

**На правах рукописи**

**Горошевский Андрей Валерианович**

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЧВЫ И ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Специальность 03.00.27 – «Почвоведение»**

**Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата биологических наук**

**Москва – 2005**

Работа выполнена на кафедре физики и мелиорации почв факультета Почвоведения  
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

<b>Научный руководитель:</b>	доктор биологических наук, профессор <b>Карпачевский Л.О.</b>
<b>Официальные оппоненты:</b>	доктор биологических наук <b>Демидов В.В.</b> кандидат биологических наук <b>Баранова О.Ю.</b>
<b>Ведущее учреждение:</b>	Институт физических и биологических проблем почвоведения, РАН

Защита состоится « 25 » 10 2005 г. в аудитории М-2 на заседании  
диссертационного совета К 501.001.04 при МГУ им. М.В. Ломоносова на факультете  
Почвоведения по адресу: 119992, ГСП-2 Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.  
Ломоносова, ф-т Почвоведения.

Автореферат разослан « 22 » 09 2005 г.

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании  
диссертационного совета или присылать отзывы на автореферат в двух экземплярах,  
заверенные печатью, по адресу: 119992, ГСП-2 Москва, Ленинские горы, МГУ им. М.В.  
Ломоносова, ф-т Почвоведения, Учёный совет. Факс (095) 939-28-63

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат биологических наук

Л.Г. Богатырёв

**Актуальность.** В последние годы антропогенное воздействие на почву, влекущее за собой разнообразные изменения ее свойств, становится все жестче. Особенно расширяются влияния на почву в результате прокладки трубопроводов (нефтяных, газовых и пр.). Возникающее при этом взаимодействие почвы и металла трубы часто становится непосредственной причиной аварий трубопроводов и загрязнения окружающей среды. Именно этим обусловлена необходимость исследования характера и закономерностей подобных взаимодействий.

Актуальность данной работы определяется возросшими масштабами экономических и экологических катастроф, обусловленных длительной эксплуатацией протяженных трубопроводных систем при отсутствии достоверных методов оценки взаимного влияния в системе «почва - трубопровод».

С точки зрения теории представляется актуальным изучение скорости восстановления свойств нарушенной почвы до равновесного состояния, а в отдельных случаях близкого к свойствам фоновой почвы.

Эти исследования имеют большое практическое и экологическое значение. Так, при аварийном отказе газопровода выгорает вся растительность в радиусе ~150 метров, а почва на глубину около 5 сантиметров становится однородной остекленевшей массой. По ориентировочной оценке экспертов одной из наиболее крупных нефтегазовых компаний, прямые затраты, связанные с коррозией, составляют порядка 5% от общих затрат на эксплуатацию. Косвенные издержки, связанные с прекращением эксплуатации трубопровода, потерями продукта и загрязнением окружающей среды (нефтепродукты), могут превысить эти затраты в несколько раз. Разработка современной стратегии борьбы с коррозией является, таким образом, не только экономической, но и экологической необходимостью.

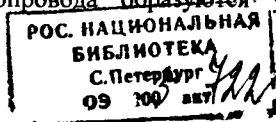
**Цель работы:** изучить изменения почвы под влиянием трубопроводов и влияние почвы на возникновение коррозионных дефектов на трубопроводах.

#### **Задачи исследования.**

1. Установить закономерности почвенных свойств для выявления участков трубопровода, подверженных коррозии.
2. Определить критерии для прогнозирования типа коррозионного процесса (локальная язвенная коррозия, коррозионное растрескивание под напряжением - КРН) на трубопроводе.
3. Определить критерии влияния системы «почва - трубопровод» на изменение почв и их свойств в окружающей экосистеме.
4. Оценить условия функционирования сульфатовосстанавливающих бактерий (СВБ) в местах повреждений трубопровода.

#### **Научная новизна.**

На основании анализа коррозионных повреждений на трубопроводах (повреждение изоляции, локальная и питтинговая коррозия, КРН) установлено, что вокруг трубопровода образуются участки почвы с



благоприятными условиями для развития локальных коррозионных дефектов. Доказано, что наибольшее количество повреждений концентрируется на границах почвенных контуров. Показано, что большинство коррозионных дефектов трубы приурочено к участкам почвенного покрова, на которых чередуется сильное периодическое переувлажнение и иссушение. В свою очередь, под влиянием трубопровода (изменение водного, температурного и газового режимов и т.п.) происходит изменение почвы и почвенных процессов. Под нижней образующей трубопровода формируется рыхлый почвенный слой, часто с более высокой температурой и повышенной влажностью, что приводит к развитию анаэробной микрофлоры, снижению окислительно-восстановительного потенциала, образованию сероводорода.

**Практическая ценность работы:** Полученные в процессе исследования результаты, позволяют определять участки трубопроводов, на которых с высокой вероятностью возможно развитие интенсивных коррозионных процессов, приводящих к аварийным разрушениям трубопроводов. Показана перспективность электрического зондирования для выявления почвенных зон со свойствами, способствующими развитию коррозионных процессов. Данный метод может быть использован в геологических изысканиях при проектировании трубопроводных систем.

Определен основной критерий оценки системы «почва - трубопровод» для прогнозирования изменения свойств почв в окружающей экосистеме.

**Апробация.** Результаты работы были заслушаны на заседании кафедры физики и мелиорации почв 28 октября 2004 года, на Докучаевской конференции 2003 г, Ломоносовской конференции. 2004г

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 5 печатных работ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, выводов, приложения и списка литературы. Работа изложена на 120 страницах печатного текста, включает 11 таблиц, 4 схемы и 6 фотографий.

Список литературы состоит из 125 наименований, в том числе 10 на иностранных языках.

Автор диссертации приносит глубокую благодарность коллективу кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ и ООО НТЦ «Транскор-К» за помощь в исследовательской работе.

## Глава I. Взаимодействие трубопроводов и почв в условиях длительной эксплуатации.

В главе обобщены литературные данные и предложены теоретические разработки автора. Практически работа представляет собой первый труд посвященный проблеме коррозии труб в почве, поэтому было решено расширить теоретическую часть.

Разложение органического вещества в почве происходит химическим и микробиологическим путём. В случае с трубопроводом большая часть принадлежит СВБ (сульфатовосстанавливающие бактерии), поэтому важно описать некоторые основные условия их жизнедеятельности.

Под термином «коррозия» в работе подразумевается, согласно международному стандарту ISO 8044, физико-химическое или химическое взаимодействие между металлом (сплавом) и средой, приводящее к ухудшению функциональных свойств металла (сплава), среды или включающей их технической системы. *Ржавчина* - это слой частично гидратированных оксидов железа, образующийся на поверхности железа и некоторых его сплавов в результате коррозии.

