100 см происходит резкий рост влажности при значениях $p/p_0 > 0,8$, что свидетельствует об увеличении вклада пленочно-капиллярной влаги. В отличие от автоморфных почв в гидроморфных наблюдается близкое расположение кривых с низкими значениями влажности во всех диапазонах давления паров воды.

Расчет полной удельной поверхности по параметрам изотерм десорбции для каждой глубины позволил рассмотреть ее распределение по профилям почв (рис.5).

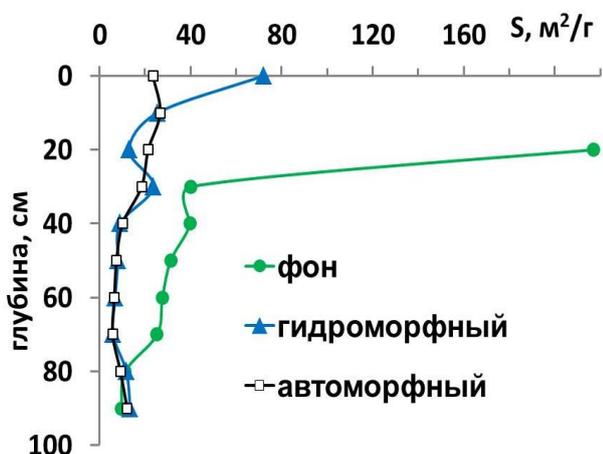


Рис.5. Удельная поверхность фоновой почвы и 3 участка рекультивации (гидроморфный и автоморфный варианты)

В автоморфной почве величины составили около 72 м²/г, а в гидроморфной лишь 23,4 м²/г. Т.к. разница в содержании физической глины около 3 %, а ила – 0,5 %, можно предположить, что такая разница в величинах удельной поверхности обусловлена ее качеством, а не размером. Тем более, что пробоподготовка к определению механического состава включала удаление органического вещества, а удельная поверхность определялась для образцов, содержащих гумус, остаточные количества углеводов нефти и органические соединения осадков сточных вод, которые, вероятно, по-разному трансформировались в процессе функционирования почв. На влияние именно внешних условий указывают близкие значения удельной поверхности глубже 10 см обоих вариантов почв.

Основная гидрофизическая характеристика (ОГХ) была также определена для минеральных горизонтов фоновой почвы и двух участков варианта 3 с почвами разной степени гидроморфизма. Было выявлено, что минеральные горизонты фоновой почвы имеют очень близкую водоудерживающую способность. Форма кривых характерная для почв песчаного ряда. Выделяется нижний слой 90-100 см, в котором кривая ОГХ располагается выше остальных кривых, что согласуется с морфологией профиля, гранулометрическим составом и наличием оглеения.

В почве автоморфных позиций варианта 3 наблюдается постепенное снижение водоудерживания в сорбционном и капиллярном диапазонах с глубиной. Максимальное водоудерживание обнаружено на глубине 10 см, что соответствует профильному распределению плотности и фильтрации в этом варианте. В образцах нижней части профиля происходит изменение формы кривой ОГХ, свидетельствующее о меньшей выраженности тонких пор.

pFa)

б)

В фоновой почве максимальные значения удельной поверхности получены для нижней части торфяного горизонта, что связано с почти полной степенью разложения торфа (по шкале Поста – Н10, по ГОСТ 21123-85 – более 60%). В подстиляющем минеральном горизонте значения удельной поверхности резко снижаются и достигают минимума в нижней части исследованного профиля. В 3-ем варианте величины удельной поверхности почв очень близки, за исключением верхнего слоя.

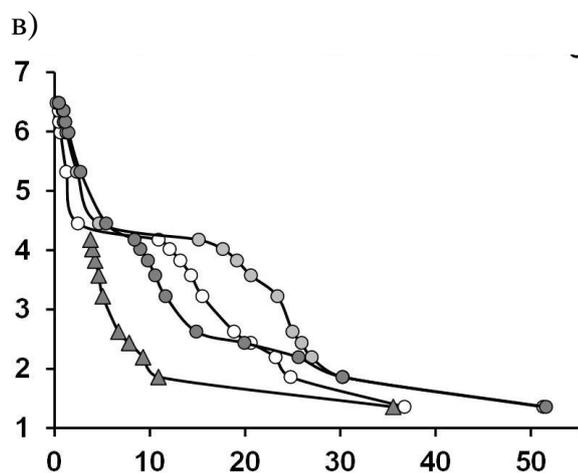
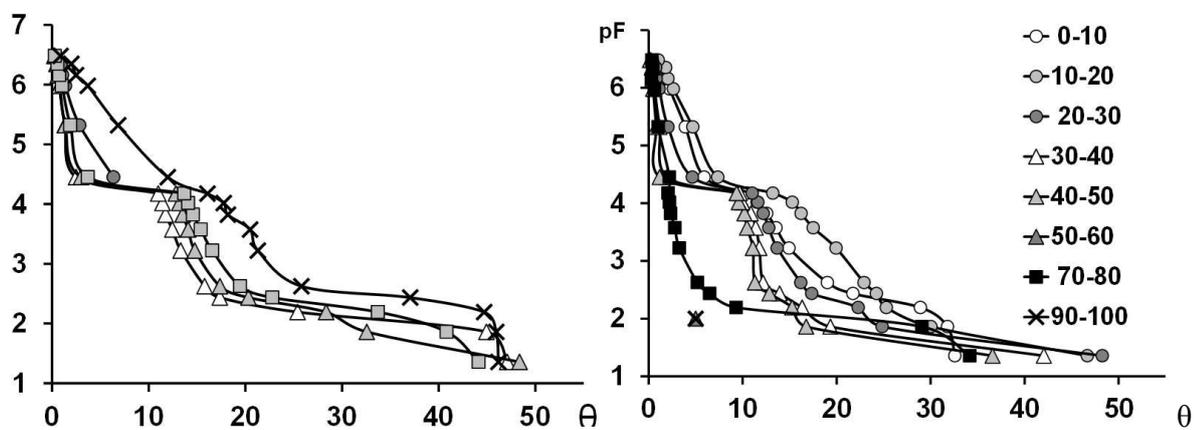


Рис.6. ОГХ исследованных почв: а) фон; б) 3 вариант, автоморфная; в) 3 вариант, гидроморфная

В гидроморфной почве дифференцированность профиля по водоудерживанию выражена сильнее, чем в автоморфной (рис. 6, в). В ней также выделяется глубина 10-20 см максимальными значениями. А слой, имеющий наименьшие величины, аналогичный нижнему горизонту автоморфной почвы, располагается ближе к поверхности - на глубине 50 см.

