

УДК 631.445.2:665.614

## ПОЧВЕННО-ЗООЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЁННЫХ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

<sup>1</sup>И.А. Скворцова, аспирант

<sup>2</sup>А.В. Леднев, доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор

<sup>1</sup>Ижевская государственная сельскохозяйственная  
академия, Ижевск, Россия

<sup>2</sup>Удмуртский НИИ сельского хозяйства, Ижевск, Россия  
E-mail: ugniish-nauka@yandex.ru

**Ключевые слова:** торфяные почвы, загрязнение нефтепродуктами, токсичность, микроорганизмы, почвенные беспозвоночные

**Реферат.** На основании почвенно-зоологического обследования аллювиальных торфяных почв, загрязнённых нефтепродуктами, и оценки параметров биологических и агрохимических свойств выявлено их изменение под действием этого поллютанта. Установлено, что нефтепродукты значительно повысили степень токсичности торфяных почв, снизили в них показатель суммы обменных оснований и содержания подвижных форм элементов минерального питания. Всё это оказало неблагоприятное воздействие на численность основных групп микроорганизмов. Наиболее чувствительными к загрязнению почвы нефтепродуктами являлись целлюлозоразлагающие микроорганизмы, они снизили свою численность при слабой её степени в 6,1 раза (с  $78,7 \cdot 10^4$  до  $13,0 \cdot 10^4$ ), при сильной степени – в 17,1 раза (до  $4,6 \cdot 10^4$ ). Наименее чувствительными к нефтепродуктам оказались микроскопические грибы, они при слабой степени загрязнения снизили свою численность только в 2,6 раза (с  $33,6 \cdot 10^3$  до  $13,0 \cdot 10^3$ ), а при сильной степени – в 3,7 раза (до  $9,0 \cdot 10^3$ ). Среди почвенных организмов в торфяных почвах было выявлено 655 особей, принадлежащих к 17 видам, 14 семействам и 6 отрядам. Наиболее широко распространенными на исследованных территориях (встречались на всех участках) оказались представители ногохвосток и плоские клещи. Их высокая численность не только на чистых участках, но и на подвергнувшихся загрязнению нефтепродуктами, свидетельствует об их высокой пластичности и малой чувствительности к загрязнению почвы этим поллютантом.

## SOIL AND ZOOLOGICAL INSPECTION OF ALLUVIAL PEAT SOIL POLLUTED BY OIL PRODUCTS

<sup>1</sup>I.A. Skvortsova, PhD-student

<sup>2</sup>A.V. Lednev, Doctor of Agricultural Sc., Professor

<sup>1</sup>Izhevsk State Agricultural Academy, Izhevsk, Russia

<sup>2</sup>Udmurt Research Institute of Agriculture, Izhevsk, Russia

**Key words:** peat soils, oil pollution, toxicity, microorganisms, soil invertebrates.

**Abstract.** The paper explores alluvial peat soil polluted by oil products and estimates the criteria of biological and agrochemical properties of peat soil. The paper reveals their being changed under the influence of oil products. The authors found out that oil products increased the toxicity of peat soils and reduced total exchange base and concentration of labile soil nutrients. This influenced negatively the number of the main groups of microorganisms. The cellulose-fermenting microorganisms were less resistant to soil pollution caused by oil products, their number was reduced in 6.1 times at weak form (from  $78.7 \cdot 10^4$  to  $13.0 \cdot 10^4$ ), strong form- in 17.1 times (up to  $4.6 \cdot 10^4$ ). The research found out that microscopic fungi appeared to be the most resistant to oil products; at weak form of pollution their number was reduced in 2.6 times (from  $33.6 \cdot 10^3$  to  $13.0 \cdot 10^3$ ); at strong form of pollution their number was reduced in 3.7 times (up to  $9.0 \cdot 10^3$ ). The authors observed 655 soil organisms that belong to 17 species, 14 bloodlines and 6 orders. The springtails and Tenuipalpidae are mostly wide-spread in the investigated areas. Their high number was observed at the safe plots and the polluted ones. This certifies about their high plasticity and low resistance to soil pollution by oil products.

Нефть в настоящее время является важнейшим сырьем в химической промышленности и основным источником получения энергии в различных отраслях народного хозяйства, удовлетворяя более 70% её потребления. Однако нефтегазовая промышленность по опасности воздействия на окружающую среду занимает третье место в числе 130 отраслей современного производства. На всех этапах добычи и транспортировки нефти периодически возникают аварийные ситуации, при которых происходит загрязнение окружающей среды. Наиболее сильное и многостороннее техногенное воздействие осуществляется на почвенный покров. В настоящее время достаточно хорошо изучено влияние нефтяного загрязнения на минеральные почвы [1–12], относительно его влияния на торфяные почвы и, в первую очередь, на их микро- и мезофауну, имеются лишь отрывочные противоречивые данные [13].

На территории Удмуртской Республики впервые было проведено почвенно-зоологическое обследование аллювиальных торфяных почв, загрязненных нефтепродуктами. Торфяные почвы занимают особое место среди других типов почв. Они резко отличаются от окружающих их минеральных почв: 1) условиями залегания и, вследствие этого, очень специфичным водно-воздушным режимом; 2) наличием разной мощности и степени разложения органического (оторфованного) слоя, обладающего очень высокой сорбционной способностью, в том числе по отношению к нефти; 3) низкой биологической активностью, замедляющей процесс естественного разложения нефтепродуктов в этих почвах. Выявление закономерностей изменения свойств торфяных почв под действием нефтяного загрязнения позволит более объективно разработать технологию их ремедиации, что имеет высокую степень актуальности и практической значимости для нефтедобывающих регионов, куда относится в том числе и Удмуртская Республика.