### ОВП и pH среды

В природных водах, почвах и нефтях СВБ повсеместно распространены, несмотря на широкое - от +115 до - 450 мВ - варьирование ОВП (Баас-Бекинг с соавт., 1963; Booth, 1971; Розанова, Кузнецов, 1974). Трудно ожидать прямой корреляции численности СВБ с уровнем ОВП, хотя иногда такую закономерность получают (Лактионов, Иутинская, 1983). По данным Розановой (1980), чистые культуры начинают развиваться с -100 или -80 мВ. Наивысшей скорости роста культура *Desulfovibrio vulgaris* достигает при Eh 150 мВ и pH 6,95 в условиях минимального сульфидообразования (Brown et al., 1973). Уровень ОВП, ниже которого начинается сульфидообразование, значительно варьирует (Patrick & Williams, 1981). Так, основные потенциалы сульфидообразования, отмеченные для почв, лежат в интервалах от +300 до + 250 мВ (Jorgensen, 1977) и ниже + 100 мВ (Takai & Tezuka, 1971; Baas Becking et al, 1963), некоторые авторы приводят величину -75 мВ (Harter & Mc Lean, 1965), - 150 мВ (Connel & Patrick, 1968). При этом предполагается, что сульфиды образуются в микроразонах с более низкими значениями Eh, и диффундируют в более окисленные зоны. В условиях интенсивного перемешивания почвенных суспензий Patrick & Williams показали линейную зависимость скорости сульфатредукции от уровня Eh при всех изученных значениях pH. Минимальные скорости сульфидообразования были отмечены вблизи термодинамических границ  $\text{HS}^-/\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{S}^{2-}/\text{SO}_4^{2-}$ . Установлено, что даже очень тонкие биопленки (12 мкм) достаточно снижают ОВП для обеспечения возможности роста анаэробов на колонизируемой поверхности. Условия для жизни и развития СВБ встречаются очень часто на трубопроводах.

### *Влажность*

Область активности сульфатредукции и господства восстановительных процессов приурочена к зонам постоянного переувлажнения. Уровень сульфидогенеза достигается при полном затоплении почвы, а при 50% он снижается в результате преобладания аэробных процессов. При этом уже через 48 часов после начала затопления начинается формирование глеевых и сульфидных горизонтов, мобилизуются окисленные формы железа и марганца. Направление почвообразования в значительной степени определяется появляющимися в почвенном растворе сероводородом и содой (Галстян, Авуджан, 1974; Дуда с соавт., 1976; Ottow & Munch, 1978). При достаточном количестве органического вещества в условиях затопления почв сода не будет накапливаться лишь в гипсоносных отложениях и в случае повышенной активности тионовых бактерий, окисляющих  $\text{Na}_2\text{S}$  (Ковда, 1985; Бабьева, Зенова, 1989). Такаи и Камура (1963-1966) выделяют две стадии развивающихся при переувлажнении процессов:

1. Фаза окислительного разложения органического вещества, проводимая аэробной и анаэробной микрофлорой. Длительность этой фазы определяется содержанием в почве ионов  $\text{Fe}^{3+}$ . К концу этой фазы исчезает  $\text{O}_2$  и при его отсутствии происходит переход  $\text{Fe}^{3+} \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ , снижается Eh, повышается pH среды.

2. Фаза начинается после исчезновения  $\text{Fe}^{3+}$ . Состояние переувлажнения приводит к появлению черт болотного типа у почв, которым это обычно не свойственно - каштановых и черноземных (Белогаева, 1978).

По нижней образующей трубопровода часто встречается переувлажнённые участки, т.к. траншея трубопровода является дренажом. При соответствующих условиях мезорельефа под трубопроводом может сформироваться водоток.

### *pH среды*

В условиях культуры СВБ способны развиваться в границах pH 6.0 - 9.0. В природе этот интервал шире - 4,2-10,5. Сообщения о кислотоустойчивых формах, выдерживающих значения pH 1,5-2,0 (Satake, 1977) не подтвердились, в столь кислых условиях сульфидогенез является продуктом сероредукции. Особенно благоприятствуют развитию СВБ щелочные почвы. Это обстоятельство существенно и для грунтов в зоне действия катодной защиты магистральных трубопроводов, где отмечается защелачивание. Не случайно сульфатвосстанавливающие бактерии наряду с нитратредукторами и активными аммонификаторами относятся к наиболее устойчивым к воздействию щелочей бактериям, выживающих в средах с pH не менее 10 (Жизнь микробов в экстремальных условиях, 1981).

### *Количество сульфатов*

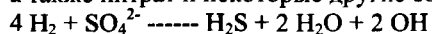
СВБ распространены в природных ареалах со значительно варьирующим уровнем содержания  $\text{SO}_4^{2-}$  - от 0,15 до 15 %. СВБ способны выживать в бессульфатных средах при росте на органических соединениях,

используемых в фосфорокластических реакциях типа Каницарро (Le Gall, Postgate; 1973; Klemps et al, 1985; Stams et al, 1984). При этом дисмутируются пируват, фумарат, малат, холин. Вместо сульфатов большинство СВБ способны использовать менее окисленные соединения серы, в частности, тиосульфат и элементарную серу (Widdel, 1982). Кроме того, в качестве акцепторов электронов в литературе упоминают дитионат, тритионат, тетратионат.

### *Органическое вещество*

К настоящему моменту накоплена значительная информация о физиологии сульфатвосстанавливающих бактерий, которые по своим особенностям могут быть разделены на 2 группы (Postgate, 1984; Widdel, Pfennig, 1984; Jansen et al., 1985; Klemps et al., 1985; Розанова, 1989). Группа А (лактат-утилизирующие) включает виды, окисляющие органические субстраты до ацетата и  $\text{CO}_2$ . Группа Б (ацетат-утилизирующие) объединяет виды, которые полностью окисляют органические вещества до  $\text{CO}_2$ . С экологической точки зрения важнейшим субстратом сульфатредукции следует считать молекулярный водород, используемый ими в качестве донора электронов наряду с органическими соединениями.

Биогенная сульфатредукция - процесс биохимического восстановления окисленных соединений серы, в частности, сульфатов, до сероводорода и других восстановленных соединений. Главную роль в накоплении восстановленных соединений серы в природе играют сульфатвосстанавливающие бактерии в ходе специфического анаэробного дыхания - т. н. диссимиляционной сульфатредукции, при которой в качестве доноров электронов используются органические вещества или молекулярный водород, а акцепторами электронов служат сульфат, ряд окисленных соединений серы ( $\text{SO}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ,  $\text{S}_0$ ), которые восстанавливаются до сульфида, а также нитрат и некоторые другие соединения:



\*G10 = - 152,4 кДж.моль<sup>-1</sup>

Выделяющийся в результате реакции  $\text{H}_2\text{S}$  проникает через любое изоляционное покрытие и реагирует с металлом трубопровода, в результате этой реакции выделяется атомарный водород, который накапливается в структуре металла трубопровода. Данный процесс называют наводороживанием.