Таким образом, исследования профильных распределений агрофизических свойств рекультивированных почв показало их сильное отличие от фоновой почвы, а присутствие отчетливых границ почвенных слоев и грунта создает условия для формирования подвешенной влаги, особенно при увеличении автоморфности.

4.2. Основные агрохимические свойства почв

Одним из этапов рекультивации является биологический, обеспечивающий формирование растительного покрова, что предполагает необходимость оптимизации содержания элементов питания и рН.

В профиле фоновой почвы величины $pH_{водн.}$ находятся в диапазоне 5,3-6,5 (рис.6), что представляет собой несколько завышенные по сравнению с типичными значениями для данных почв (Атлас почв., 2010). К настоящему времени близкие к фоновым величины закономерно обнаружены в варианте 1. Некоторое увеличение значений $pH_{водн.}$ обусловлено внесением доломитовой муки.

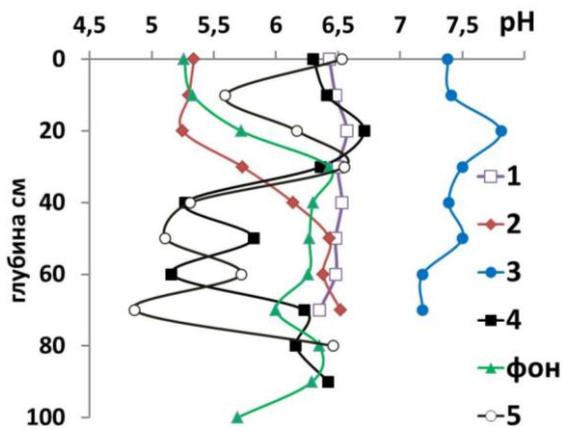


Рис. 7.Профильные распределения рН фоновой почвы и вариантов рекультивированных почв

изменениями их свойств за счет внесения ОСВи объемами доломитовой муки. В целом, условия в верхних горизонтах по изученному параметру относятся к благоприятным для успешного роста и развития многолетних злаковых трав, а для вариантов 1,4,5 – оптимальными (Тюльдюков и др., 2002).

Содержание биофильных элементов различается в вариантах исследования.В фоновой почве концентрация *подвижного фосфора* (P_2O_5) колеблется в пределах 6 – 22 мг/100г (рис. 8, а), что является низкой для торфяных почв (Кудрин, 1963).Аналогичные значения в варианте 4, в который, согласно архивным данным, не вносились удобрения. В остальных вариантах его количество относится к средней обеспеченности. Очень высокие значения фосфора (избыточные) обнаружены в 3 варианте рекультивации в связи с наибольшими дозами внесенных удобрений и использованием ОСВ. Повышенные значения на глубине 50см варианта 5 обусловлено спецификой проведенной рекультивации.

Содержание *подвижного калия* (K_2O)в исследуемых почвах низкое (рис. 8, б). В профиле фоновой почвы его концентрация колеблется в пределах 0,7 – 2,5 мг/100 г, что характерно для почв данного региона. Появление калия в почве может быть обусловлено антропогенным воздействием при загрязнении сырой нефтью, содержащей пластовые высокоминерализованные воды, и при внесении удобрений. Наибольшие значения в верхнем горизонте 1 варианта связаны с тем, что основными удобрениями были хлорид калия (60% - 200 кг/га) и мочеви́на (34% - 350 кг/га).

Наибольшее содержание общего **азота** (N, %) приурочено к верхним горизонтам почв и составило - 0,95% для фоновой почвы и 0,19-1,1% для рекультивированных участков. Исключением явилась почва3варианта: 3,1-3,5 % на глубине 20 см, резко снижаясь по профилю. Это связано с использованием минеральных удобрений и осадков сточных вод, содержащих, видимо, высокие концентрации азота.

Во 2-ом варианте наиболее кислые условия верхней 30 см толщи обусловлены меньшими объемами доломитовой муки на фоне внесения кислых удобрений, нижние горизонты варианта аналогичны фоновой почве.

В 4 и 5 вариантах снижение величин рН наблюдается с глубины 40 см. Это связано со спецификой проведения рекультивации в 5 варианте и с недоведенными до конца в 4-ом. Наибольшие значения в 3 варианте обусловлены начальными

а)

б)

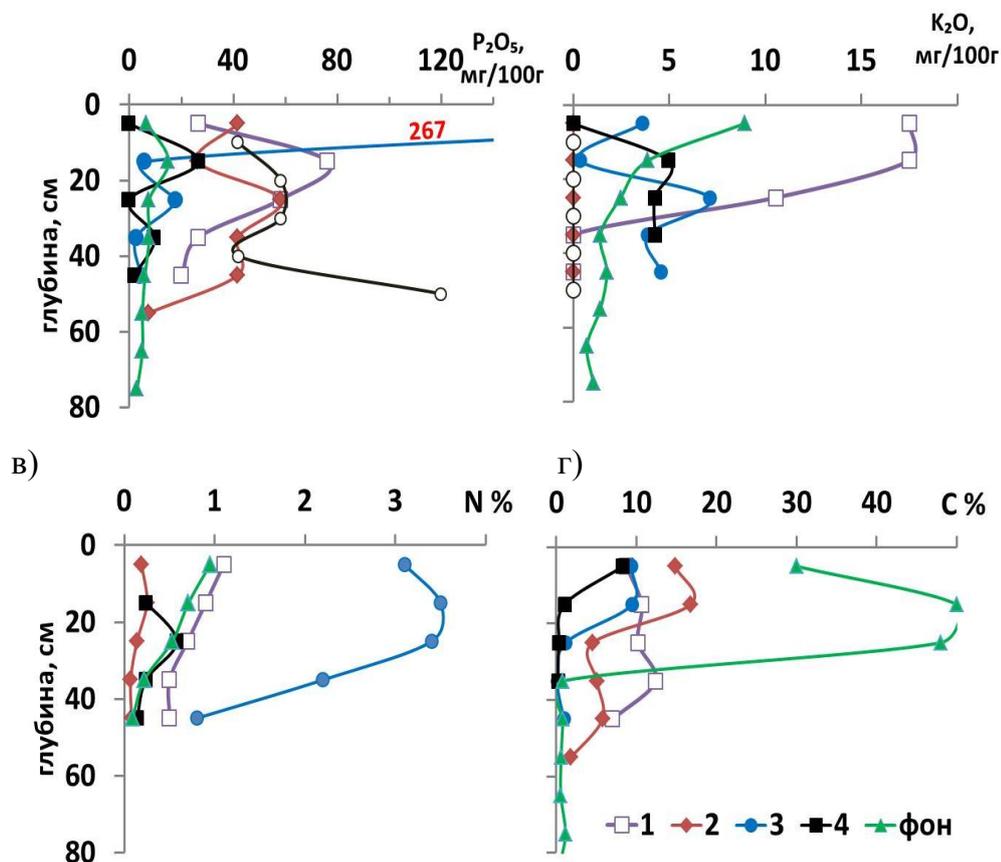


Рис. 8. Профильные распределения содержания элементов в фоновой почве и вариантах рекультивированных почв: а) подвижного Р (в пересчете на P_2O_5); б) подвижного калия (в пересчете на K_2O); в) общего азота; г) углерода

