



УДК 550.47+504.53  
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.31.52>

## Оценка влияния локальных производственных объектов на почвы пос. Соловецкий (Соловецкий архипелаг, Архангельская область)

К. В. Титова<sup>1,2</sup>, Э. В. Швакова<sup>1</sup>, Л. Ф. Попова<sup>1</sup>, А. Н. Трофимова<sup>1</sup>,  
С. С. Попов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,  
г. Архангельск, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр комплексного исследования Арктики  
им. акад. Н. П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск  
E-mail: [ksyu\\_sev@mail.ru](mailto:ksyu_sev@mail.ru)

**Аннотация.** Представлены результаты исследования образцов почв, отобранных в летний период 2016–2017 гг. на территории пос. Соловецкий (Соловецкие о-ва Белого моря). На пробных площадях (ПП) в зонах влияния трёх наиболее значимых источников загрязнения определён уровень загрязнения почв тяжёлыми металлами (ТМ) и нефтепродуктами (НП). Описана динамика активности иммобилизованного фермента каталазы в поверхностных горизонтах почв ПП при загрязнении ТМ и НП. Полученные данные свидетельствуют о возможности использования активности каталазы в качестве диагностического показателя загрязнённости почв широко распространёнными поллютантами.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, нефтепродукты, тяжёлые металлы, каталазная активность, Соловецкие острова.

**Для цитирования:** Оценка влияния локальных производственных объектов на почвы пос. Соловецкий (Соловецкий архипелаг, Архангельская область) / К. В. Титова, Э. В. Швакова, Л. Ф. Попова, А. Н. Трофимова, С. С. Попов // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2020. Т. 31. С. 52–65. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.31.52>

### Введение

Одной из важных мер по реализации государственной политики в сфере обеспечения экологической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации является создание сети особо охраняемых природных территорий (ООПТ) [Чилингаров, Грузинов, Сычев, 2014]. Соловецкий архипелаг с его уникальными природными ландшафтами и выдающимся историко-культурным наследием – один из самых известных в России и за её пределами заповедный историко-культурный и природный комплекс, включённый вместе с пятикилометровой акваторией Белого моря в состав ООПТ «Соловецкий государственный историко-архитектурный и природный музей-заповедник». Природные комплексы архипелага подвергаются расту-

щему антропогенному воздействию в связи с постоянным увеличением туристического потока. Основным объектом внимания посетителей является включённый в список всемирного наследия ЮНЕСКО Соловецкий монастырь на Большом Соловецком острове, вокруг которого уже несколько столетий существует населённый пункт, ныне имеющий название «посёлок Соловецкий». На территории поселения и прилегающих участках остро проявляется ряд проблем экологического характера: последствия работы производственных объектов, сброс неочищенных вод в заливы Белого моря, ненадлежащее состояние мест хранения твёрдых коммунальных отходов.

В связи с этим в последние десятилетия стала очевидной необходимость изучения современного состояния природной среды Соловецких островов, организации мониторинга и нормирования антропогенного воздействия<sup>3</sup>. Такие исследования были начаты сотрудниками Института экологических проблем Севера в середине 2000-х гг. и затрагивали преимущественно водные объекты островов. Позже сотрудники Северного (Арктического) федерального университета (САФУ) в ходе регулярных экспедиционных выездов на Большой Соловецкий остров занялись вопросом почвенно-экологического мониторинга.

Исследования в области экологии почв показали, что в первую очередь следует оценивать изменения интегральных показателей их состояния, к которым относится биологическая активность. Показатели биологической активности почв по сравнению с физико-химическими параметрами обладают рядом индикационных преимуществ [Орлов, Садовникова, Лозановская, 2002; Влияние загрязнения ... , 2010; Filipek-Mazur, Tabak, Gorczyca, 2014]. Так, ферментативная активность является чувствительным индикатором изменения численности микробного населения в почвах, вызванного ухудшением воздушного режима или накоплением токсичных веществ [Звягинцев, 1978<sup>4</sup>, Filipek-Mazur, Tabak, Gorczyca, 2014]. Имобилизованные в почве ферменты обладают довольно высокой устойчивостью в условиях, при которых жизнедеятельность микробиоты подавляется, благодаря чему процессы почвенного метаболизма долгое время остаются относительно постоянными.