Цель исследований – выявить закономерности изменения агрохимических и биологических свойств аллювиальных торфяных почв, загрязненных нефтепродуктами, для разработки нормативов допустимого их остаточного содержания и технологии ремедиации.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвенное обследование проведено в первой декаде августа 2014 г. В качестве объекта об-

следования выбран участок притеррасной части поймы р. Камы в Камбарском районе Удмуртской Республики, загрязненный нефтепродуктами. Источник загрязнения – Камбарская нефтебаза (протечка ёмкостей хранения нефтепродуктов, по первому водоупору они попали в пойму р. Камы). Угодье – осушенный заболоченный смешанный лес. Фактическое использование – торфоразработки.

В результате обследования были выявлены три ключевые площадки: первая расположена на фоновой (незагрязнённой почве); вторая – на участке со слабым загрязнением нефтепродуктами; третья – на участке с сильным загрязнением нефтепродуктами. В центре каждой площадки были заложены полные почвенные разрезы, проведено геоботаническое описание растительного покрова, отобраны почвенные образцы для полного агрохимического и токсикологического анализа, подсчета численности почвенных беспозвоночных.

Почвенные образцы проанализированы в Центральной экоаналитической лаборатории Управления Минприроды УР и биохимической лаборатории Удмуртского НИИСХ по следующим методикам: определение массовой доли нефтепродуктов – методом ИК-спектроскопии [14]; острого токсичного действия – с использованием тест-объектов *Daphnia magna* [15] и *Paramecium caudatum* [16]; группового состава микроорганизмов – методом посева на селективные среды по ГОСТ 54653–2011 [17]; агрохимических показателей – по общепринятым методикам.

Для взятия почвенных проб использовали лопату. Образец почвы отбирали на площади 50×50 см. Пробы почв брали последовательно по горизонтам. Для сбора мелких почвенных членистоногих из образцов использовали эклитор.

Математическую обработку материалов провели с применением статистического пакета Statistica 5.5. Интерпретацию полученных материалов основывали на дисперсионном многофакторном анализе (по перекрестно-иерархической схеме с последующей оценкой различий методом множественного сравнения LSD-test). Для интерпретации данных, полученных с применением тест-объектов *Daphnia magna*, *Paramecium caudatum*, использовали доверительный интервал. В процессе сравнения и анализа полученных результатов рассчитывали достоверные различия между признаками (при  $P \leq 0,05$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выявление закономерностей изменения свойств торфяных почв под действием загрязнения их нефтепродуктами осуществлялось на ключевых площадках.

**Ключевая площадка 1.** Расположена в при-террасной части поймы р. Камы, в 1200 м на запад от Камбарской нефтебазы. Угодье – заболоченный смешанный лес (в настоящее время осушенный), подлесок представлен ивой (*Salix alba*) и лещиной (*Corylus avellana* L.), травянистый покров – осокой острой (*Carex acuta*), крапивой двудомной (*Urtica dioica*), подмаренником мягким (*Galium mollugo*), пыреем ползучим (*Elytrigia repens*) и др. Общая биомасса растений составила 190 г/м<sup>2</sup> зеленой массы. Загрязнение нефтепродуктами отсутствует. Почва – аллювиальная иловато-перегно-торфяная среднемошная. Приведём её морфологическое описание.

### Разрез 1

A<sub>0</sub> 0–4 см – дернина.

TEmr 4–26 см – эутрофно-торфяный, состоит из остатков гидрофильной растительности тра-

вянисто-древесного состава, степень разложения 45 %, буровато-коричневый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr1 26–50 см – торфяно-перегно-торфяный, коричневатого-чёрный, мажущейся консистенции (пачкает пальцы), состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 70 %, уплотнённый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr2 50–180 см – перегно-торфяный, сизовато-чёрный, мажущейся консистенции, состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 85 %, уплотнённый, сырой, переход в нижележащий горизонт – резкий.

G 180–190 см – глеевый, сизовато-белёсый, верхняя часть грязно-серая (за счёт покраски почечным органическим веществом), присутствуют единичные охристые пятна Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, песчаный, бесструктурный, слабопористый, сырой.

Агрохимические показатели почвы приведены в табл. 1.

Таблица 1

Агрохимические показатели незагрязнённой почвы (разрез 1)  
Agrochemical indicators of unpolluted soil (profile 1)

| Глубина<br>взятия об-<br>разца, см | Золь-<br>ность, % | Нефтепро-<br>дукты, мг/кг | pH <sub>KCl</sub> | Физико-химические<br>свойства, ммоль/100 г |     | Химические свойства, мг/кг    |                  |                   |                   |
|------------------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------|--------------------------------------------|-----|-------------------------------|------------------|-------------------|-------------------|
|                                    |                   |                           |                   | H <sub>г</sub>                             | S   | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | N-NO <sub>3</sub> | N-NH <sub>4</sub> |
| 4–26                               | 25,4              | 66                        | 7,18              | -                                          | 196 | 200                           | 39               | 18                | 80                |
| 26–36                              | 32,6              | 51                        | 7,05              | -                                          | 216 | 260                           | 28               | 26                | 75                |
| 90–100                             | 18,1              | 68                        | 6,76              | 8,00                                       | 200 | 164                           | 12               | 14                | 20                |
| 150–160                            | 15,4              | 70                        | 6,76              | 6,80                                       | 192 | 114                           | 20               | 28                | 50                |

**Ключевая площадка 2.** Расположена в при-террасной части поймы р. Камы, в 900 м на запад от Камбарской нефтебазы. Участок в настоящее время осушен и используется под торфоразработками. Травянистый покров представлен осокой острой (*Carex acuta*), пыреем ползучим (*Elytrigia repens*), папоротником (*Dryopteris filix-mas*), хвощом лесным (*Equisetum sylvaticum*) и др. Общая биомасса составила 480 г/м<sup>2</sup> зеленой массы. Загрязнение нефтепродуктами – слабое. Почва – аллювиальная иловато-перегно-торфяная среднемошная. Приведём её морфологическое описание.

### Разрез 2

A<sub>0</sub> 0–3 см – дернина.