В профиле фоновой почвы **концентрация углерода** составила от 50 % в торфяном горизонте до 0,3% в его нижней части. Высокие концентрации углерода на всех участках рекультивации обусловлены, в том числе, наличием в составе почв остаточных количеств нефтепродуктов и внесением доломитовой муки. Соотношение углерода к азоту отражает общую направленность процессов биологического круговорота в экосистемах. Исследованные участки характеризовались высоким содержанием углерода и обеднением азотом, что негативно сказывается на интенсивности разложении углеводов подавлением деятельности микроорганизмов.

Таким образом, исследование некоторых агрофизических и агрохимических свойств почв показало их сильное изменение в результате проведенных этапов рекультивации.

Глава 5. Содержание нефтепродуктов в почвах исследованных участков

5.1. Распределение техногенных углеводов в исследуемых почвах

Распределение углеводов (УВ) по профилю показало низкие значения в фоновой почве (рис. 9), его основную часть составляет органическое вещество торфа, и соответствует фоновому уровню (Тетельмин, Язев, 2009).

Самая неблагоприятная обстановка

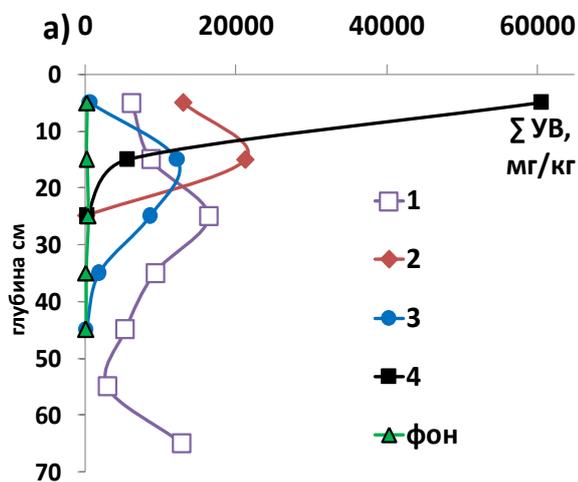


Рис.9.Профильное распределение углеводородов в фоновой почве и вариантах рекультивированных почв

сложилась в 4-ом варианте, в котором был проведен лишь частичный сбор нефти, содержание УВ достигает 60628 мг/кг (табл.1). Однако и остальные варианты, несмотря на рекультивационные мероприятия, содержат остальные количества УВ. Низкие концентрации отмечаются в варианте 1 с применением очистки загрязненного грунта. Несмотря на высокий уровень загрязнения на глубине 10-20 см варианта 3 содержание УВ в поверхностном слое находится в диапазоне от низкого до умеренного.

Для выявления особенностей и факторов радиального и латерального распределения УВ были определены их миграционно активные среднекипящие ($C_{14}-C_{23}$) фракции и инертные высококипящие ($C_{24}-C_{34}$). Наибольшее количество ($C_{14}-C_{23}$) фракций содержится в 1, 4 вариантах почв, в которых был применен сбор нефти с поверхности (табл. 1). Причем в 4 варианте под нефтяными пятнами отношение среднекипящей фракции к высококипящей более чем в 2 раза выше краевых позиций, что свидетельствует о возможной биodeградации по периметру пятен. Профильное распределение соотношения $C_{14}-C_{23}/C_{24}-C_{34}$ показало, что в варианте 1 в верхних слоях преобладают наиболее инертные фракции нефтепродуктов, что свидетельствует о преимущественно вертикальной миграции.

Табл. 1. Содержание углеводородов в верхнем слое исследованных почв

вариант		Σ УВ мг/кг	$\frac{C_{14}-C_{23}}{C_{24}-C_{34}}$	$\frac{\%н-алканов}{C_{14}-C_{23}}$	$\frac{C_{17}+C_{18}}{C_{15}-C_{16}}$	
Фон		238	0,3	15,0	1,6	
1		6152	0,6	0,25	3,8	
2		13009	0,3	0,1	0,07	
3	Авто морф	3.1	5556	0,25	5,1	1,3
		3.2 раст.	599	0,26	4,3	1,6
	гидро морф	3.3	29166	0,32	5,1	1,0
		3.4 раст.	4889	0,28	3,0	0,7
4	4.1 центр пятна нефти	60628	0,70	1,4	0,6	
	4.2 край пятна нефти	15085	0,30	0,1	0,9	

В варианте 3 обратная ситуация - преобладает латеральный перенос. Рассмотрим данный вариант подробно. В нем ярко выражена мозаичность

растительного покрова, присутствует выраженность рельефа, в том числе и внутрипочвенного, различны условия увлажнения. Здесь были выбраны дополнительные ключевые точки, отличавшиеся наличием или отсутствием растительного покрова. Снижение концентрации поллютантов на автоморфном (варианты 3,1 и 3,2) участке, по-видимому, вызвано интенсификацией их разложения и выноса. Увеличение их концентрации на гидроморфном (варианты 3,3 и 3,4) участке связано с преобладанием процесса накопления над выносом, о чем свидетельствует и повышение отношения C14-C23/C24-C34. На покрытых растительностью участках (варианты 3.2 и 3.4) автоморфной и гидроморфной позиций общее содержание УВ ниже, чем на участках без растительности (варианты 3.1 и 3.3).

5.2. Модельные фильтрационные эксперименты

Для изучения возможности миграции влаги и веществ в вертикальном и латеральном направлениях автоморфных и гидроморфных позиций варианта 3 были проведены модельные эксперименты с использованием метки движения влаги красителя BrilliantBlue (BB). В фильтрационные трубки, установленные на разных глубинах, подавался равный объем раствора, после прохождения которого, исследовалась морфология пятен окрашивания, их смещение относительно центральной оси и расчет площади окрашивания.