### *Лимитирующее количество органического вещества*

Farwell et al (1979) считают, что для протекания сульфатредукции в затопленных почвах должно быть не менее 3 % органического вещества ( $\text{C}_{\text{орг}}$ ). Однако количество лактата, используемого всеми СВБ лактатной группы в океанических осадках с интенсивной сульфатредукцией может не превышать 1 мг/на г осадка (Nedwell & Abram, 1979). В условиях минимальных концентраций органического вещества, безусловно,

стимулирующим активностью сульфатредукции фактором является сорбция на глинистых почвенных частицах (Laanbroek & Geerling, 1983).

При засыпке траншеи с трубой не соблюдается обратный порядок и, как следствие, часть верхних органогенных горизонтов попадает в нижние слои.

### *Температура*

В природе СВБ встречаются при температурах от 0 до 97° С. Значимость температурного фактора может меняться в условиях лимитации другими важными факторами. При снижении концентрации сульфата с 0,017 до 0,007 мг. ат. S /г осадка, по данным других авторов, значимость температуры всего лишь в 1,5 раза превосходит влияние сульфатов.

Abdollahi & Nedwell (1979) показали, что оптимальные для сульфатредукции в пробах температуры лежат в пределах 30-37° С независимо от сезона. Количественный и качественный состав популяции СВБ также мало меняется по сезонам. В целом активность процесса летом в 1,5 раза выше, чем зимой. Лишь при резких изменениях параметров среды (аномально высокое - до 15 мг/100 г осадков сульфатов) становятся значимыми другие факторы.

Диапазон температур, например, действующего газопровода диаметром 1020 мм может быть от +20°С до +60°С. Причём, в зимнее время года температура вокруг трубы, в слое около 500 мм, практически не меняется. Это создаёт постоянный температурный режим и оптимальные условия для сульфатредукции.

### *Содержание ионов $Fe^{2+}$ в почве*

В осадочных породах, почвах и водоемах формирование восстановленных соединений железа и марганца - весьма распространенное явление и главный механизм мобилизации его геохимически подвижных форм. Геохимическая судьба соединений железа в почвах в значительной степени зависит от условий увлажнения, pH, аэрированности почвы, условий разложения органического вещества, главным образом почвенным фульвокислотам и деятельности микроорганизмов.

### *Активность сопутствующей микрофлоры*

Безусловно, одним из наиболее значимых и вместе с тем наименее изученных факторов, лимитирующих биогенную сульфатредукцию, является активность сопутствующей микрофлоры, причем проявление воздействия этого фактора тесно связано с уровнями каждого из ранее рассмотренных нами. В осадках контролирующее значение таких факторов, как температура, дополнительное внесение элементной серы или труднодоступных источников сульфатов могло быть, прежде всего, связано с активностью сопутствующей фотосинтезирующей или сероокисляющей микрофлоры (Abram, Nedwell, 1982).



### *Изменение факторов среды во времени и пространстве*

Гетерогенность, затрудняет выявление лимитирующих факторов среды. По современным представлениям, почва представляет собой совокупность микросред обитания, при этом такие понятия, как аэрация, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП), pH могут быть поняты только как статистическое выражение микрозональной гетерогенности (Wakao, Furusaka, 1976; Patkai, 1977; Patric & Williams, 1984; Jakg & Roger, 1981; Costerton & Lachen, 1984).

По характеру коррозионного разрушения можно выделить общую, или сплошную, коррозию и локальную коррозию. При общей (сплошной) коррозии коррозионные дефекты развиваются на большой поверхности металла. При этом, как правило, скорость коррозионного процесса не превышает 0.1 мм/год и не представляет серьезной опасности для трубопроводов.

Локальная коррозия характеризуется интенсивными коррозионными процессами на очень ограниченной площади металла со скоростью поражения металла до 3-4 мм/год.

Коррозия под напряжением (коррозионное растрескивание труб под напряжением - КРН) - одновременное воздействие коррозионной среды и механического напряжения.

### *Возможные нарушения почв при укладке труб и их функционировании.*

Опасность представляют погрешности строительно-монтажных работ, в частности, несовпадение профиля трубопровода и траншеи, что вызывает значительные напряжения на изгиб. Совместно с другими факторами, напряжения способствуют возникновению и развитию стресс-коррозионных дефектов поперечного направления.

Главная задача при эксплуатации трубопроводов - выявление природных сред, способствующих стресс-коррозии магистральных трубопроводов. Одной из неразрешенных проблем коррозионного растрескивания является предсказание поведения металлов и сплавов в новых коррозионных средах. Лабораторные испытания могут воспроизвести случаи разрушения, встречающиеся на практике, но они не в состоянии предсказать, произойдет ли разрушение в действительности. Единственным шагом на пути разрешения этой проблемы является проведение испытаний в естественных условиях работы трубопровода. Стресс-коррозию магистральных трубопроводов, в основном, связывают с присутствием в грунтах карбонатно-бикарбонатных ионов, но выяснить, что эти анодные ингибиторы коррозии углеродистой стали одновременно являются промоторами межкристаллитного растрескивания, удалось лишь при испытаниях с постоянной скоростью деформации образцов.

Предполагается, что всякое изменение условий испытания, повышающее устойчивость к коррозионному растрескиванию в более активной среде, будет существенно препятствовать разрушению и в менее

активных рабочих средах при условии, что в обоих случаях имеет место общий химический механизм разрушения.

Резюмируя сказанное, можно сделать заключение, что, возможно предвидеть развитие стресс-коррозии в грунтах, активирующих процессы локальной коррозии и способствующих наводороживанию металла трубопровода, причем наиболее опасными компонентами считать такие промоторы наводороживания, как сероводород и другие восстановленные соединения серы, далее цианиды, соединения мышьяка и селена, уголекислоту, карбонаты и бикарбонаты, а также кислород. Не исключается также возможное синергическое действие ионов (хлоридов, нитратов, ионов аммония), активизирующих локальные процессы, а также органических соединений почвы (органических и гумусовых кислот), способствующих комплексообразованию и локализации коррозии.

Одной из хорошо изученных и экономически значимых для человека экологических ниш сульфатредукции являются грунты траншей магистральных трубопроводов, прежде всего вследствие процессов биокоррозии. СВБ - первый, классический объект исследователей почвенной коррозии, в частности, в таком ареале жизнедеятельности, как польдеры Голландии. Исследование грунтов траншей магистральных трубопроводов выявило тот факт, что в местах бактериальной активности преобладают условия водонасыщения и затрудненного воздухообмена, а в ряде случаев затопления. Считалось, что быстрое движение почвенной влаги в случае песка или гравия и доступ токсичного для СВБ кислорода должны останавливать или сильно затруднять сульфатредукцию, что снижало бы число случаев коррозионных повреждений трубопровода по причине биокоррозии.

#### *Участие СВБ в процессе коррозии металлов*

В настоящее время не существует единой теории, раскрывающей механизм участия СВБ в процессах коррозии металлов. Количественное определение вклада микробной составляющей в общий механизм коррозионного разрушения представляет известную трудность, поскольку неоднозначен ответ о путях вмешательства СВБ и других микроорганизмов в этот процесс. При этом необходимо учитывать, что микроорганизмы принимают участие в наиболее опасной части коррозионных процессов, а именно, в местных коррозионных разрушениях (питтинге, коррозионном растрескивании и т.п.), на что указывает характер коррозионных повреждений. В лабораторных условиях наибольшие трудности встречает моделирование именно местных, локальных видов коррозионных поражений, столь распространенных *in situ*.