TEmr 3–28 см – эутрофно-торфяный, состоит из остатков гидрофильной растительности тра-

вянисто-древесного состава, степень разложения 45 %, буровато-коричневый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr1 28–64 см – перегно-торфяный, чёрный, мажущейся консистенции (пачкает пальцы), состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 75 %, уплотнённый, влажный, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr2 64–190 см – торфяно-перегно-торфяный, коричневатого-чёрный, мажущейся консистенции, состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 60 %, уплотнённый, сырой, переход в нижележащий горизонт – резкий.

G 190–200 см – глеевый, сизовато-белёсый, верхняя часть грязно-серая (за счёт покраски почечным органическим веществом), присутствуют

единичные охристые пятна  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , песчаный, бесструктурный, сырой.

Агрохимические показатели почвы приведены в табл. 2.

Таблица 2

Агрохимические показатели почвы, загрязнённой нефтепродуктами в слабой степени (разрез 2)  
Agrochemical indicators of the soil polluted by oil products at weak form (profile 2)

| Глубина<br>взятия образца, см | Зольность, % | Нефтепродукты, мг/кг | $\text{pH}_{\text{KCl}}$ | Физико-химические свойства, ммоль/100 г |     | Химические свойства, мг/кг |                      |                 |                 |
|-------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|-----------------------------------------|-----|----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
|                               |              |                      |                          | $\text{H}_\text{T}$                     | S   | $\text{P}_2\text{O}_5$     | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{N-NO}_3$ | $\text{N-NH}_4$ |
| 3–28                          | 32,1         | 151                  | 7,25                     | -                                       | 252 | 160                        | 27                   | 18              | 62              |
| 28–38                         | 14,2         | 175                  | 6,70                     | -                                       | 216 | 132                        | 18                   | 22              | 82              |
| 90–100                        | 12,5         | 272                  | 7,48                     | -                                       | 200 | 70                         | 9                    | 32              | 25              |
| 100–150                       | 25,9         | 370                  | 7,48                     | -                                       | 260 | 48                         | 9                    | 24              | 13              |

**Ключевая площадка 3.** Расположена в при-террасной части поймы р. Камы, в 460 м на запад от Камбарской нефтебазы. Участок в настоящее время осушен и используется под торфоразработками. Травянистый покров представлен осокой острой (*Carex acuta*), пыреем ползучим (*Elytrigia repens*), кипреем (*Epilobium hirsutum*) и др. Общая биомасса составила 390 г/м<sup>2</sup> зеленой массы. Загрязнение нефтепродуктами – сильное. Почва – аллювиальная иловато-торфяно-перегнойная среднemosная. Приведём её описание.

Разрез 3

$A_0$  0–2 см – дернина.

Hmr1 2–24 см – торфяно-перегнойный, коричневатого-чёрный, мажущейся консистенции (пачкает пальцы), состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 60%, уплотнённый, влажный, визуально видны маслянистые

пятна нефтепродуктов, переход в нижележащий горизонт – резкий.

Hmr2 24–160 см – торфяно-перегнойный, буровато-чёрный, мажущейся консистенции, состоит из сильно разложившихся, утративших исходное строение растительных остатков, степень разложения 75%, уплотнённый, сырой, визуально видны многочисленные маслянистые пятна нефтепродуктов, переход в нижележащий горизонт – резкий.

G 160–170 см – глеевый, сизовато-белёсый, верхняя часть грязно-серая (за счёт покраски почечным органическим веществом и нефтепродуктами), присутствуют единичные охристые пятна  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , супесчаный, бесструктурный, слабопористый, сырой.

Агрохимические показатели почвы приведены в табл. 3.

Таблица 3

Агрохимические показатели почвы, загрязнённой нефтепродуктами в сильной степени (разрез 3)  
Agrochemical indicators of the soil polluted by oil products at strong form (profile 3)

| Глубина<br>взятия образца, см | Зольность, % | Нефтепродукты, мг/кг | $\text{pH}_{\text{KCl}}$ | Физико-химические свойства, ммоль/ 100 г |     | Химические свойства, мг/кг |                      |                 |                 |
|-------------------------------|--------------|----------------------|--------------------------|------------------------------------------|-----|----------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|
|                               |              |                      |                          | $\text{H}_\text{T}$                      | S   | $\text{P}_2\text{O}_5$     | $\text{K}_2\text{O}$ | $\text{N-NO}_3$ | $\text{N-NH}_4$ |
| 2–24                          | 23,4         | 1830                 | 6,73                     | -                                        | 180 | 120                        | 9                    | 11              | 30              |
| 24–34                         | 16,2         | 3850                 | 6,17                     | 4,90                                     | 204 | 116                        | 20                   | 14              | 38              |
| 90–100                        | 11,8         | 3994                 | 6,56                     | -                                        | 204 | 144                        | 9                    | -               | 25              |
| 150–160                       | 10,7         | 4051                 | 6,58                     | -                                        | 132 | 120                        | 20                   | -               | 25              |

Данные табл. 1–3 свидетельствуют, что торфяные почвы характеризуются очень высокой зольностью (содержанием минеральной части, оставшейся после сжигания) – 10–30%, что является характерной особенностью аллювиальных (пойменных) торфяных почв. Реакция солевой вытяжки ( $\text{pH}_{\text{KCl}}$ ) колеблется от

нейтральной до слабощелочной, типичной величины для низинных торфов. Загрязнение нефтепродуктами не оказало влияние на этот показатель, так как они сами имеют нейтральную реакцию.

Характерной особенностью всех низинных торфов является наличие у них очень высокого

показателя суммы обменных оснований (более 100 ммоль/100 г). Это объясняется химическим составом их органической части. В него входит целый ряд сложных высокомолекулярных органических соединений, обладающих очень высокой ёмкостью поглощения катионов (гуминовые и фульвокислоты, лигнин, битумы и др.). Загрязнение нефтепродуктами снижает сумму обменных оснований, что объясняется не столько уменьшением их общего количества, сколько утратой их способности обмениваться благодаря обволакиванию почвенных коллоидов нефтяными пленками. Аналогичное действие, но на минеральных почвах, отмечали многие исследователи [10, 11, 18–21].