Было выявлено, что глубина промачивания раствором увеличивалась в нижних горизонтах, что обусловлено песчаным гранулометрическим составом и высокими скоростями фильтрации влаги. При установке фильтрационных колонок на поверхность автоморфной почвы (рис. 10 а) происходило постепенное возрастание площади окрашивания до гл. 8 см, что свидетельствует о преобладании латерального передвижения влаги, а затем резкое снижение во всех трех повторностях. В гидроморфной почве (рис. 10 б) на фоне большого разброса значений такой закономерности не обнаружено.

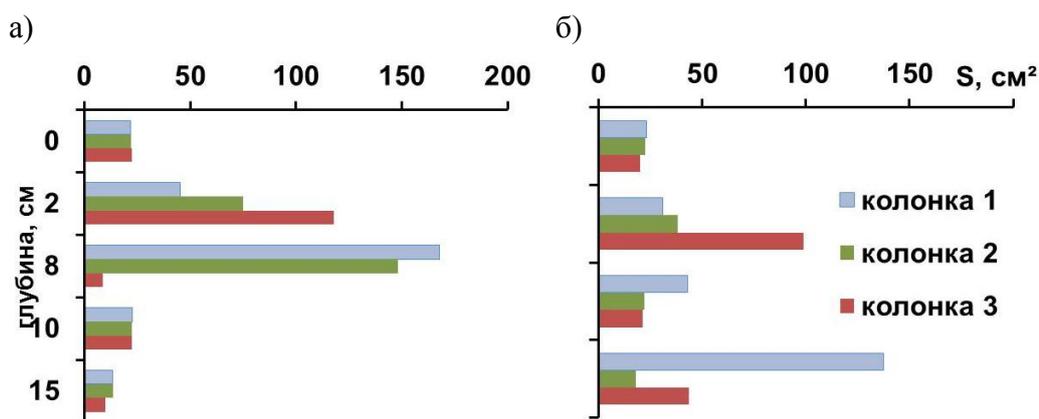


Рис.10. Профильное распределение площадей окрашивания раствором BB в почвах варианта 3: а)автоморфных позиций; б) гидроморфных позиций

Изучение отклонения окрашиваемых участков от центра фильтрационной трубки показало, что на уплотненном подпахотном горизонте наблюдается растекание красящего раствора с выраженной направленностью по уклону рельефа.

В нижних горизонтах происходило увеличение глубины промачивания, окрашивание имело симметричный характер с центром, совпадающим с осью фильтрационных трубок. Таким образом, гипотеза о возможности передвижения почвенной влаги по искусственно-созданному рельефу в поверхностном горизонте почв варианта 3 получила свое экспериментальное подтверждение.

Были проведены лабораторные колоночные эксперименты на монолитах минеральных горизонтов фоновой почвы с целью исследования возможности миграции растворенных веществ и нефти в профиле тундрово-глеевых почв, находящихся в сильно увлажненном состоянии. Было выяснено, что нефть способна достаточно быстро перемещаться, причем самая высокая скорость миграции была обнаружена в нижних горизонтах и достигала 200 см/сут. Проведенный модельный эксперимент показал, что формирование условий для свободного передвижения почвенной влаги ведет к увеличению подвижности нефти и возможности ее миграции. Вероятно, к принятой технологии в северных регионах по использованию явления промерзания почв для вымораживания (выдавливания) нефти, в периоды поступления значительных количеств влаги, возможно быстрое перемещение НП. Это особенно важно в условиях рекультивации почв в северных регионах России, где предусматривается закладка дренажных систем.

Глава 6. Биологические свойства исследованных почв

6.1. Растительный покров

На исследованных участках к настоящему времени наряду с высеянными многолетними травами произрастали другие растения. Практически все пространство дренажных канав всех вариантов занимала пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.), причем в 5 варианте она дополнительно заняла замкнутую низину размером 1х2 м в центре.

По периметру варианта 1 встречаются единичные экземпляры щавеля конского (*Rumex confertus*), а варианта 3, кроме того, клевер луговой (*Trifolium pratense*) и иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* L.).

Во 2 варианте, рекультивированном с помощью запахивания оставшейся нефти, травянистая смесь не закрепилась, вся поверхность данного участка оголена.

На 4 участке весь первый ярус, представленный березой бородавчатой (*Betula pendula*) и елью обыкновенной (*Picea abies*), погиб. Именно здесь наибольшее загрязнение верхнего горизонта нефтепродуктами (рис.9, табл. 1). Подлесок представлен березой бородавчатой и ивой остролистной. В травянистом ярусе хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.) – проективное покрытие 45%, пушица

влагалищная – 15%, иван-чай– 10%. Поверхность данного варианта характеризуется высокой мозаичностью растительного покрова и наличием большого количества нефтяных луж.

Таким образом, различия в состоянии растительного покрова вариантов исследования условиями увлажнения и загрязненностью нефтепродуктами.

Была исследована динамика изменения растительного покрова с 2010 г в течение 4 лет. Ввиду того, что последним по времени рекультивации явился вариант 3, именно в нем происходили наиболее заметные изменения растительного покрова. В 2010 г. травянистый покров был выражен фрагментарно. Поверхность без растительности имела темно-серый «обугленный» цвет с большим количеством крупных глыб темной, почти черной окраски поверхности. Описываемые почвенные глыбы неправильной формы имели визуально отличимый черный цвет поверхности и более светлый внутренней массы, что и придавало вид «сгоревшей» поверхности всей территории проплешин. В течение 4-х лет происходило постепенное зарастание травами и сокращение площадей темно-окрашенных проплешин. К настоящему времени данная территория, покрытая травянистым растительным покровом и рядовыми посадками саженцев сосен продолжает иметь пятнистость проективного покрытия растениями. На всех остальных участках заметных изменений растительного покрова не обнаружено.

6.2. Численность бактерий и таксономический состав сапротрофных бактериальных комплексов

Было проведено изучение численности бактерий и таксономического состава сапротрофных бактериальных комплексов верхних горизонтов рекультивационных почв (табл. 2). Доминантами в фоновой почве явились *Bacillus* и *Arthrobacter*, в почвах вариантов 1 и 3 с низким уровнем загрязнения нефтепродуктами верхнего горизонта – *Arthrobacter*, в вариантах с высокой загрязненностью – *Bacillus* (варианты 2,4).