В качестве значимого показателя ферментативной активности почв часто используют деятельность каталазы, роль которой в почвенно-поглощающем комплексе заключается в разрушении пероксида водорода, образующегося в процессах дыхания микроорганизмов и преобразования органических остатков растительности. Исследования по изучению активности каталазы показали, что фермент чувствителен к воздействиям загрязнений нефтью, нефтепродуктами и тяжёлыми металлами [Achuba, Peretiemo-Clarke, 2008, Оценка применимости..., 2013].

---

<sup>3</sup> О стратегии развития Соловецкого архипелага как уникального объекта духовного, историко-культурного и природного наследия: распоряжение Правительства Архангельской области от 16 июля 2013 г. № 310-рп (действ. ред. 2018).

<sup>4</sup> Публикация из фондов научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ.

Цель настоящей работы – исследование влияния производственных объектов на почвенную среду пос. Соловецкий и оценка возможности использования активности каталазы в качестве диагностического показателя загрязнённости почв значимыми поллютантами.

### *Материалы и методы*

Соловецкий архипелаг расположен в юго-западной части Белого моря при входе в Онежский залив, в 165 км южнее Северного полярного круга. Посёлок Соловецкий – административный центр Соловецкого сельского поселения Приморского муниципального района Архангельской области – расположен на западном побережье Большого Соловецкого острова (рис. 1).

Остров расположен в подзоне глееподзолистых и подзолистых иллювиально-гумусовых почв северной тайги. Почвенный покров неоднороден на сравнительно небольшой площади. Характер почв в основном определяется рельефом и характером почвообразующих пород (пески) [Орешникова, Востокова, Шишкина, 2001].

Сбор материалов выполнялся в ходе экспедиционных выездов в рамках ряда научно-образовательных программ САФУ им. М. В. Ломоносова. Для выявления зон с наибольшей антропогенной нагрузкой на почвы в первую очередь был определён перечень потенциальных источников загрязнения территории пос. Соловецкий. К наиболее важным были отнесены три объекта:

– дизельная электростанция (ДЭС) (рис. 1, А:1, В) – единственный источник обеспечения острова электроэнергией, построена на берегу оз. Святое в 30-е гг. XX в. В 150 м от здания электростанции расположено хранилище дизельного топлива;

– автозаправочная станция (АЗС) (рис. 1, А:2), в резервуарах которой хранятся автомобильный бензин А-92 и дизельное топливо;

– морской водоналивной (сухой) судоремонтный док (рис. 1, А:3, Б) на берегу бух. Благополучия, использовавшийся до 50-х гг. XX в., облицован железобетоном в основной части чаши. Суда для ремонта заводились из бухты, далее при закрытых запорных воротах уровень в наливной части поднимался за счёт воды, поступающей по каналу из соседнего пресного оз. Святое. Ныне основная чаша сооружения используется как место стоянки маломерных судов, через недействующие ворота во время сильных нагонных ветров поступает морская вода.

Образцы почв согласно ГОСТу<sup>5</sup> были отобраны летом 2016 и 2017 гг. на пробных площадях (ПП) в пределах санитарно-защитной зоны ДЭС и АЗС (не далее 50 м от источника), а также на различных уровнях наливной части сухого дока (табл. 1). В качестве контроля была выбрана ПП на участке, не подвергающемся выраженной техногенной нагрузке, в 1 км от границы населённого пункта.

<sup>5</sup> ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М. : Стандартинформ, 2008. 12 с.