Нефтепродукты оказывают негативное влияние на пищевой режим торфов, они образуют вокруг почвенных агрегатов гидрофобные плёнки, препятствующие проникновению в них водных

растворов. В зависимости от дозы загрязнения происходит частичная или почти полная изоляция почвенных частиц и агрегатов от жидкой фазы. Это приводит к снижению содержания подвижных, а значит и доступных для растений и почвенных микроорганизмов форм элементов минерального питания.

Для подтверждения степени загрязнения торфяных почв нефтепродуктами нами использовались результаты токсикологического тестирования водных вытяжек из загрязнённых почв на гидробионтах. В качестве объектов тестирования выбраны *Daphnia magna* и *Paramecium caudatum*, так как они являются и наиболее распространёнными тест-объектами, и на них имеются стандартные методики определения токсичности почв. Результаты токсикологического тестирования приведены в табл. 4, 5.

Таблица 4

**Определение токсичности загрязнённых торфяных почв на примере тест-объекта *Daphnia magna* Straus**  
**Toxicity of polluted peat soils on example testing plot *Daphnia magna* Straus**

| Ключевая площадка                      | Глубина взятия образца, см | Отклонение от контроля ( $A \pm \Delta$ ), шт. | Оценка                                           |
|----------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1. Без загрязнения нефтепродуктами     | 4–26                       | $10,0 \pm 4,0$                                 | Не оказывает острого токсикологического действия |
|                                        | 26–36                      | $10,0 \pm 4,0$                                 | То же                                            |
|                                        | 90–100                     | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
|                                        | 150–160                    | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
| 2. Слабо загрязнённая нефтепродуктами  | 3–28                       | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
|                                        | 28–38                      | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
|                                        | 90–100                     | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
|                                        | 150–160                    | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
| 3. Сильно загрязнённая нефтепродуктами | 0–24                       | $10,0 \pm 4,0$                                 | «                                                |
|                                        | 24–34                      | $4,3 \pm 4,7$                                  | Оказывает острое токсикологическое действие      |
|                                        | 90–100                     | $4,2 \pm 4,0$                                  | То же                                            |
|                                        | 150–160                    | $4,0 \pm 4,0$                                  | «                                                |

Таблица 5

**Определение токсичности загрязнённых торфяных почв на примере тест-объекта *Paramecium caudatum* Ehrenberg**  
**Toxicity of polluted peat soils on example testing plot *Paramecium caudatum* Ehrenberg**

| Ключевая площадка                      | Глубина взятия образца, см | Индекс токсичности | Оценка                         |
|----------------------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------------------|
| 1. Без загрязнения нефтепродуктами     | 4–26                       | $0,090 \pm 0,054$  | Допустимая степень токсичности |
|                                        | 26–36                      | $0,064 \pm 0,038$  | То же                          |
|                                        | 90–100                     | $0,107 \pm 0,064$  | «                              |
|                                        | 150–160                    | $0,120 \pm 0,072$  | «                              |
| 2. Слабо загрязнённая нефтепродуктами  | 3–28                       | $0,115 \pm 0,069$  | «                              |
|                                        | 28–38                      | $0,137 \pm 0,082$  | «                              |
|                                        | 90–100                     | $0,220 \pm 0,120$  | «                              |
|                                        | 150–160                    | $0,217 \pm 0,100$  | «                              |
| 3. Сильно загрязнённая нефтепродуктами | 0–24                       | $0,370 \pm 0,220$  | «                              |
|                                        | 24–34                      | $0,500 \pm 0,300$  | Умеренная степень токсичности  |
|                                        | 90–100                     | $0,570 \pm 0,160$  | То же                          |
|                                        | 150–160                    | $0,530 \pm 0,200$  | «                              |

Данные табл. 4 и 5 подтверждают, что на третьей ключевой площадке имеется нефтяное загрязнение, которое оказывает токсичное действие на оба тест-объекта: *Daphnia magna* (острое токсикологическое действие) и *Paramecium caudatum* (умеренная степень токсичности). Токсичное действие проявляется начиная со второго горизонта, так как подъём поллютантов осуществлялся из нижних слоев почвы.

Наиболее объективным показателем, характеризующим общее экологическое состояние загрязнённых территорий, является их микробиологическая активность. Она складывается из активности большого числа групп микроорганизмов, каждая из которых отвечает только за одно из многочисленных звеньев в цепочке разложения органического вещества торфа, растительных остатков и нефти. Рассмотрим наиболее важнейшие группы микроорганизмов.

Группа микроорганизмов, использующих минеральные формы азота, представлена в основном бактериями и актиномицетами. Бактерии и актиномицеты выявляют на крахмало-аммиачном агаре (КАА). На данной среде, как правило, вы-

растают колонии актиномицетов, принадлежащих к родам *Streptomyces*, *Streptoverticillum*, *Chainia*. Представители этих родов являются аэробными, грамположительными микроорганизмами.

Дисперсионный многофакторный анализ показал, что на их численность (рис. 1) достоверное влияние оказали степень загрязнения ( $P = 1,38 \cdot 10^{-21}$ ;  $2,05 \cdot 10^{-29}$ ), глубина взятия пробы ( $P = 1,74 \cdot 10^{-22}$ ;  $1,33 \cdot 10^{-28}$ ) и их взаимодействие ( $P = 2,4 \cdot 10^{-14}$ ;  $1,42 \cdot 10^{-22}$ ). Анализ численности актиномицетов показал, что загрязнение нефтепродуктами резко снизило их количество в верхней части профиля торфяных почв: с  $45,6 \cdot 10^5$  (разрез 1) до  $8,0 \cdot 10^5$  (разрез 3), что подтверждает острое токсичное действие нефтепродуктов на эту группу микроорганизмов. Вниз по профилю наблюдалось дополнительное снижение количества актиномицетов, связанное с ухудшением воздушного режима торфяных почв, наиболее важного для аэробных микроорганизмов. Исключение составил только разрез 2, в котором максимальное количество актиномицетов находилось в слое почвы 28–38 см, что объясняется лучшими условиями увлажнения данного слоя осушенных торфяников.