Вклад бактерий в коррозию объясняется одним или несколькими из следующих механизмов: 1. Прямое воздействие на скорость анодной или катодной реакции коррозионного процесса. 2. Создание коррозионной среды за счет образования агрессивных по отношению к металлу продуктов метаболизма. 3. Установление условий роста и размножения, при которых

создаются концентрационные гальвано-пары или пары дифференцированной аэрации. 4. Сульфидное растрескивание сталей в средах, содержащих  $H_2S$  как агент, способствующий наводороживанию, как частный случай охрупчивания нагруженных металлических конструкций.

*Нарушенная почва траншей трубопроводов, транспортируемые среды, биопленки на поверхности металла как техногенная экологическая ниша*  
**СВБ**

*и других коррозионно-агрессивных микроорганизмов*

Обобщенный анализ факторов, определяющих микробиологическую активность в грунтах, представил профессор Канзасского университета д-р Harris (1963). Согласно его полевым исследованиям, наиболее важным фактором, определяющим микробиологическую активность, эффективность защитного покрытия и сам процесс коррозии, является влажность грунта. Вследствие сниженной плотности грунтовой засыпки вокруг трубы по сравнению с окружающей почвой и особенностями температурного поля трубопровода дренарующий эффект и конденсация влаги приводит к повсеместно повышенной по сравнению с почвой влажности, которая нигде не лимитировала микробиологической активности.

Установлено, что толщина бактериальной пленки на стенках трубопровода составляет около 150 мкм, в ее состав входит  $5 \cdot 10^7$  клеток/см<sup>2</sup> (Casterton et al, 1985). Поликатионная природа такой биопленки, представляющей собой ионообменную матрицу, обеспечивает оптимальные условия жизнедеятельности СВБ. Она способствует концентрации питательных веществ и ограничивает проникновение коротких молекул, например, катионных биоцидов. Кроме того, биопленка защищает СВБ от чужеродных антител, ПВА, фагоцитарных амёб (Salvarezza, Videla, 1984; Videla, 1985).

Наиболее распространенными методами применяемыми при диагностике трубопроводов являются:

**I.** Выборочное вскрытие участков трубопроводов и контроль в отдельных точках на основе традиционных электрометрических обследований не позволяют получить достоверную информацию о состоянии металла труб по всей длине трубопровода и прогнозировать его надежность.

**II.** Внутритрубная инспекция (ВТИ) ультразвуковыми и магнитными приборами-дефектоскопами позволила решить проблему 100 %-ного контроля.

Результаты внутритрубной дефектоскопии призваны обеспечить применение технологии выборочного ремонта, начиная с критических (опасных) дефектов, количество которых, как показывает опыт, не превышает 1,5 % от числа всех выявленных. По опубликованным данным предприятий-лидеров в области внутритрубных обследований (Pipetronix, Rosen, Tuboscor, НПО «Спецнефтегаз»), эффективность выявления дефектов металла на основе подобных обследований составляет от 80 до 90 %.

Основным внутритрубным методом выявления дефектов металла действующих газопроводов в силу производительности и относительно низкой трудоемкости подготовки к обследованию является магнитометрия, использующая постоянное намагничивающее поле. Напряженность магнитного поля локально возрастает в местах дефектов вследствие появления магнитных полей рассеяния, которые воспринимаются преобразователями магнитного поля, и несут информацию о параметрах дефектов.

Возможности современных внутритрубных снарядов позволяют выявлять следующие виды дефектов:

1. Геометрические аномалии – вмятины, гофры, овальности поперечного сечения;
2. Потери металла механического, коррозионного или технологического происхождения, а также дефекты типа расслоений, включений;
3. Продольно-ориентированные трещины КРН и трещиноподобные дефекты (снаряды НПО «Спецнефтегаз»);

**III.** Неразрушающий метод диагностирования технического состояния трубопроводов по магнитной памяти металла (ММПМ) базируется на использовании магнито-упругого и магнито-механического эффектов. Он основан на измерении и анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния основного металла и сварных соединений изделий, отражающих их структурную и технологическую наследственность. ММПМ выявляет ЗКН (зоны концентрации напряжений), наличие дефектов и неоднородности (деградации) структуры металла и сварных соединений.

**IV.** Новым техническим предложением по диагностированию технического состояния трубопроводов с поверхности Земли является применение портативных бесконтактных магнитометрических приборов осуществляющих диагностирование согласно РД 102-008-2002.

## Глава II. Объекты и методы исследования.

**Объектом** исследования стали материалы, собранные по маршруту магистрального газопровода “Торжок-Минск-Ивацевичи”, в ЛПУ МГ Холм-Жирковское; на подмосковной трассе, которая походит через Малинское лесничество Краснопахорского л/х; на участке магистрального газопровода “Челябинск-Петровск”; а также образцы, отобранные при шурфовке нефтепровода в Самарской области.

Участок МГ 105-113 км Челябинск-Петровск проходит в горной местности, хребет Юрма (средний Урал). Год постройки 1980; диаметр 1420\16,3; давление 75 атмосфер; изоляция: плёнка “Поликен”. Температура газа от 23°C до 34°C (данная температура характерна для почти всех газопроводов на расстоянии около 100 км от компрессорной станции). Климатические условия характеризуются как континентальные. Зима суровая, продолжительная со значительным снежным покровом. Лето жаркое. Колебания абсолютной температуры воздуха зимой и летом от -40°C до +30°C. Было заложено 7 шурфов. В каждом шурфе отобраны образцы в количестве 182, фоновой (не нарушенной) почвы и антропогенно нарушенной. Все почвы на трассе, в основном, представлены дерново-подзолистой. В нарушенной почве (шурфы 1 и 5) у поверхности трубы, глубина 70-90 см, ортзандовые прослой от 5 до 15 см окристаллизованного железа. Во всех шурфах вокруг поверхности трубы сильновлажный оглеенный слой от 15-30 см сверху, 20-40 см сбоку и снизу.

Шурфы 5 и 6 – фоновая почва глубокооглеенная (с глубины 30 см, цвет тёмно-серый).

Также рассмотрен участок расположенный в Самарской области. Образцы отбирались с действующего нефтепровода.