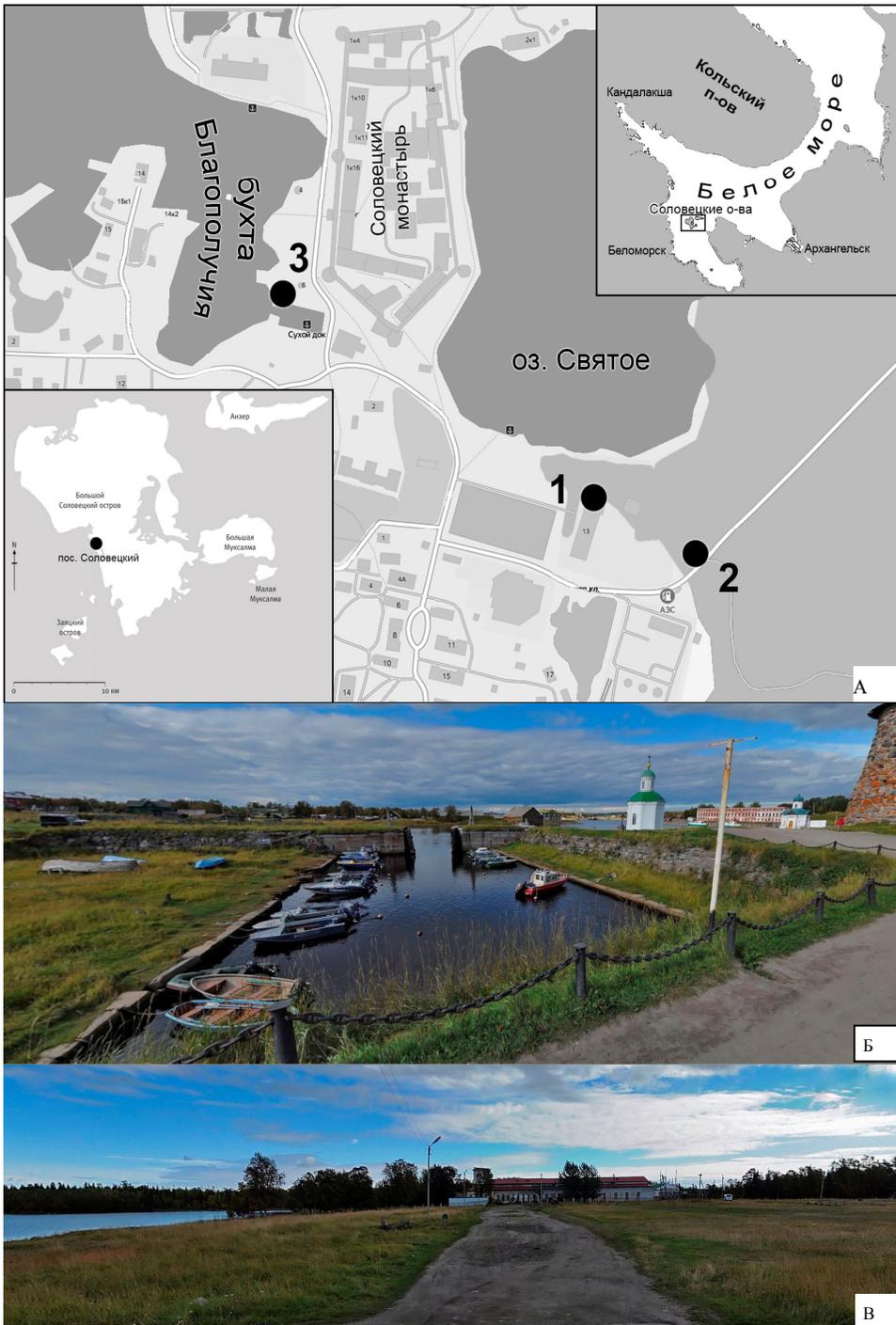


Рис. 1. Участки отбора почвенных проб на территории пос. Соловецкий (Соловецкий архипелаг, о. Бол. Соловецкий): А – карта-схема расположения участков отбора проб: 1 – дизельная электростанция; 2 – автозаправочная станция; 3 – сухой док; Б – панорама сухого дока; В – панорама территории дизельной электростанции

Таблица 1

Характеристика пробных площадей в пос. Соловецкий

| Объект                   | Координаты                    | Период отбора проб | Количество пробных участков | Количество образцов |
|--------------------------|-------------------------------|--------------------|-----------------------------|---------------------|
| Дизельная электростанция | N 65.01'181"<br>E 035.43'005" | 2017               | 4                           | 10                  |
| Автозаправочная станция  | N 65.01'225"<br>E 035.43'197" | 2016               | 5                           | 19                  |
| Сухой док                | N 65.01'220"<br>E 035.42'301" | 2016               | 5                           | 6                   |
|                          |                               | 2017               | 4                           | 5                   |
| Контроль                 | N 65.04'252"<br>E 035.41'121" | 2017               | 1                           | 4                   |