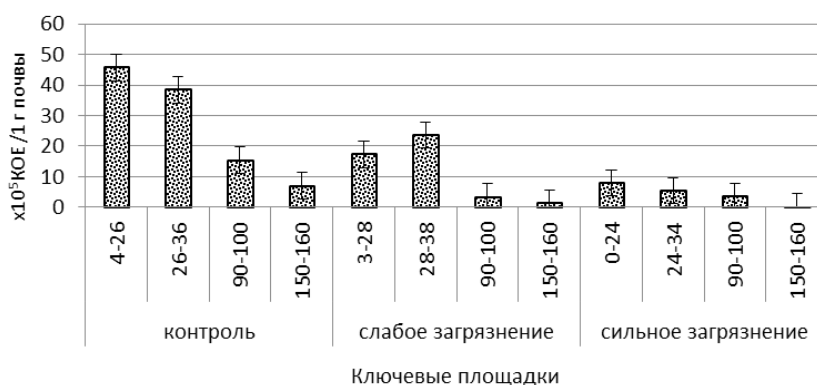


Рис. 1. Влияние загрязнения нефтепродуктами на численность актиномицетов

The impact of pollution caused by oil products on the number of actinomycetes

Еще большее негативное влияние нефтепродукты оказали на численность целлюлозоразлагающих (ЦРА) микроорганизмов (рис. 2). Целлюлозолитическая способность почвы является одним из основных индикаторов общей активности микроорганизмов почвы и оценки уровня её плодородия [8]. Из бактерий, интенсивно разлагающих целлюлозу, наиболее часто встречаются представители родов *Cytophaga*, *Cellvibrio*, *Cellfalcicula*, *Polyangium* и *Sorangium*. Аэробные целлюлозоразрушающие микроорганизмы хорошо выявляются на среде Гетчинсона. Из грибов, интенсивно разлагающих целлюлозу, наиболее часто встречаются представители

родов *Dematium*, *Stachybotris*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Fumago* [6, 17].

Численность ЦРА бактерий ещё более значительно менялась как с увеличением степени загрязнения, так и вниз по профилю. Максимальное количество микроорганизмов этой группы находилось в незагрязнённой почве в его верхнем слое (4–26 см) –  $71,6 \cdot 10^4$ . В загрязнённых почвах наибольшая их численность наблюдалось на глубине 28–38 см, где, по-видимому, создавались для них более оптимальные условия. На глубине 150–160 см в разрезах 2 и 3 ЦРА бактерии не обнаружены.

Дисперсионный многофакторный анализ показал, что на численность ЦРА бактерий досто-

верное влияние оказало взаимодействие всех факторов ( $P=6,85 \cdot 10^{-28}$ ).

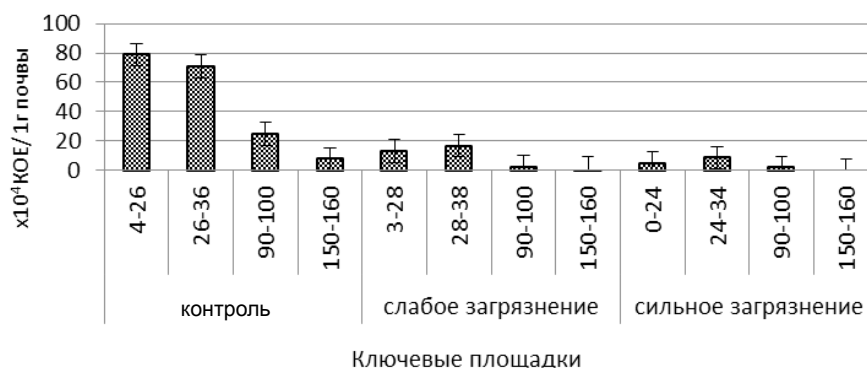


Рис. 2. Влияние загрязнения нефтепродуктами на численность ЦРА бактерий

The impact of pollution caused by oil products on the number of bacteria

Самой устойчивой к загрязнению нефтепродуктами группой являлись микроскопические грибы, но даже они при слабой степени загрязнения снизили свою численность в 2,6 раза (с  $33,6 \cdot 10^3$  до  $13,0 \cdot 10^3$ ), а при сильной степени – в 3,7 раза

(до  $9,0 \cdot 10^3$ ) (рис. 3). Максимальное количество микроорганизмов этой группы находилось в незагрязнённой почве в его верхнем слое (4–26 см) –  $33,6 \cdot 10^3$ . В загрязнённых почвах наибольшая их численность наблюдалось на глубине 28–38 см.

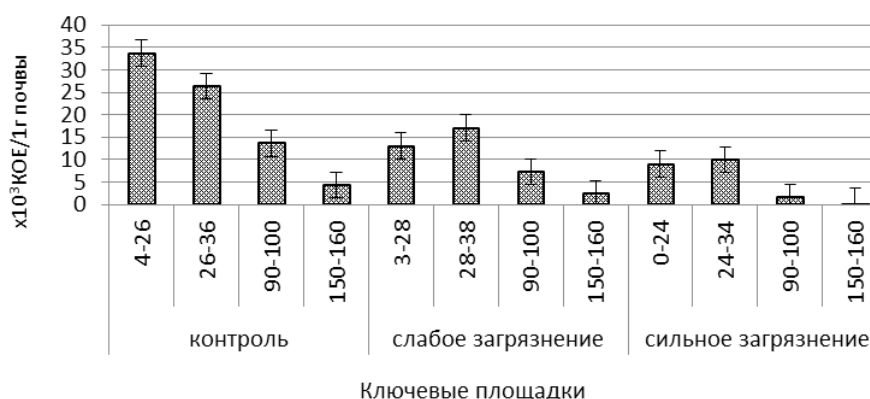


Рис. 3. Влияние загрязнения нефтепродуктами на численность микроскопических грибов