Были отобраны образцы и на территории Узбекистана. Первое место находится по трассе действующего газопровода Зирабулак - Мубарек (между г. Акташ (Зирабулак) и г. Мубарек), а второе г. Газли - Сарымай (между г. Газли и п.Сарымай). Первое место можно охарактеризовать как полупустыня. Второе – пустыня Кызылкум

В качестве *методов* исследования использованы следующие процедуры:

- Определение содержания аморфного железа. Учитывая процессы коррозии труб, в почвенных образцах определяли количество оксалато-растворимых соединений железа (аморфного). Для почв, содержащих больше 5% экстрагируемого железа, обработку перечисленными реактивами повторяли 2—3 раза, причем все порции центрифугатов объединялись в одной и той же колбе;

- Определение не силикатных соединений железа в почвах по методу Мера—Джексона;

- Мессбауэровская (ЯГР) спектроскопия, основанная на резонансном испускании и поглощении  $\gamma$ -квантов ядрами изотопов. Метод может быть использован даже тогда, когда железосодержащие минералы находятся в рентгеноаморфных состояниях, поскольку не требует наличия дальнего порядка в структуре;

- Измерение магнитной восприимчивости ( $X$ ,  $10^{-6}$  см<sup>3</sup>/г) на капометре;

- Измерение истинного сопротивления ( $\rho_0$ , Ом) путем анализа суспензии образцов (1:5) на четырех электродном автокомпенсаторе АИ75;

Кажущееся сопротивление почв определяли в поле на приборе АИ75 и рассчитывали по формуле:  $\rho_k = K (U/I)$ , где  $K$  коэффициент прибора. Величина постоянного электрического тока измеряется любым соответствующим миллиамперметром

- Измерение содержания валового углерода на экспресс – анализаторе;

- Анализ pH и Eh суспензий на электронном pH-метре;

- Анализ состава газовой фазы на приборе типа «ЛИК» по экспресс - контролю качества воды (ООО «Гидролит»), включая показатели микробиологической зараженности. Эта отечественная разработка была успешно апробирована как средство определения индекса микробиологической зараженности в агрессивных средах газовой и нефтяной отраслей.

Одни из самых агрессивных компонентов среды для стальных сооружений - влажные сероводород и уголекислота, приводящие к наиболее серьезным локальным коррозионным поражениям. Прямое экспресс-определение концентрации перечисленных газов в газовой фазе (атмосфере резервуаров или почвы на уровне прокладки подземных трубопроводов) позволяет прогнозировать опасность локальных коррозионных повреждений трубопроводов, в том числе изолированных полимерными защитными покрытиями. Кроме того, можно оперативно определять зоны подземных аварийных загрязнений (газовым конденсатом, нефтью и т.п.) средствами локального контроля газовой фазы почвы с применением математического аппарата дискриминантного анализа, разработанного с применением многофакторного моделирования. Пробы почвенного воздуха отбираются с помощью специальных пробоотборников без вскрытия трубопровода на уровне верхней образующей, экспресс-анализ осуществляется с применением переносных газовых анализаторов различных типов.

### **Глава III. Изменение почвы в траншее трубопровода**

Трубы имеют диаметры – от 250мм до 1400мм, глубина заложения труб (0,8м - 3м), что определяет величину траншеи. Температура продукта,  $t_{\text{продукта}}$  ( $15^{\circ}\text{C}$  -  $60^{\circ}\text{C}$ ) влияет на газовый и водный режим почвы, а также на микробиологический состав. Время (10 - 40 лет) способствует формированию почв над трубопроводом. С увеличением возраста устанавливается некоторое равновесие между почвенными процессами и «параметрами» трубопровода.

Катодная защита (ЭХЗ) - при нарушенной изоляции способствует разрушению трубы

### *Изменение морфологии почв*

При закладке траншеи происходит перемешивание почвенных горизонтов, поскольку засыпка трубопровода происходит не в обратном порядке. Так, более лёгкие верхние гумусированные горизонты могут оказаться в самом низу, а более тяжёлые нижние на поверхности. Около труб создаются условия для переувлажнения почв и интенсивно идут процессы оглеения (рис.1). Они усиливаются под воздействием микрофлоры. Трубопровод зарастает, на поверхности формируются примитивные почвы, близкие к зональным (табл.1).

**Таблица 1. Свойства почв на засыпанной траншее трубопровода**

Почвенно-климатическая зона	рН	Содержание в водной вытяжке, мг/100г				Влажн ость, %		Гумус, %		°С почвы около трубы	Доля оглеенных участков
		SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Cl							
		1	2	1	2	1	2	1	2		
Дерново- подзолистая	6,4	24	20	5	4	12	9	0,2	1	21	4
Болотно-подзолистая	6,7	12	(-)	11	9	0,6	3	0,3	2	26	20
Черноземная, лугово- черноземная	6,3	45	42	9	10	16		5,5	6	16	57
Серо-бурая полупустынная, солончаковая	7,6	1193	1101	437	450	16	14	0,5	1	32	50

Примечание: 1 – фоновая почва, 2 – нарушенная почва, (-) – не измерялось;

Различие в содержании гумуса (образцы из горизонта ВС) связано с прокладкой траншеи, при засыпке трубопровода часть верхнего горизонта попадает в нижние слои.

В почве траншеи значительно изменяется состав газов в воздухе (табл.2), в том числе вблизи поверхности трубы (под отслоившейся изоляцией).

Особенно сильно возрастает содержание CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub>. При этом прямой связи с изменением рН и накопление этих газов в диапазоне 6-7 нет.

**Табл.2. Состав газовой фазы под отслоившейся изоляцией в зоне КРН**

рН подплечного электролита	СВБ, клетки в 1 мл	Содержание в газовой фазе, % по объему				
		CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>
6	10 <sup>5</sup>	1	6,8	1,4	0,7	0,5
7	10 <sup>3</sup>	1,3	0,7	0,4	0,00	-
6	10 <sup>3</sup>	5,1	3,9	1,1	-	0,001
-	10	3	0,7	0,9	0	0,0
6,5	10 <sup>3</sup>	9	4,3	0,5	0,3	0,45

Примечание. СВБ – сульфатредуцирующие бактерии, КРН – коррозия растрескивания труб, прочерк – не определяли.

Следует отметить заметное содержание H<sub>2</sub>S, концентрация сравнима с концентрацией CO<sub>2</sub> (CO) и H<sub>2</sub>.

Под плёнкой обитают СВБ, которые, по мнению многих исследователей, главный разрушитель труб.

Особое значение приобретают (СВБ, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>) там, где существуют дефекты на поверхности трубы.

Одним из наиболее важных процессов, влияющих на устойчивость труб, следует признать деятельность сульфатредуцирующих бактерий (табл.3).

**Таблица 3. Сульфатредукция и почвенная коррозия в разных почвах**

Тип почвы	СВБ, клетки /1 г	Свост., мг.экв/ 100 г	Частота повреждений металла, %
Дерново-подзолистая	10 <sup>2</sup>	10,0	6
Болотно-подзолистая	10 <sup>3</sup>	49,6	7
Буряя лесная	10 <sup>5</sup>	10,0	57
Черноземный	10 <sup>3</sup>	3,6	18
Каштановая, солончак	10 <sup>4</sup>	28,2	66
Серо-буряя полупустынная, пустынная, солончак	10 <sup>7</sup>	15,7	51



Во всех исследованных почвах интенсифицируется деятельность СББ и появляются коррозионные повреждения на трубопроводах. Наименьший процент повреждений в дерново-подзолистой почве, далее болотно-подзолистая, чернозём, серо-бурая полупустынная, бурая лесная и наибольшее в каштановой и солончаке.