Табл. 2. Общая численность и таксономическая структура сапротрофных бактериальных комплексов

вариант	Общая числ. N[кл]/г	Доминанты >30%	Субдоминанты 30-20%	Группа среднего обилия 20-10%	минорные компоненты <10%
Фон	$5.9 \cdot 10^8$	<i>Bacillus</i> 58 <i>Arthrobacter</i> 31			<i>Spirillum</i> 7,4 <i>Pseudomonas</i> 7,4
1	$1,8 \cdot 10^9$	<i>Arthrobacter</i> 41	<i>Cytophaga</i> 24	<i>Mycococcus</i> 16 <i>Rhodococcus</i> 14	<i>Pseudomonas</i> 5,6
2	$3.9 \cdot 10^8$	<i>Bacillus</i> 62 <i>Pseudomonas</i> 35			<i>Mycococcus</i> 3,45

3	Автоморфный	3.1	$2,5 \cdot 10^9$	<i>Spirillum</i> 42		<i>Artrobacter</i> 18 <i>Cytophaga</i> 16 <i>Pseudomonas</i> 15	<i>Rhodococcus</i> 6,4 <i>Bacillus</i> 2,9
		3.2 раст.	$1,1 \cdot 10^9$	<i>Artrobacter</i> 36		<i>Rhodococcus</i> 15 <i>Streptomyces</i> 13	<i>Bacillus</i> 9 <i>Cytophaga</i> 7,5 <i>Pseudomonas</i> 4,8 <i>Myxococcus</i> 4,8 <i>Spirillum</i> 4,8
	Гидроморфный	3.3	$1,3 \cdot 10^9$			<i>Artrobacter</i> 15	<i>Cytophaga</i> 8,9 <i>Rhodococcus</i> 6,9 <i>Cellulomonas</i> 1,6 <i>Serratia</i> 0,3 <i>Bacillus</i> 0,3
		3.4 раст.	$1,4 \cdot 10^9$	<i>Artrobacter</i> 48	<i>Cytophaga</i> 20	<i>Rhodococcus</i> 13 <i>Myxococcus</i> 13	<i>Pseudomonas</i> 4,7 <i>Streptomyces</i> 1,2
4	4.1 нефть	$1,4 \cdot 10^8$	<i>Bacillus</i> 91,7		<i>Cytophaga</i> 8,3		
	4.2 вокруг пятен нефти	$9,4 \cdot 10^8$	<i>Bacillus</i> 36,8	<i>Myxococcus</i> 22 <i>Cytophaga</i> 21	<i>Arthrobacter</i> 12	<i>Rhodococcus</i> 2,3 <i>Streptomyces</i> 0,6 <i>Pseudomonas</i> 0,5	

Было обнаружено, что в наиболее загрязненном 4 варианте рекультивированных почв общая численность бактерий вокруг нефтяных пятен ($9,4 \cdot 10^8$) практически на порядок превосходит численность под нефтяным пятном ($1,4 \cdot 10^8$), где, кроме того, отсутствуют субдоминанты и минорные, что свидетельствует об активном разложении нефти бактериями.

Подробное исследование бактериального комплекса в варианте 3 показало, что основные различия обусловлены как степенью загрязнения, так и увлажненностью почв. Так, на автоморфных позициях на участке с отсутствием растительности и 10-кратным превышением суммарного содержания углеводов доминантой становятся *Spirillum*(42%), а *Artrobacter*снижается с 36 до 18 %, так же как и в гидроморфных почвах – с 48 до 15 %.

Глава 7. Влияние остаточных количеств углеводов нефти на воднофизические свойства почв

Для детального изучения влияния остаточных количеств углеводов нефти на воднофизические свойства почв также был подробно исследован 3 вариант. Определение фракций углеводов показало, что в гидроморфных почвах их содержание значительно выше, чем в автоморфных(табл.1). Для исследования сорбционных и водоудерживающих характеристик почв были отобраны образцы

почв верхнего горизонта под растительностью и на участках без нее автоморфной и гидроморфной позиций. Причем для автоморфного участка дополнительный отбор образцов осуществлялся с поверхности и внутренней частитемноокрашенных глыб верхнего горизонта.

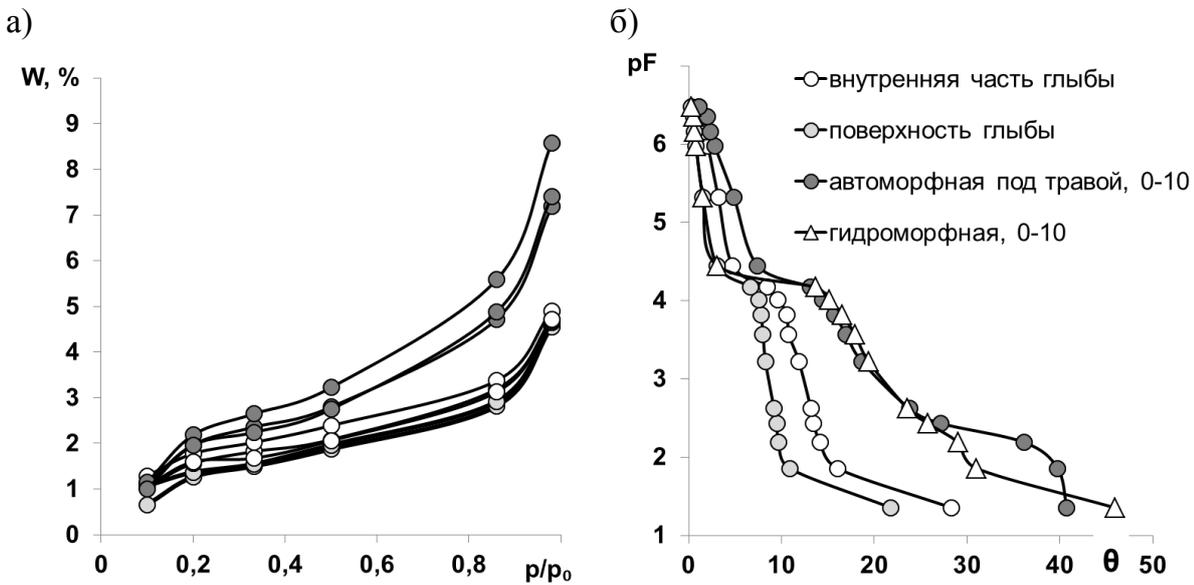


Рис.11. Гидрофизические функции почв: а) изотермы десорбции паров воды; б) ОГХ почвенных образцов разной степени загрязненности нефтепродуктами

Изотермы десорбции паров воды почв участка под растительностью расположены выше кривых образцов из загрязненного участка, а наиболее низкое положение занимает почва поверхности глыб (рис. 11 а). Кривые ОГХ почв под растительностью значительно смещены в сторону больших значений влажности относительно кривых загрязненного участка во всем исследуемом диапазоне. Рассмотрение внутренней и внешней части глыб также выявило различия снижением водоудерживания в самом загрязненном образце, отобранном с поверхности глыб. Расчет влажности завядания (ВЗ) и наименьшей влагоемкости (НВ) по ОГХ (Шеин, 2005) показал следующие значения констант: ВЗ: 6,5 - 8,4 - 13,2 и НВ: 9,5 - 13,4 - 26,3 в ряду: *внешняя поверхность глыбы - внутренняя часть глыбы - почва под растительным покровом*, соответственно. Таким образом, происходит снижение значений почвенно-гидрологических констант с увеличением степени загрязнения нефтепродуктами более, чем в 2 раза. Наряду с этим наблюдается и сужение диапазона продуктивной влаги от 13,1 до 3 %.