Химический анализ почв выполнен на базе лаборатории биогеохимических исследований при кафедре химии и химической экологии Высшей школы естественных наук и технологий САФУ и в лаборатории экоаналитических исследований ФИЦКИА УрО РАН. Гранулометрический состав почв определяли методом отмучивания по общепринятой методике [Ващенко, Ланге, Меркулов, 1982]; pH водной вытяжки – согласно ГОСТу<sup>6</sup>; содержание органического вещества (углерода) – методом сухого сжигания с последующим газохроматографическим разделением газовой смеси на CHN-анализаторе HP-75 (Hewlett-Packard, США). Определение массовой доли нефтепродуктов в почвах проводили флюориметрическим методом согласно ПНД<sup>7</sup> на анализаторе жидкости «Флюорат-02-5М» («Льюэкс», Россия). Содержание ионов в водной почвенной вытяжке определяли в ЦКП НО «Арктика» САФУ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием жидкостного хроматографа LC-20 Prominence (Shimadzu, Япония) согласно ПНД (анионы)<sup>8</sup>, (катионы)<sup>9</sup>; подвижные формы фосфора согласно ГОСТу<sup>10</sup>. Валовое содержание тяжёлых металлов (Co, Ni, Pb, Zn, Cu) определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа согласно методике<sup>11</sup> с использованием спектрофотометра «Спектроскан МАКС-GVM» («Спектрон», Россия).

Для определения ферментативной активности каталазы использовалась методика Штефаника и Думитру [Хазиев, 2005], основанная на способности

<sup>6</sup> ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М., 1985. 10 с.

<sup>7</sup> ПНД Ф 16.1:2.21-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». М., 2007. 26 с.

<sup>8</sup> ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.2.69-10 (М 03-06-2010). Методика измерений массовой доли водорастворимых форм хлорид-, сульфат-, оксалат-, нитрат-, фторид-, формиат-, фосфат-, ацетат- ионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза "Капель". СПб., 2010. 2 с.

<sup>9</sup> ПНД Ф 16.1:2.2:2.3.74-2012 (М 03-08-2011). Определение водорастворимых форм неорганических катионов в почвах, грунтах тепличных, глинах, торфе, осадках сточных вод, активном иле, донных отложениях. СПб., 2012. 2 с.

<sup>10</sup> ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М., 2013. 12 с.

<sup>11</sup> М 049-П/04. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошкообразных пробах почв методом рентгенофлуоресцентного анализа. СПб., 2004. 20 с.

пероксида водорода реагировать в присутствии разбавленной серной кислоты с солями титана (IV) с образованием комплексного соединения, имеющего жёлтую окраску. Оптическая плотность раствора образовавшегося соединения отражает количество неразрушенного каталазой пероксида водорода. По остаточному количеству субстрата рассчитывалась активность фермента, при этом учитывалась возможность неферментативного расщепления пероксида.

Полученные данные статистически обработаны общепринятыми методами при помощи программы Excel из пакета MS Office 10.

### ***Результаты и обсуждение***

При проведении исследования была выявлена дифференцированность почвенного профиля по гранулометрическому составу: верхняя часть более тяжёлая, а нижняя – более лёгкая, что может быть либо результатом собственно почвообразующих процессов, либо определяться изначальной неоднородностью материнской породы. Оглеения в основном не наблюдаются. В понижениях рельефа и нижних частях склонов могут встречаться болотно-торфяные почвы.

Иллювиально-гумусовые подзолы кислые на протяжении всего профиля, но максимальная кислотность обычно обнаруживается в грубогумусовом горизонте (поверхностном), вниз по профилю рН водной вытяжки ( $pH_{\text{водн}}$ ) увеличивалась. Для почв исследованных участков характерна слабокислая среда. Среднее значение  $pH_{\text{водн}}$  для всех исследованных образцов составило 5,7, изменяясь вниз по профилю от поверхности от 4,4 до 5,9. Такие условия благоприятствуют активности почвенных ферментов [Абрамян, 1992]<sup>12</sup>.

Среднее для всех отобранных образцов содержание органического вещества составило 10 %. В грубогумусовом горизонте его содержание изменялось от 20 до 36 %, в элювиальном падало до 2–3 %, а в нижних песчаных горизонтах с различными по природе вкраплениями – до 1 % и менее.

Благоприятными для действия ферментов являются следующие соотношения обменных катионов (%):  $Ca^{2+}$  – 60–80,  $Mg^{2+}$  – 10–30,  $K^+$  – 3–8,  $Na^+$  – не более 5 % [Абрамян, 1992]. Как видно из табл. 2, оптимального соотношения обменных катионов не наблюдалось ни на одном исследованном участке.