The impact of pollution caused by oil products on the number of microscopic fungi

На ключевых площадках был изучен и фаунистический состав педобионтов в сборах (табл. 6). Среди изученных нами почвенных организмов основу в почвенных образцах составляли микрофауна (мелкие клещи, личинки клещей и мелких насекомых) и мезофауна (клещи, насекомые и их личинки). Всего было выявлено 655 особей, принадлежащих к 17 видам, 14 семействам и 6 отрядам:

1) отряд ногохвотки (Podura): семейства: Orchesellidae – 2 вида, Onychiuridae – 2 вида; Isotomidae – 1 вид;

2) отряд двухвостки (Diplura): семейства Campodeidae, Japygidae;

3) отряд клопы (Heteroptera): семейства: Myodochidae – 1 вид, Dipsocoridae – 1 вид;

4) отряд равнокрылые (Homoptera): семейство Aphidodea – 1 вид;

5) отряд жесткокрылые (Coleoptera): семейство Carabidae – 1 вид;

6) отряд клещи (Acariformes): семейства: Palaecaridae – 1 вид, Ctenacaridae – 1 вид, Parasitidae – 2 вида, Tetranychoidae – 1 вид, Pygmephoridae – 2 вида, Scutacaridae – 1 вид.

Наибольшим числом особей в целом в выборках были представлены членистоногие отрядов ногохвотки ( $n = 177$ ; 27%), жесткокрылые ( $n = 99$ ; 16,8%) и клещи ( $n = 142$ ; 24%). Доминирующими видами были представители отряда клещи (Acariformes): 8 видов из 6 семейств; отряда ногохвотки (Podura): 5 видов из 3 семейств.

Таблица 6

Комплекс педобионтов (срок сбора – август)  
Complex of pedobionts (the period of gathering is August)

| № п/п                                                                                       | Таксон, вид                                               | Горизонт почвы | Опытные участки |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| <b>Отряд Ногохвостки (Podura)</b>                                                           |                                                           |                |                 |
| Семейство Orchesellidae                                                                     |                                                           |                |                 |
| 1                                                                                           | <i>Orchesella spectabilis</i> Tullb.                      | I, II, III     | 1, 2, 3         |
| 2                                                                                           | <i>Orchesella xerothermica</i> Strach.                    | I, II, III     | 1, 2, 3         |
| Семейство Onychiuridae                                                                      |                                                           |                |                 |
| 3                                                                                           | <i>Onychiurus armatus</i> Tullb.                          | I, II, III     | 1               |
| Семейство Isotomidae                                                                        |                                                           |                |                 |
| 4                                                                                           | <i>Folsomia quadrioculata</i> Tullb.                      | I, II, III     | 1               |
| <b>Отряд Двухвостки (Diplura)</b>                                                           |                                                           |                |                 |
| Семейство Campodeidae                                                                       |                                                           |                |                 |
| 5                                                                                           | <i>Campodea plusiochaeta</i> Silv.                        | I, II          | 1,2,3           |
| Семейство Клещехвостки (Japygidae)                                                          |                                                           |                |                 |
| 6                                                                                           | <i>Japyx confusus</i> Silv.                               | I, II          | 2               |
| <b>Отряд Клобы (Hemiptera)</b>                                                              |                                                           |                |                 |
| Семейство Земляные клопы (Myodochidae)                                                      |                                                           |                |                 |
| 7                                                                                           | Черный земляной клопик ( <i>Geocorisater</i> F.)          | II             | 1               |
| Семейство Dipsocoridae                                                                      |                                                           |                |                 |
| 8                                                                                           | <i>Ceratocombus coleoptratus</i> Zett.                    | II             | 2               |
| <b>Отряд Равнокрылые (Homoptera)</b>                                                        |                                                           |                |                 |
| П/отряд Травяные вши (Aphidodea)                                                            |                                                           |                |                 |
| 9                                                                                           | Капустная тля ( <i>Brevicoryne brassicae</i> L.)          | I              | 1               |
| <b>Отряд Жесткокрылые (Coleoptera)</b>                                                      |                                                           |                |                 |
| Семейство Жужелицы (Carabidae)                                                              |                                                           |                |                 |
| 10                                                                                          | Жужелица черная настоящая ( <i>Carabus glabratus</i> Pk.) | II, III        | 1, 2, 3         |
| <b>Отряд Клещи (Acariformes)</b>                                                            |                                                           |                |                 |
| П/отряд Sarcotiformes, группа Oribatei, н/семейство Palaeacaroidae, семейство Palaeacaridae |                                                           |                |                 |
| 19                                                                                          | <i>Palaeacaroides pacificus</i> Lange, 1972               | I, II, III     | 1, 3            |
| Семейство Ctenacaridae                                                                      |                                                           |                |                 |
| 20                                                                                          | <i>Beklemishevia galeodula</i> Zachvatkin, 1945           | II, III        | 1               |
| П/отряд Гамазовые, семейство Parasitidae                                                    |                                                           |                |                 |
| 21                                                                                          | <i>Paragamasus misellus</i> Berlese                       | I, II          | 1               |
| 22                                                                                          | <i>Holoparasitus gontcharovae</i> Davydova                | I, II, III     | 1               |
| П/отряд Плоские клещи (Trombidiformes), н/семейство Tetranychoidae                          |                                                           |                |                 |
| 23                                                                                          | <i>Brevipalpus obovatus</i> D.                            | I, II, II      | 1, 3            |
| Семейство Pygmephoridae                                                                     |                                                           |                |                 |
| 24                                                                                          | <i>Geotrupophorus gozmanui</i> Mahunka                    | I, II, III     | 3               |
| 25                                                                                          | <i>Siteroptes antiquissimus</i> Krezal, 1958              |                | 1, 2, 3         |
| Семейство Scutacaridae                                                                      |                                                           |                |                 |
| 26                                                                                          | <i>Pygmodispuse questris</i> Paoli, 1911                  | I, II          | 2               |