Это привело к сильному угнетению растительного покрова и полному выпадению травянистой растительности и саженцев сосны вследствие острой нехватки воды на автоморфных позициях. На это указывает и то, что при близком уровне загрязнения (вариант 3.1 и 1, 4, табл. 1) уменьшение увлажненности почв привело к выпадению растительности. Необходимо отметить то, что методы почвенной гидрофизики оказались весьма чувствительными к генетическим особенностям и степени загрязнения рекультивированных почв.

Таким образом, способность изученных рекультивированных почв к самоочищению от техногенных УВ определяется совокупностью факторов: 1- фракционным составом УВ и переносом органических поллютантов водными потоками; 2 - уровнем исходного углеводородного загрязнения и дальнейшей интенсивностью биodeградации, которая будет определяться, главным образом, водным и температурным режимами почв.

Глава 8. Температурный режим почв.

Изменения свойств почв при их загрязнении нефтью и рекультивации ведет к иному функционированию или иным агрофизическим режимам. В работе подробно изучен температурный режим почв вариант 3 и фоновой почвы в годовом цикле.

Количество осадков за исследуемый период с августа 2012 г. по июль 2013 г. составило 78% от средних многолетних с неравномерным распределением в году. Самым холодным месяцем был январь, а самым теплым – июль. Устойчивое охлаждение почв началось в начале сентября, а прогревание – в мае.

Почва фонового участка оказалась наиболее холодной по длительности периода с отрицательными температурами (213 дней для гл. 10 см) (рис.12), с наиболее низкими средними и медианными годовыми значениями температуры поверхностного горизонта. Глубже 20 см отрицательные температуры почв не наблюдались, что обусловлено высокой обводненностью почвенной толщи и наличием 30-см торфяного слоя. Температура ее поверхности не превысила 20 °С в летний период.

Наиболее контрастным температурному режиму явился вариант автоморфной почвы без растительности, годовой разброс значений температуры поверхности составил 39 °С (в фоновой 15 °С), охлаждение ниже нуля градусов на 46 дней в году охватило 70-см толщу, абсолютные значения летом достигали 37 °С.

Наличие растительного покрова изменило температурный режим почв: в летний период температура верхнего горизонта ниже более, чем на 10 °С, отрицательные температуры также достигли глубины 70 см, но при этом прогревание в нижней части профиля шло со значительным запаздыванием.

Влияние растительности на температурный режим гидроморфных почв оказалось сильнее, чем автоморфных. На гидроморфном участке без растительности с расположением грунтовых вод на глубине 55-60 см, отрицательные температуры не опустились глубже 10 см. Отметим, что наибольшее загрязнение углеводородами в варианте 3 имеет именно этот участок и составляет 29000 мг/кг (табл.1.). Период непрерывного охлаждения данной почвы гидроморфного заметно короче остальных и составляет 3,7 месяца, что, видимо, связано с наличием нефти, как органического вещества, снижающего температуропроводность почвы и альбедо поверхности почвы. Именно на данном участке отмена наиболее низкая скорость биodeградации НП по полному отсутствию бактерий в доминантах и субдоминантах.