*Таблица 2*

Среднее содержание катионов (%) в образцах почв пос. Соловецкий

| Объект                   | Период отбора проб | $Ca^{2+}$ | $Mg^{2+}$ | $K^+$ | $Na^+$ |
|--------------------------|--------------------|-----------|-----------|-------|--------|
| Дизельная электростанция | 2017               | 28        | 10        | 34    | 28     |
| Автозаправочная станция  | 2016               | 22        | 8         | 29    | 41     |
| Сухой док                | 2016               | 18        | 5         | 29    | 48     |
|                          | 2017               | 59        | 7         | 33    | 11     |
| Контроль                 | 2017               | 13        | 3         | 52    | 32     |

<sup>12</sup> Публикация из фондов научной библиотеки им. М. Горького СПбГУ

Высокие средние концентрации хлорид-ионов (327 мг/кг) и катионов натрия (371 мг/кг) в почвах сухого дока, очевидно, можно объяснить соседством участка с морским заливом.

Фосфор является важнейшим биогенным элементом, однако увеличение его содержания в почве в результате антропогенного загрязнения отрицательно сказывается на состоянии почвенной биоты. Содержание подвижного фосфора в почвах пос. Соловецкий в среднем составляет 425 мг/кг, уровень обеспеченности (оценивался по принятой шкале экологического нормирования подвижных форм фосфора) очень высокий. Проявляются начальные признаки зафосфачивания территории, что может способствовать накоплению ТМ в почвах за счёт образования малорастворимых фосфатов.

Оптимальное количество аммония в почве колеблется от 10 до 20 мг/кг. В почвах сухого дока среднее содержание ионов аммония составляет 8 (3–12) мг/кг, вокруг ДЭС – около 7,5 (3–19) мг/кг, в контроле же эти значения не превышали погрешности определения. Содержание ионов аммония в почвах вокруг АЗС составило в среднем 44 (от 2 до 178) мг/кг при значительном содержании фосфатов (до 800 мг/кг) и минимальном – нитратов. Поскольку поблизости отсутствуют почвенные площади, используемые для растениеводства, можно предположить, что минеральные формы азота и фосфора поступают в почвы участка в результате процессов минерализации органического вещества. Следует отметить, что именно здесь отмечено максимальное содержание органики (в пересчёте на углерод – до 48 %).

Полученные показатели содержания ТМ и нефтепродуктов были соотнесены с принятыми уровнями загрязнения<sup>13</sup> (табл. 3).

Таблица 3

Показатели уровня загрязнения тяжёлыми металлами и нефтепродуктами в образцах почв пос. Соловецкий

| Элемент, соединение   | Содержание поллютанта (мг/кг), соответствующее категории загрязнения |             |              |              |                    |
|-----------------------|--|-------------|--------------|--------------|--------------------|
|                       | 1<br>допустимое  | 2<br>низкое | 3<br>среднее | 4<br>высокое | 5<br>очень высокое |
| Свинец                | <32  | 32–125      | 125–250      | 250–600      | > 600              |
| Цинк                  | <87  | 87–500      | 500–1500     | 1500–3000    | >3000              |
| Медь                  | <53  | 53–200      | 200–300      | 300–500      | > 500              |
| Кобальт               | <50  | 50–50       | 50–150       | 150–300      | > 300              |
| Никель                | <85  | 85–150      | 150–300      | 300–500      | > 500              |
| Нефть и нефтепродукты | <1000  | 1000–2000   | 2000–3000    | 3000–5000    | >5000              |

Почвы на отдельных ПП имели очень высокий уровень загрязнения ТМ, в первую очередь цинком и свинцом (табл. 4).

<sup>13</sup> Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязнённых земель. Утв. письмом Роскомзема от 27.03.1995 № 3-15/582. М., 1995. 30 с.

Таблица 4

Валовое содержание (медианы) тяжёлых металлов и нефтепродуктов (мг/кг)  
в образцах почв пос. Соловецкий

| Объект                   | Период отбора проб | Pb   | Zn  | Cu | Co | Ni | Нефтепродукты |
|--------------------------|--------------------|------|-----|----|----|----|---------------|
| Дизельная электростанция | 2017               | 21   | 32  | 24 | 5  | 21 | 544           |
| Автозаправочная станция  | 2016               | 20   | 16  | 17 | 3  | 13 | 35            |
| Сухой док                | 2016               | 4580 | 508 | 36 | 3  | 35 | 1074          |
|                          | 2017               | 95   | 125 | 32 | 1  | 30 | 176           |
| Контроль                 | 2017               | 7    | 7   | 31 | 6  | 30 | 69            |

На участке, выбранном в качестве контрольного, в поверхностном горизонте также отмечено небольшое превышение ПДК по этим металлам. Для свинца оно незначительно, в пределах погрешности определения, а для цинка в 1,4 раза. Небольшое загрязнение почв контрольного участка можно объяснить атмосферным переносом этого элемента.