В связи с трудностью использования обычной статистики был применён анализ вероятности повреждений труб того или иного типа. Он показал, что частота повреждений на трубах во всех зонах увеличивается с увеличением количества сульфатредуцирующих бактерий (табл. 3). Несколько подавляется деятельность СББ в бурых полупустынных почвах, где природная сухость не приводит к длительному переувлажнению нижних горизонтов.

Прослеживается изменение ряда показателей по профилю почвы (в ненарушенной – контроль и нарушенной почве), изменение диапазона величин данных, а также изменение вида кривой тренда в зависимостях:  $X$  от  $p$ ,  $C\%$  от  $X$ ,  $p$  от  $C\%$ ,  $p$  от  $Fe_o$ ,  $Fe_o$  от  $C\%$ ,  $Fe_o$  от  $X$ .

В случае совпадения линий трендов можно говорить об общей направленности синергетичности двух процессов.

В случае противоположных трендов, можно сказать о разнонаправленности и о возможности регулирования интенсивности того или иного процесса. В случае частичного совпадения можно говорить о независимости этих процессов.

Линии трендов зависимостей могут хорошо и наглядно делать представление о характере направленности процессов.

Варианты совпадений линий трендов зависимостей измеренных величин ( $X$  от  $p$ ,  $C\%$  от  $X$ ,  $p$  от  $C\%$ ,  $p$  от  $Fe_o$ ,  $Fe_o$  от  $C\%$ ,  $Fe_o$  от  $X$ ) можно обобщить, посчитав относительные частоты встречаемости полных совпадений зависимости в контроле и нарушенной почве, полных не совпадений и количества частично совпавших, табл. 4.

**Таблица № 4. Условная вероятность отличия свойств почв контроля от нарушенной (в зоне газопровода).**

Совпадения Труба		Частичное совпадение		Полное совпадение		Полное отличие		сумма
		$f$	$p$ (по горизонтали)	$f$	$p$ (по горизонтали)	$f$	$p$ (по горизонтали)	
			$p$ (по вертикали)		$p$ (по вертикали)		$p$ (по вертикали)	
Трубы	С трещинами	13	0,54	6	0,25	5	0,21	24
			0,62		0,75		0,38	
	Без	8	0,45	2	0,1	8	0,45	18

	трещин	0,38	0,25	0,62	
сумма		21	8	13	42

Примечание:  $f$  – абсолютная частота,  $p$  – относительная частота.

Из распределения относительных частоты встречаемости полных совпадений зависимости измеренных свойств ( $\chi$ ,  $\rho$ ,  $C\%$ ,  $Fe_0$ ) линий трендов в контроле и нарушенной почве, полных не совпадений и количества частично совпавших видно, что в шурфах с дефектами (трещинами) на трубе и шурфах без дефектов большим диапазоном обладает фоновая почва. В шурфах с дефектами на трубе соотношение больших и малых диапазонов по  $Fe$  и  $X$  остаётся постоянным, тогда как соотношение по  $C$  и  $\rho$  склоняется в сторону больших.

Из распределения частот (табл. 1) видно, что в шурфах с трещинами на трубе преобладают полные совпадения линий тренда фоновой и нарушенной над полными несовпадениями, а количество частично совпавших больше всего. В шурфах без трещин наблюдается обратная ситуация, количество полных совпадений минимально, а не совпадений максимально (количество частичных равно полным несовпадениям). Количество полных не совпадений больше в шурфах без дефектов, а частичных и полных меньше.

В первом случае можно говорить о том, что, несмотря на сильную нарушенность профиля изменения в почвообразовательном процессе не произошло, нарушенная почва достигла исходного равновесие с фоновой, сохранилась направленность почвообразовательного процесса. При этом диапазон значений может быть различным, обобщённые данные представлены в таблице 5:

**Таблица №5. Изменение свойств почв в траншее в зависимости от дефектов труб**

		C (%)		Fe <sub>0</sub> (мг/100г почвы)		P <sub>0</sub> , Омм		X, 10 <sup>-6</sup> см <sup>3</sup> /г	
		f	p	f	P	f	p	f	p
Труба без КРН	>	2	0,67	2	0,67	2	0,67	2	0,67
	<	1	0,33	1	0,33	1	0,33	1	0,33
сумма		3	1	3	1	3	1	3	1
Труба с КРН	>	3	0,75	2	0,5	3	0,75	2	0,5
	<	1	0,25	2	0,5	1	0,25	2	0,5
сумма		4	1	4	1	4	1	4	1

где: КРН - коррозионное растрескивание под напряжением,  $f$  – абсолютная частота встречаемости,  $p$  – относительная частота встречаемости, > -фон больше, < -фон меньше.

Во втором и третьем случае появление различий может быть вызвано несколькими факторами.

Графики полных и частичных совпадений зависимости линий трендов измеренных свойств, где: а) контрольная почва, б) почва над трубой, приведены на Рис. 1. Наличие этих трендов позволяет судить о случайности или не случайности зависимостей.

Мессбауэровские измерения образцов К4/9 и Т4/3 проводили на спектрометре ЯГРС-4. Наилучшее приближение экспериментальной кривой к расчетной оказалось при разложении спектра образца К4/9 на два дублета от  $\text{Fe}^{3+}$ , а спектра образца Т4/9 на два дублета от  $\text{Fe}^{3+}$  и один дублет от  $\text{Fe}^{2+}$ . Дублетный характер спектров указывает на парамагнитное состояние присутствующих в образце железосодержащих минералов. Измерения составляющих дублетов выявили различия между почвами и субстратами траншей (табл. 6). В субстрате траншеи заметно увеличилось содержание  $\text{Fe}^{2+}$ . Параметры дублетов близки к параметрам некоторых гидроксидов железа (ферригидрит, суперпарамагнитный гетит), но полностью не совпадают. Можно отметить, что дублет Д1 ближе к суперпарамагнитному гетиту, а Д2 к ферригидриту. Дублет Д3 от  $\text{Fe}^{2+}$  в спектре образца Т4/9 близок по своим параметрам к слоистым силикатам (хлорит, шамозит). В мессбауэровском спектре образца К4/9, снятом в расширенном диапазоне, были, кроме того, отмечены следы линий магнитного сверхтонкого расщепления, которые присущи гематиту. Коэффициент окисления железа для образца К4/9 равный 1 и для Т4/3 равный 0,78 указывают на то, что окислительно-восстановительная обстановка их существования различна. Видимо, механическое нарушение поверхностного слоя способствует большей фугитивности кислорода и приводит к большей степени окисления железа с образованием гематита. С другой стороны, оксиды железа могут возникать за счет процессов коррозии металлических конструкций.