Наиболее широко распространенными на исследованных территориях (встречались на всех участках) оказались представители ногохвосток и плоские клещи. Их высокая численность не только на чистых участках, но и на подвергнувшихся загрязнению нефтепродуктами, свидетельствует об их высокой пластичности и малой чувствительности к загрязнению почвы этим поллютантом. Доля ногохвосток по количеству осо-

бей в образцах почв на ключевом участке № 1 составляла 31,2 %, на участке № 2 – 12,8, на участке № 3 – 40,0, доля клещей 13,5; 14,2; 10,7% соответственно.

Дождевые черви, обитающие в верхних слоях почвы, наиболее чувствительны к природным и антропогенным изменениям. Представители семейства Lumbricidae нами обнаружены не были. Некоторыми авторами показана возможность ис-

пользования земляных червей для биоиндикации загрязнённых почв [7].

## ВЫВОДЫ

1. Загрязнение торфяной почвы нефтепродуктами значительно повысило степень её токсичности, снизило в ней показатель суммы обменных оснований и содержание элементов минерального питания, что оказало неблагоприятное воздействие на рост и развитие растений и численность основных групп микроорганизмов.

2. Наиболее чувствительной группой микроорганизмов к загрязнению почвы нефтепродуктами являлись целлюлозоразлагающие, они снизили свою численность при слабой её степени в 6,1 раза (с  $78,7 \cdot 10^4$  до  $13,0 \cdot 10^4$ ), при сильной степени – в 17,1 раза (до  $4,6 \cdot 10^4$ ).

3. Наименее чувствительными к нефтепродуктам являлись микроскопические грибы, они при слабой степени загрязнения снизили свою численность только в 2,6 раза (с  $33,6 \cdot 10^3$  до  $13,0 \cdot 10^3$ ), а при сильной степени – в 3,7 раза (до  $9,0 \cdot 10^3$ ).

4. Среди всех учтенных нами почвенных микробных организмов в торфяных почвах было выявлено 655 особей, принадлежащих к 17 видам, 14 семействам и 6 отрядам. Наиболее широко распространенными на исследованных территориях (встречались на всех участках) оказались представители ногохвосток и плоские клещи. Их высокая численность не только на чистых участках, но и на подвергнувшихся загрязнению нефтепродуктами, свидетельствует об их высокой пластичности и малой чувствительности к загрязнению почвы этим поллютантом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Оценка биологической активности дерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава в условиях нефтяного загрязнения / А. А. Вершинин, А. М. Петров, Д. В. Акайкин, Ю. А. Игнатьев // Почвоведение. – 2014. – № 2. – С. 1–256.
2. Динамика загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами и индикация состояния почвенных экосистем / А. Н. Геннадиев, И. С. Козин, Е. И. Шурубор, Т. А. Теплицкая // Почвоведение. – 1990. – № 10. – С. 75–85.
3. Гилязов М. Ю., Гайсин И. А. Агроэкологическая характеристика и приемы рекультивации нефтезагрязненных черноземов Республики Татарстан. – Казань: Фен, 2003. – 228 с.
4. Звягинцев Д. Г. Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во МГУ, 1987. – 256 с.
5. Исмаилов Н. М. Микробиология и ферментативная активность нефтезагрязненных почв // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М.: Наука, 1988. – С. 42–56.
6. Киреева Н. А. Влияние нефтяного загрязнения на целлюлазную активность почв // Почвоведение. – 2000. – № 6. – С. 748–753.
7. Ферменты серного обмена в нефтезагрязненных почвах / Н. А. Киреева, Г. Ф. Ямалетдинов, Е. И. Новоселова, Ф. Х. Хазиев // Почвоведение. – 2002. – № 4. – С. 474–480.
8. Киреева Н. А., Новоселова Е. И., Хазиев Ф. Х. Активность карбогидраз в нефтезагрязненных почвах // Почвоведение. – 1998. – № 12. – С. 1444–1448.
9. Колесников С. И. Использование показателей биологической активности в целях мониторинга, диагностики и нормирования нефтезагрязненных почв // Экология и биология почв: материалы междунар. конф. – Ростов-н/Д, 2005. – С. 218–223.
10. Леднев А. В. Изменение свойств почв Среднего Предуралья под действием продуктов нефтедобычи и приемы их рекультивации. – Ижевск: Изд-во Ижев. ГСХА, 2008. – 174 с.
11. Пиковский Ю. М. Трансформация техногенных потоков нефти в почвенных экосистемах // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. – М., 1988. – С. 7–22.
12. Трофимов С. Я., Розанова М. С. Изменение свойств почв под влиянием нефтяного загрязнения // Дegradaция и охрана почв. – М.: Изд-во МГУ, 2002. – С. 359–373.
13. Мязин В. А. Разработка способов повышения эффективности биоремедиации почв Кольского Севера при загрязнении нефтепродуктами (в условиях модельного эксперимента): дис. ... канд. биол. наук. – Петрозаводск, 2014. – 159 с.
14. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органогенных, органоминеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии.