В почвах, отобранных в зоне влияния АЗС, отмечено превышение ПДК<sub>Pb</sub> в 1,3–7,0 раз, что характеризует эти почвы как средне- и высокозагрязнённые. Причиной поступления этого металла можно предположительно считать активное использование в недавнем прошлом этилированного бензина, производство которого в России было прекращено в 2002 г. Почти двукратное превышение содержания свинца в почвах в окрестностях ДЭС предположительно также связано с повышенной транспортной нагрузкой, исходящей от расположенной поблизости автодороги. Показатели превышения ПДК<sub>Zn</sub> в почвах в окрестностях АЗС в 1,2–1,8 раза выходят за пределы погрешности определения, источник загрязнения не установлен.

Наиболее антропогенно нагруженными среди исследованных ПП являются почвы сухого дока, для которых наблюдается полиметаллическое загрязнение различного уровня. В отдельных пробах установлен очень высокий уровень загрязнения по валовому содержанию свинца (300-кратное превышение ПДК), средний – по цинку (11-кратное превышение ПДК), в одной из проб зафиксировано превышение ПДК по меди и никелю при низком уровне загрязнения.

Загрязнение участка нефтепродуктами обусловлено использованием горюче-смазочных материалов для маломерных судов. Периодическое затопление сухого дока может приводить к распространению НП по почвенному покрову этого участка. В 2016 г. содержание НП в поверхностных горизонтах на данном участке оценивалось как среднее (около 2000 мг/кг), в 2017 г. здесь отмечен высокий уровень загрязнения почв в понижениях (до 3000 мкг/кг). На склонах котлована дока содержание нефтепродуктов составило 140–200 мг/кг, а по верхнему горизонту – 44 мг/кг. Содержание НП в районе АЗС было низким и не превышало 180 мг/кг. Вокруг ДЭС случались разливы хранящихся в резервуарах нефтепродуктов (в частности, по данным Росприроднадзора по СЗФО, утечка топлива со склада ГСМ Соловецкой ДЭС произошла 25 апреля 2011 г.), что сказалось на состоянии почв прилегающих территорий. Даже на некотором отдалении (300 м от хранилища)

содержание НП в поверхностном горизонте колеблется от 340 мг/кг (допустимый уровень загрязнения) до 13 340 мг/кг (очень высокий).

В почве контрольного участка содержание нефтепродуктов ниже допустимого уровня загрязнения.

Оценить, насколько уровень загрязнения критичен для поддержания нормального состояния почв, возможно путём исследования их ферментативной активности. Среднее значение активности каталазы для всех исследованных почвенных образцов из пос. Соловецкий составило  $10,6 \pm 0,3$  мг  $\text{H}_2\text{O}_2$  за 1 час на 3 г почвы, при этом в основном наблюдалась тенденция к снижению каталазной активности вниз по почвенному профилю (см. рис. 2). В почвах с высоким содержанием органического вещества ферментативная активность выражена сильнее, поскольку гидролитические процессы при участии инвертазы, фосфатаз и амидаз протекают интенсивнее. Отметим, что подобные результаты получены и в других исследованиях [Bobuska, Fazekasova, Angelovicova, 2015].

Такого рода изменения объясняются рядом обстоятельств: резко изменяется состав почвы (от оторфованного состояния до преобладания песчаной фракции); в верхнем горизонте находится наибольшее количество гумуса, т. е. наблюдается наибольшая интенсивность процессов трансформации органического вещества (для данного фермента ( $n = 44$ ) установлена прямая корреляционная зависимость от содержания органического вещества  $r = 0,36$ ); каталаза в почве синтезируется по большей части аэробными микроорганизмами, численность которых, вероятно, снижается с глубиной в связи с уменьшением содержания кислорода в почве [Забелина, 2014], поэтому для определения влияния загрязнителей на активность каталазы анализировались только поверхностные горизонты почв.