**Таблица 6. Параметры мессбауэровских спектров изученных образцов.**

№ обр.	Интерпретация	Площади дублетов, % отн.	Изомерный сдвиг $\delta$ , мм/с	Квадрупольное расщепление $\Delta$ , мм/с
К4/9	Д1( $\text{Fe}^{3+}$ )	70,0	0,45	0,50
	Д2( $\text{Fe}^{3+}$ )	30,0	0,50	0,70
Т4/3	Д1( $\text{Fe}^{3+}$ )	49,0	0,45	0,50
	Д2( $\text{Fe}^{3+}$ )	29,0	0,50	0,70
	Д3( $\text{Fe}^{2+}$ )	22,0	1,25	2,55

Ошибка:  $\delta$  и  $\Delta = \pm 0,03$  мм/с, Fe (% отн.)=5%.

Почва траншеи заметно плотнее, чем ненарушенная, что способствует восстановительному режиму в этих почвах (табл.7).

**Таблица 7. Плотность сложения почв**

горизонт	почва над трубой	почва в контроле
1	1.51	1.44
2	1.7	1.48
3	1.73	1.49
4	1.8	1.48

Более высокая плотность почв траншеи обуславливает меньшее электрическое сопротивление, что также связано с более высокой влажностью почв траншей.

**Таблица 8. Электрическое сопротивление почв, ом.м**

горизонт	почва над трубой	почва в контроле
1	52	67
2	45	65
3	31	44
4	15	20

Рисунок 2. Зависимость ОВП (Eh) от магнитной восприимчивости (X) за на трубопроводах разного возраста, 20, 40 и 60 лет.

**Таблица №9 Сравнение содержания углерода, %, в фоновой и нарушенной почве.**

горизонт	почва над трубой	почва в контроле
1	2.06	3.40
2	1.70	2.30
3	1.77	2.30
4	1.53	1.98

Установлено, что при закладке трубопровода происходит нарушение почвы и оно прослеживается в течение 30 лет, что наглядно видно по данным исследований в Малинском лесничестве, сравнение зависимостей магнитной восприимчивости (X) и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на трубе возрастом 20, 40 и 60 лет соответственно. Сказывается также непосредственное влияние газопровода, проявляющееся в более высокой температуре трубопровода и, как следствие, почвы вокруг (28-34°C на расстоянии от 20-30 см снизу до 30-50 сверху от поверхности трубы), что приводит к более интенсивной деятельности микрофлоры. Она проявляется в формировании новых процессов, таких как: наводороживание, образование  $H_2S$ , оглеения и т.д. (при смене водного и газового режимов).

**Таблица №10** Магнитная восприимчивость,  $X$  см<sup>3</sup>/г

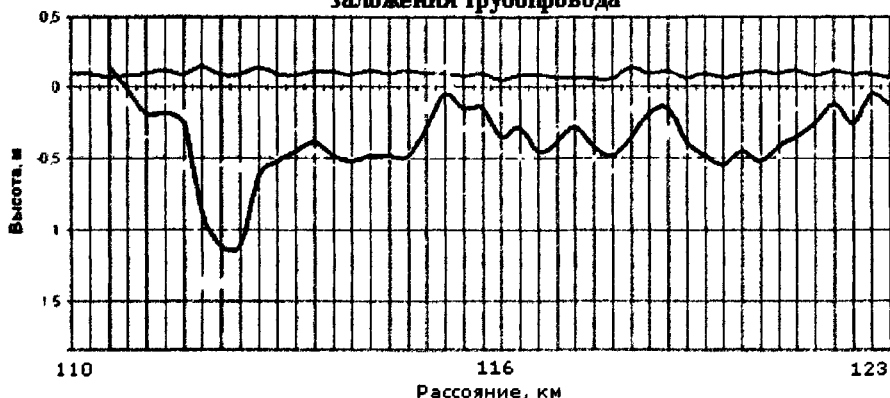
	труба	контроль
гор.1	7,7	8,6
гор.2	-	3,5
гор.3	10,6	6,5
гор.4	9,4	6,8

#### **Глава IV Дефекты труб и их связь с почвенными условиями**

Связь между отдельными свойствами почвы позволяет выбрать те параметры, которые дают возможность диагностировать дефекты труб. Для этого все дефекты были классифицированы на опасные, средне опасные и неопасные. Кроме того, были выделены разные по своей форме дефекты: язвы, повреждения изоляции, дефекты швов. Учёт повреждений был проведён на вскрытых участках газопроводов «Торжок-Минск-Ивацевичи», в ЛПУ МГ Холм-Жирковское; на подмосковной трассе, которая походит через Малинское лесничество Краснопахорского л/х; на участке магистрального газопровода «Челябинск-Петровск»; газопровод Зирабулак - Мубарек (между г. Акташ (Зирабулак) и г. Мубарек), а второе г. Газли - Сарымай (между г. Газли и п.Сарымай), а также на нефтепроводе в Самарской области, где учитывали все дефекты. Общая протяженность обследованных объектов около 500 км.

Отмечался рельеф, тип почвы и другие параметры для выявления связи дефектов и экологических условий. Как пример можно привести газопровод Газли – Сарымай (ВНУМ – высота над уровнем моря).

**Диаграмма распределения высоты над уровнем моря и глубины заложения трубопровода**



где — высота над уровнем моря, — глубина заложения трубопровода.

**Таблица 11. Количество опасных, средних по опасности, неопасных дефектов обнаруженных на газопроводе Газли – Сарымай, участок 119-124км.**

км начала	км конца	Количество дефектов		
		опасные	средние по опасности	неопасные
119	121	38	4	3
121	124	33	5	2

Ранжирование по степени опасности обнаруженных дефектов проводилось по РД 102-008-2002. Наибольшее количество опасных дефектов приурочено к резкому изменению рельефа, низинам. Одна часть дефектов вызвана изменением рельефа местности, связанного с ветровой эрозией, другая с наличием засоленных участков.

Наименьшее количество дефектов связано со стабильными условиями траншеи (они характерны для болот и других гидроморфных почв). Наибольшее количество дефектов отмечено для серо-бурой полупустынной, бурой лесной, в каштановой и солончаке, где условия ОВП резко меняются при закладке траншеи.

**Таблица 12. Приуроченность дефектам к элементам ландшафта**

Типы дефектов	просека заросшая	"пустыня"	болото	просека заросшая, (граница влажного участка)	река- ручей	поле	Лесо- полоса	сумма
Язвы	8	0	0	7	5	5	2	27
изоляция плохая	0	0	0	0	0	0	0	
Деф. швы\язвы	1	3	0	0	0	2	0	6
язвы\изоляция плохая	4	0	1	2	0	0	0	
Всего дефектов	13	3	1	8	5	7	2	33

Можно сделать вывод, что большое количество дефектов можно обнаружить до аварии, если проследить связь почвенных характеристик и условий рельефа местности

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Физические профили нарушенной и контрольной, ненарушенной, почвы сильно отличаются. Это отличие выражается в мощности отдельных горизонтов, наличии погребённых горизонтов. Меняются также другие свойства почв: плотность, водный и температурный режим почв, их окислительно-восстановительный потенциал, увеличивается количество двухвалентного железа, уменьшается магнитная восприимчивость почв.