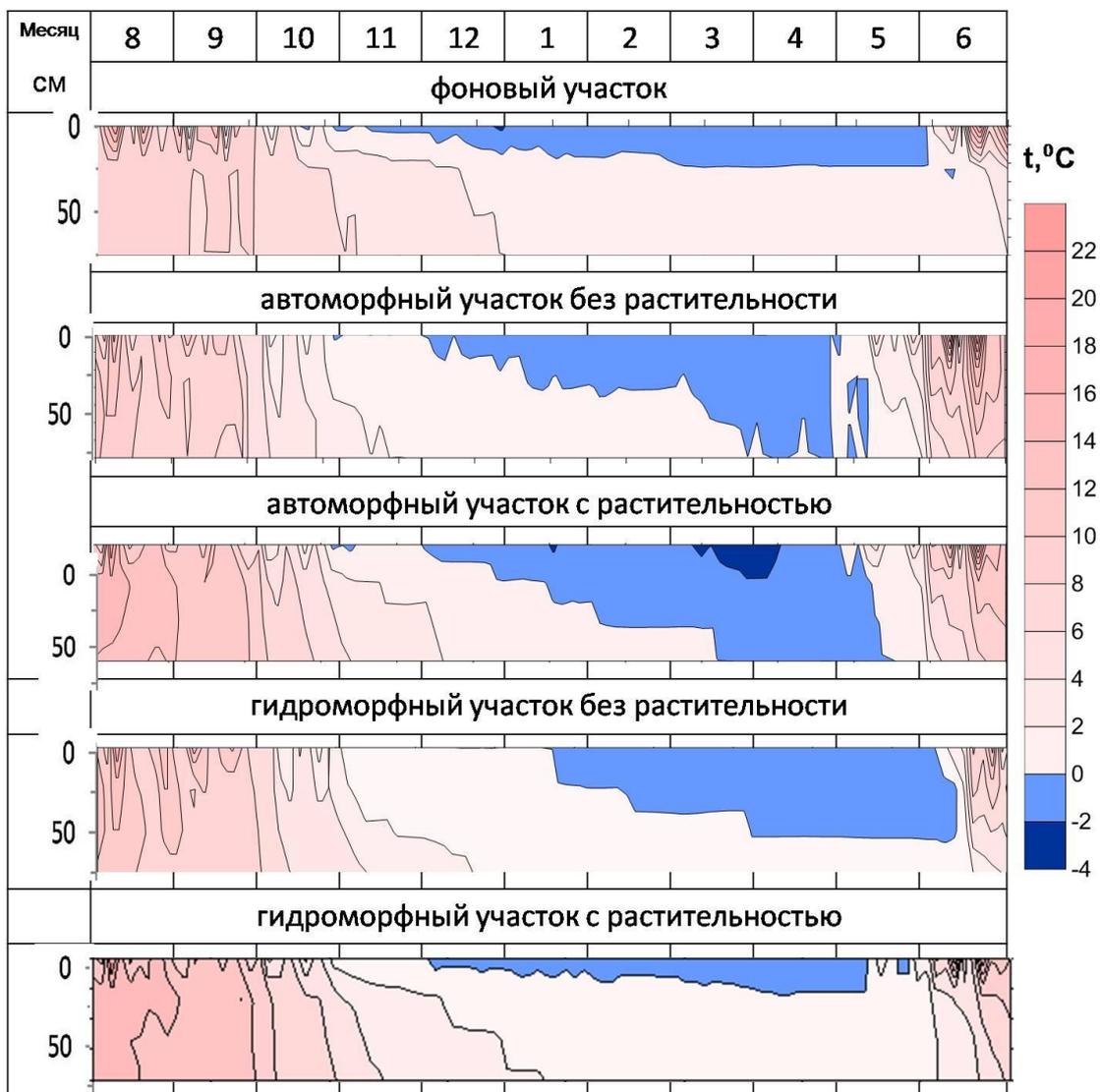


Рис.12.Изоплеты распределения температур в годовом цикле: а) фоновая почва, в) вариант 3.1; в) вариант 3.2; г) вариант 3.3 (условные обозначения в табл. 1).

В целом, изучение температурного режима почв выявило сильное влияние загрязнения на температурный режим почв, заключающееся в формировании более теплых условий и снижений амплитуды колебаний температуры почв, особенно при переувлажнении, что вероятно связано с несколькими факторами: влиянием нефти на теплопроводность почв и снижением влажности почв под растительным покровом.

Глава 9. Математическое моделирование водного режима исследуемых почв

Большое значение при изучении функционирования почвенного покрова имеет его водный режим. В отличие от температурного режима его определение сопряжено с рядом методических трудностей, в первую очередь обусловленных невозможностью использования приборов автоматического измерения в условиях высокой влажности.

Косвенным методом, позволяющим выявить различия в функционировании почвенной толщи, является применение физически обоснованных математических моделей. В работе была применена математическая модель Hydrus. Для прогноза водного режима были использованы следующие экспериментально определенные параметры: плотность почв, содержание органического вещества, гранулометрический состав, основная гидрофизическая характеристика. Начальные условия были заданы по экспериментально определенным в начале июня 2012 г профильным распределениям влажности почв. Условия на верхней границе были взяты из базы данных метеостанции Усть-Уса, расположенной в 50 км на юго-запад от исследуемого объекта (<http://meteo.ru/it/178-aisori>). Условия на нижней границе соответствовали постоянному значению давления почвенной влаги.

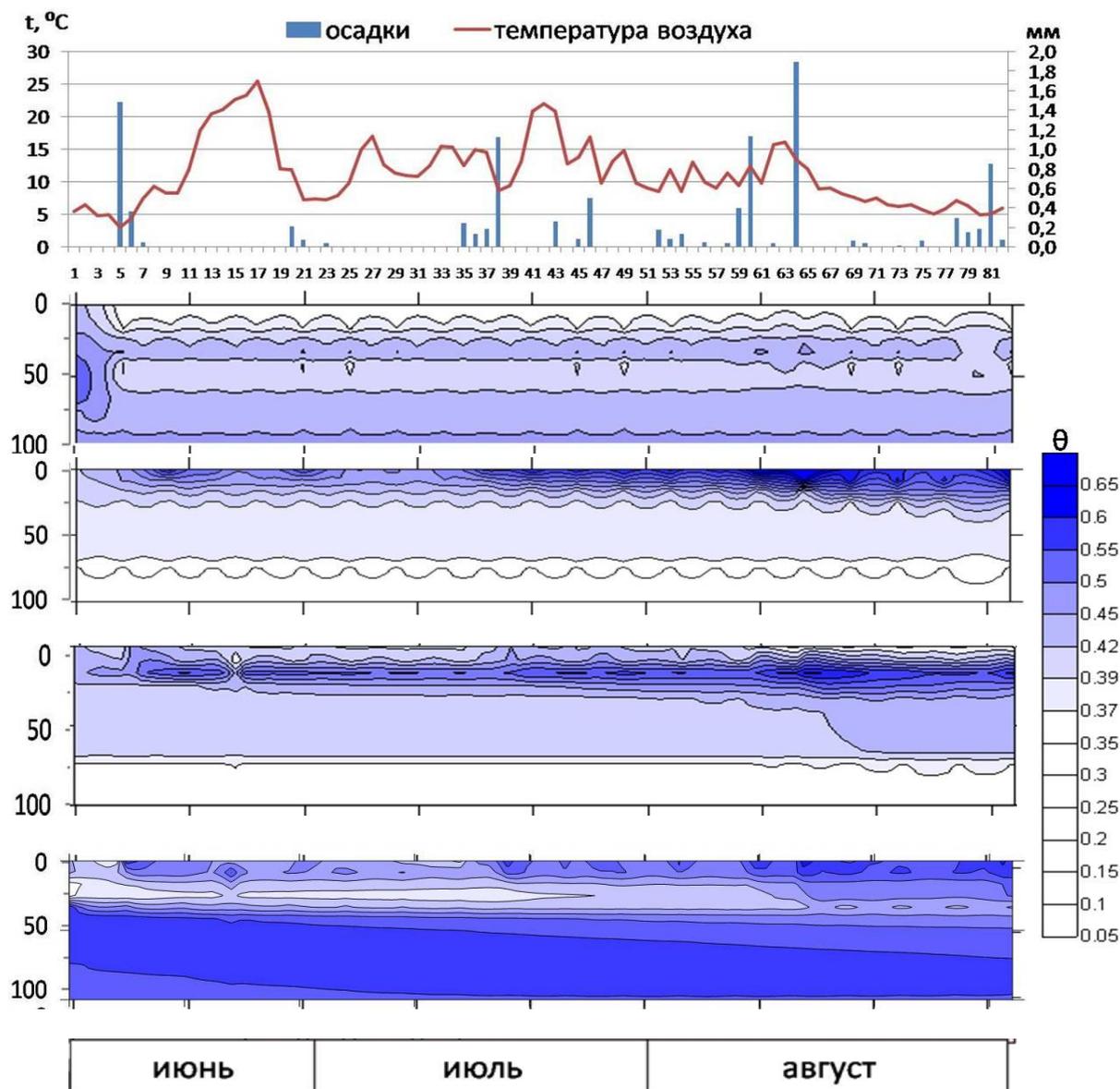


Рис. 13. Изоплеты влажности и температуры почв в летний период 2012 г: а) фоновая почва, в) вариант 3.1; в) вариант 3.2; г) вариант 3.3 (условные обозначения в табл. 1).