- ПНД Ф 16.1:2.2.22–98 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94\\_%D0%A4\\_16.1:2.2.22–98](http://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94_%D0%A4_16.1:2.2.22–98).
15. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. ФР.1.39.2007.03222 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293842/4293842234.htm>.
  16. Рахлеева А. А., Терехова В. А. Методика определения токсичности отходов, почв, осадков сточных, поверхностных и грунтовых вод методом биотестирования с использованием равноресничных инфузорий ФР.1.39.2006.02506. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 30 с.
  17. ГОСТ Р 54653–2011. Удобрения органические. Методы микробиологического анализа [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_%D0%A0\\_54653–2011](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_54653–2011).
  18. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв: метод пособие. – М.: Наука, 1976. – 180 с.
  19. Frankenberger W. T., Johanson Jr., Johanson I. B. Influence of crude oil and refined petroleum products: on soil; dehydrogenase activity // Environ. Qual. – 1982. – Vol. 11, N 4. – P. 602–607.
  20. Popa A. Inductiaenzimatica in sol ca test ecotoxicology cpentrupoluantian organicisiorganici // Stud. Univ. Babes-Doliai. Biol. – 2000. – N 45 (1). – P. 129–138.
  21. Wilke B. – M. Effects of non-pesticide organic pollutants on soil microbial activity // Adv. GeoEcol. Reiskirchen. – 1997. – N 30. – P. 117–132.
1. Vershinin A. A., Petrov A. M., Akaykin D. V., Ignatyev Y. A. *Pochvovedenie*, no. 2 (2014): 1–256. (In Russ.).
  2. Gennadiyev A. N., Kozin I. S., Shurubor E. I., Teplitskaya T. A. *Pochvovedenie*, no. 10 (1990): 75–85. (In Russ.).
  3. Gilyazov M. Y., Gysin I. A. *Agroekologicheskaya haracteristika i priemy rekultivatsyi neftezagraznennykh chernozemov Respubleci Tatarstan* [Agroecological characteristics and methods of remediation of oil-contaminated chernozems Tatarstan]. Kazan: Hairdryer, 2003. 228 p. (In Russ.).
  4. Zvyagintsev D. G. *Pochva I mikroorganizmi* [Soil and microorganisms]. Moscow: Izd. of Moscow State University, 1987. 256 p. (In Russ.).
  5. Ismailov N. M. *Vosstanovlenie neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem*. Moscow: Nauka, 1988. pp. 42–56. (In Russ.).
  6. Kireeva N. A. *Pochvovedenie*, no. 6 (2000): 748–753. (In Russ.).
  7. Kireeva N. A., Yamaletdinov G. F., Novoselov E. I., Khaziev F. H. *Pochvovedenie*, no. 4 (2002): 474–480. (In Russ.).
  8. Kireeva N. A., Novoselova E. I., Khaziev F. H. *Pochvovedenie*, no. 12 (1998): 1444–1448. (In Russ.).
  9. Kolesnikov S. I. *Ekologiya i biologiya pochv* [Materials Intl. Conf.]. Rostov-on-Don, 2005. pp. 218–223. (In Russ.).
  10. Lednev A. V. *Izmenenie svoystv pochv Srednego Predural'ya pod deystviem produktov neftedobychi i priemy ikh rekultivatsii* [Change of properties of soils of Srednego Preduralja under the influence of products of oil extracting and their receptions] Izhevsk: Izhevsk State Agricultural Academy, 2008. 174 p.
  11. Pikovsky Y. M. *Vosstanovlenie neftezagryaznennykh pochvennykh ekosistem*. Moscow, 1988. pp. 7–22. (In Russ.).
  12. Trofimov S. Y., Rozanov M. S. *Degradatsiya i okhrana pochv*. Moscow: Moscow State University, 2002. pp. 359–373. (In Russ.).
  13. Myazin V. A. *Razrabotka sposobov povishenia effektivnosti bioremediatzyi pochv Kolskogo Severa pri zagrazneniyi nefteproduktamy (v usloviyah modelnogo eksperimenta)* [Development of ways to increase the effectiveness of bioremediation of soils Kola Peninsula with oil contamination (in terms of the model experiment)]. Petrozavodsk, 2014. 159 p. (In Russ.).
  14. Ф 16.1: 2.2.22–98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в минеральных, органо-генных, органо-минеральных почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии [Methods of measurement of the mass fraction of oil in the mineral, organogenic, organo soils and sediments IK-spectrometry method]: [http://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94\\_%D0%A4\\_16.1:2.2.22–98](http://standartgost.ru/g/%D0%9F%D0%9D%D0%94_%D0%A4_16.1:2.2.22–98).
  15. ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний [Methods of determining the toxic-

- ity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste mortality and fertility change in *Daphnia*]: <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4293842/4293842234.htm>.
16. Rakhleeva A.A., Terekhova V.A. *Metodica opredeleniya toksichnosti othodov, pochv, osadkov stochnyh, poverhnostnyh I gruntovyh vod metodom biotestirovaniya s ispolzovaniem ravnoresnichnyh infuzoryj* [Methods of determining the toxicity of waste, soil, sewage, surface water and groundwater precipitation method biological testing using *ravnoresnichnyh* ciliates]. FR.1.39.2006.02506. Moscow: Izd-vo MGU, 2006. 30 p.
  17. GOST R 54653–2011. *Udobreniya organicheskie. Metody mikrobiologicheskogo analiza* [Organic fertilizers. Methods of microbiological analysis]: [http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2\\_%D0%A0\\_54653–2011](http://standartgost.ru/g/%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2_%D0%A0_54653-2011).
  18. Khaziev F.H. *Fermentativnaya aktivnost pochv* [The enzymatic activity of soils. Toolkit]. Moscow: Nauka, 1976. 180 p.
  19. Frankenberger W.T., Johanson Ir., Johanson I.B». Influence of crude oil and refined petroleum products: on soil; dehydrogenase activity. *Environ. Qual.*, Vol. 11, no 4 (1982): 602–607.
  20. Popa A. Inductiaenzimatica in sol ca test ecotoxicology cpenrupoluantian organicisiorganici. *Stud. Univ. Babes-Doliai. Biol.*, no. 45 (1) (2000): 129–138.
  21. Wilke B. – M. Effects of non-pesticide organic pollutants on soil microbial activity. *Adv. GeoEcol. Reiskirchen.*, no. 30 (1997): 117–132.