Если сравнивать почвенные условия в шурфах с повреждениями трубопровода и без них, то получается, что в шурфах с повреждениями больше наблюдалось сходство нарушенной почвы с контрольной, ненарушенной фоновой, на участке магистрального газопровода «Челябинск-Петровск» (южный Урал). Также характерным отличием является то, что в местах, где были обнаружены дефекты, в течение года сильно меняется режим увлажнения, периоды сильного переувлажнения сменяются иссушением. Неравномерное формирование бровки на поверхности почвы непосредственно над газопроводом может вызвать изменения в газовом и водном режиме, следовательно, привести к возникновению неоднородности почв. Поскольку происходит нарушение почвенного профиля то, соответственно, меняется плотность сложения во всём профиле по сравнению с почвой над трубой.

В более рыхлой почве около трубы больше вероятность возникновения застойного режима, так как эта зона является, по сути, дренажём.

Переувлажнение приводит к некоторым изменениям в составе почвы:

1. Магнитная восприимчивость ( $X$ ) на порядок различна. В верхней части  $X$  в нарушенной почве увеличивается (связано с выходом на поверхность, при засыпке трубопровода, горизонтов содержащих больше ферромагнитных минералов), а около трубы ведёт себя по разному. По этому точная закономерность не найдена.
2. Количественно содержание общего углерода и гумуса уменьшено и при длительном функционировании, на глубине горизонтов В и ВС (в среднем 80-110см), до фонового не восстанавливается. Резкая смена условий водного и газового режимов может приводить к его более быстрой минерализации. Некоторые профильные различия могут быть вызваны не равномерным перемешиванием горизонтов при засыпке трубопровода, а также непосредственным влиянием трубопровода, также сменой водного и температурного режимов, так как действующие газопроводы и нефтепроводы имеют температуру от 15 до 30°C, а иногда и выше.
3. По данным мессбауэровской (ЯГР) спектроскопии происходят изменения в составе соединений почвенного железа. Дублетный характер спектров указывает на парамагнитное состояние присутствующих в образце железосодержащих минералов и увеличение количества минералов, содержащих двухвалентное железо.

Принимая величины вероятности резонансного эффекта равными, по вычисленным площадям дублетов было оценено распределение железа между присутствующими фазами. Параметры дублетов как D1 для обоих образцов, так и D2 равны, находятся в рамках трехвалентного железа шестерной координации. Они близки к параметрам некоторых гидроксидов железа (ферригидрит, суперпарамагнитный гетит), но полностью не совпадают. Можно отметить, что дублет D1 ближе к суперпарамагнитному гетиту, а D2 к ферригидриту. Дублет D3 от  $\text{Fe}^{2+}$  в спектре образца T4/9 не был идентифицирован. В мессбауэровском спектре образца K4/9, снятом в расширенном диапазоне, были, кроме того, отмечены следы линий магнитного сверхтонкого расщепления, которые присущи гематиту. Коэффициент окисления железа для образца K4/9 равный 1 и для T4/3 равный 0,78 указывают на то, что окислительно-восстановительная обстановка их существования различна. В среднем аморфное железо (по Тамму) близко к контролю, а в прилегающем к трубе слое, около 10 см, резко меняется. Видимо, механическое нарушение поверхностного слоя способствует более свободному газообмену и приводит к большей степени окисления железа с образованием гематита.

## ВЫВОДЫ:

1. В результате взаимодействия почвы и трубопровода формируется более гидроморфная почва, что проявляется в увеличении содержания соединений двухвалентного железа, увеличении  $p_{\text{о}}$ , снижении содержания C%, снижении окислительно-восстановительного потенциала. В почве над трубой меняется состав соединений железа. Содержание соединений аморфного железа близко к контролю, а в прилегающем к трубе слое, 30 см меняется в сторону увеличения количества соединений двухвалентного железа, площадь дублетов  $\text{Fe}^{3+}$  сокращается на 20% (по данным ЯГР). Возникающий при заложении трубопровода, по нижней образующей, дренаж способствует повышению влажности вокруг трубы, изменению водного и газового режимов.
2. При длительной (30-летней) эксплуатации трубопровода формируется особый водный и газовый режим. Содержание гумуса около трубы часто ниже чем в фоновой почве, при этом содержание гумуса в верхнем горизонте за это время не достигает фоновых значений. Это определяется тем, что в первые несколько лет после заложения трубопровода, когда почва сильно нарушена, и растительный покров ещё не восстановился.
3. Чем меньше различие почвенных свойств нарушенной почвы и фоновой, тем больше вероятность возникновения коррозионного поражения трубопровода. Можно предположить, что разница естественных электрических полей приводит к индуцированию тока, который возникает на границе разных почв.



4. Измеряемые параметры,  $Fe_o$ ,  $C$ ,  $Eh$ ,  $p_o$ , ЯГР не дают пока определить дефект на трубопроводе без заложения траншеи, но дают представление о процессах.
5. Из измеренных параметров ( $X$ ,  $p$ ,  $C\%$ ,  $Fe_o$ , состав газов) наиболее информативным оказался использованный метод электрического зондирования, позволяющий точно определить, где находится трубопровод и указать его местоположение. Также метод электрического зондирования позволяет на этапе проектирования строительства трубопровода выявить участки с повышенной влажностью и засоленностью, которые на этапе эксплуатации могут оказаться наиболее коррозионно опасными.
6. Дефекты связаны с местами, где проходит граница почв, сильно меняющийся водный и газовый режим (периодическое увлажнение - иссушение), высокое содержание солей.
7. Влияние оказывает рельеф местности, в некоторых местах происходит зажатие трубы, когда рядом почва может быть эродирована ветровой или водной эрозией (характерно для пустынных почв), что создаёт дополнительные напряжения в металле и может стимулировать коррозию.

#### **Список печатных работ Горошевского А.В.:**

1. С.С. Камаева, Н.М. Ермоленко, А.В. Горошевский «Микробиологические аспекты почвенной коррозии подземных сооружений», Материалы совещаний, конференций, семинаров РАО «Газпром», Москва 1997.
2. Горошевский А.В. «Влияние магистральных газопроводов на почву», Тезисы докладов Докучаевских молодёжных чтений «Почва, Экология, Общество» СПб 1999.
3. Горошевский А.В. «Изменение свойств почв в условиях линейного нарушения почвенного покрова», Тезисы докладов VII международной конференции студентов и аспирантов по фундаментальным наукам «ЛОМОНОСОВ-2000», Москва 2000.
4. Горошевский А.В. «Влияние магистральных газопроводов на почву», Тезисы докладов Докучаевских молодёжных чтений «ДОКУЧАЕВ-2001», СПб 2001.
5. Горошевский А.В., Ивлев Л.Е. «Акустический метод определения мест сужения проходного сечения трубопроводов», Научно-технический сборник «Диагностика оборудования и трубопроводов» №4-5 Москва 2003





РНБ Русский фонд

2006-4

15193