Прогноз влажности почв на три летних месяца показало высокую вероятность формирования двухярусной верховодки в фоновой почве границе горизонтов торф -

песчаный слой (рис. 13). Здесь, на глубине 30 см, наблюдалось увеличение плотности почв, резкое снижение удельной поверхности и водоудерживающей способности.

Резкое изменение влажности с глубиной характерно для автоморфных и гидроморфных почв варианта 3. Для почв верхних позиций рельефа происходит снижение влажности вниз по профилю, глубина промачивания в соответствии с количеством и продолжительностью выпадающих осадков не превысила 30-40 см. Глубже в песчаном слое влажность слабо изменяется, что обусловлено как небольшим количеством выпадающих осадков, так и наличием водоупора на глубине 10-20 см.

В гидроморфной почве наблюдается обратная картина распределения влажности – ее постепенное увеличение с глубиной в связи с близким расположением грунтовых вод. Осадки не проникали глубже 10 см, и наблюдается постепенное смещение вниз зеркала грунтовых вод.

Таким образом, во всех изученных вариантах велика возможность формирования капиллярно-подвешенной влаги на границах горизонтов.

Влияние загрязнения на водный режим почв было смоделировано для участка автоморфной почвы без растительности. Модель показала возможность формирования очень сухого поверхностного слоя, быстро сбрасывающего почвенную влагу в слой над водоупором, расположенном на глубине 10-20 см. На этой же глубине обнаружено наибольшее загрязнение нефтепродуктами, а проведенные полевые фильтрационные эксперименты показали возможность латерального перемещения влаги и растворенных веществ по поверхности данного слоя.

Таким образом, проведенные рекультивационные мероприятия и остаточное загрязнение нефтепродуктами сильно меняют температурный и водный режимы почв, формируют автоморфные позиции, приводят к иному функционированию почвенной толщи, изменению продолжительности периодов промерзания в зимний период, увеличению температуры поверхностных слоев.

Выводы:

1) Исследованные варианты рекультивированных почв выявили значительную разницу в физических, химических и биологических свойствах почв в зависимости от проведенных мероприятий. Наибольшие изменения характерны для тех вариантов почв, в которых были проведены перемещения земляных масс.

- Создание резких переходов границ почвенных слоев и грунта, особенно при формировании автоморфных условий, не характерных для почв лесотундры, ведет к появлению подвешенной влаги на границах горизонтов, смене вертикального стока на латеральный, и как следствие – возможности перемещения нефтепродуктов по внутрипочвенному склону в понижения рельефа.

- Содержание большинства биофильных элементов в фоновой тундрово-глеевой почве низкое. Их концентрации в рекультивированных почвах зависят от количества

внесенных удобрений и применения осадков сточных вод для формирования верхнего слоя одного из исследованных вариантов почв.

- Все варианты почв, несмотря на рекультивационные мероприятия, содержат высокие концентрации углеводородов нефти. Наиболее неблагоприятная обстановка сложилась в варианте, где на физико-механическом этапе рекультивации был проведен лишь частичный сбор нефти с поверхности.

2) Проведенные экспериментальные исследования почв республики Коми, рекультивированных после разливов нефти, показал высокую чувствительность воднофизических свойств почв к ее остаточному загрязнению углеводородами нефти, выразившуюся: снижением коэффициента фильтрации, уменьшением удельной поверхности твердой фазы, снижением сорбционной способности и капиллярной влагоемкости, сужением диапазона продуктивной влаги более, чем в 4 раза на автоморфных позициях.

3) Обнаружены различия в степени загрязнения почв, располагающихся на разных отметках рельефа, обусловленные: (1) пониженными скоростями разложения углеводородов нефти вследствие большей гидроморфности и более холодными условиями, ведущими к снижению, как общей численности бактерий, так и бактерий, участвующих в процессе разложения нефти; (2) вследствие латерального перемещения нефти в верхней толще почв.

4) Рекультивация почв, включающая механическую очистку грунтов и перемещение земляных масс, формирование резких границ горизонтов, наличие остаточных количеств нефтепродуктов ведет к сильнейшему изменению агрофизических свойств, которое в свою очередь меняет температурный и водный режимы почв, увеличивая их контрастность, амплитуды колебаний показателей, продолжительность периодов промерзания.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. *Ежелев З.С., Умарова А.Б., Лысак Л.В.* Трансформация свойств нефтезагрязненных тундрово-глеевых почв при их рекультивации разными методами // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, № 6, 2014. С. 75-79.
2. *Ежелев З.С., Умарова А.Б., Гончарук Н.Ю., Завгородняя Ю.А., Ежелева А.С.* Свойства рекультивированных после загрязнения нефтью тундровых почв севера Европейской части России // *Вестник Оренбургского государственного университета*, № 10 (159), 2013. С. 253-256.
3. Умарова А.Б., Вайгель А.Э., Ежелев З.С., Сусленкова М.М., Початкова Т.Н. Изменение дисперсности и формирование агрегатной структуры почвенных горизонтов в первые годы функционирования конструктороземов // *Материалы первой Всероссийской открытой конференции*. Москва, 8-10 октября 2014. С. 426-430
4. *Ежелев З.С., Умарова А.Б., Гончарук Н.Ю., Ежелева А.С.* Свойства рекультивированных после разливов нефти почв республики Коми // *Сборник материалов международной научной конференции «Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование»*, 10-15 июня 2013 г., Новосибирск. С.91-93.
5. *Ежелев З.С., Умарова А.Б.* Трансформация агрофизических свойств нефтезагрязненных тундрово-глеевых почв при их рекультивации разными методами // *Международное совещание «Антропогенная трансформация почвенного покрова»*, Барнаул, 23-27 июня 2014 г. С. 75-79.
6. *Умарова А.Б., Ежелев З.С., Гончарук Н.Ю.* Изменение свойств тундрово-глеевых почв Республики Коми после их рекультивации при разливах нефти // *Материалы докладов VI Всероссийского съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева «ПОЧВЫ РОССИИ: современное состояние, перспективы изучения и использования»*, 13-18 августа 2012 г. Петрозаводск.