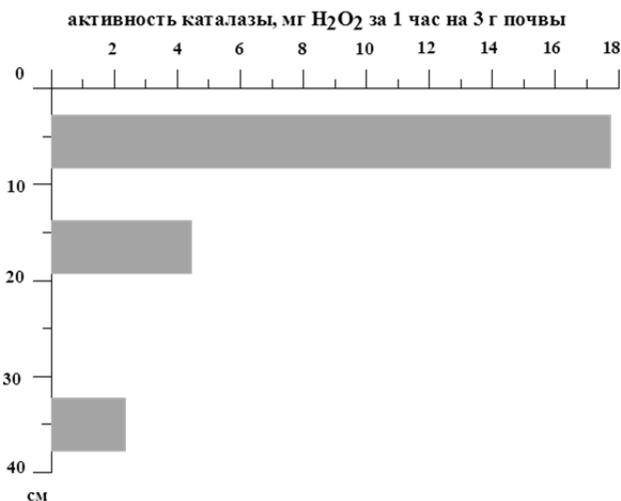


Рис. 2. Изменение активности каталазы на контрольной пробной площади в пос. Соловецкий

Активность каталазы в поверхностном горизонте контрольного образца почвы составила  $19 \pm 1$  мг  $\text{H}_2\text{O}_2$  за 1 час на 3 г почвы. В проводимых ранее исследованиях установлено, что флуктуации естественных абиотических факторов (температуры и влажности) могут приводить к изменению показателя активности каталазы до 30 % [Швакова, Николаева, 2014]. Мы исключили из рассмотрения значения показателя, находящиеся в интервале от 14 до 24 мг  $\text{H}_2\text{O}_2$  за 1 ч на 3 г почвы, считая их нормой. Из проанализированных образцов поверхностной почвы лишь в нескольких было обнаружено явно выраженное отклонение этих значений. Увеличение активности фермента до 29 мг  $\text{H}_2\text{O}_2$  за 1 ч на 3 г почвы относительно контрольного образца в почве с высоким содержанием ТМ, отобранной в сухом доке, можно объяснить активизацией в клетках почвенных микроорганизмов защитных механизмов, сопровождающихся усилением поглощения кислорода и нацеленных на детоксикацию вредных веществ. Биохимические реакции с участием молекулярного кислорода сопровождаются образованием токсичных активных форм кислорода, в том числе пероксида водорода, для утилизации которого синтезируется больше каталазы.

В почвах ПП поблизости от дизельной станции, характеризующихся высоким уровнем загрязнения нефтепродуктами, наоборот, наблюдалось резкое (до 3 единиц) снижение активности фермента. Высокие концентрации этого загрязнителя ухудшают физические свойства почвы, влияют на газовый состав почвенного воздуха из-за образования плёнки на поверхности частиц почвы, оказывают прямое токсическое действие на почвенную микрофлору, нарушая условия протекания ферментативных реакций, что в итоге может привести к снижению ферментативной активности [Киреева, Новоселова, Онегова, 2002; Achuba, Peretiemo-Clarke, 2008].

В почвах прочих ПП наблюдались небольшие отклонения от контрольного значения активности фермента.

Для получения достоверных данных необходимо использовать в качестве контрольных несколько образцов почв, чтобы оценить фоновые значения изучаемого показателя, и проводить мониторинговые исследования сезонных изменений активности каталазы.

### ***Заключение***

В ходе проведённых исследований на территории пос. Соловецкий установлены приоритетные источники антропогенного воздействия на почвы участка (АЗС, ДЭС, сухой док); определены области индивидуального (одним металлом либо нефтепродуктами) и комплексного (ТМ и НП, полиметаллическое) загрязнения, установлены уровни содержания поллютантов в почвах.

Помимо физико-химических показателей определена активность каталазы в отобранных образцах почв. Отмечена наиболее сильная взаимосвязь между этим показателем и изменением гранулометрического состава почв, приводящим к различиям в содержании органического вещества в них. Установлено, что уровень загрязнения почв оказывал влияние на активность

каталазы наряду с естественными факторами. Высокий уровень содержания нефтепродуктов приводит к заметному снижению её активности вследствие изменения условий протекания ферментативных реакций в почве.

Высокое содержание тяжёлых металлов может вызывать увеличение ферментативной активности вследствие срабатывания защитного механизма у микроорганизмов на стресс. Это приводит к усиленному образованию активных форм кислорода, в том числе токсичных (пероксида водорода), за утилизацию которых и отвечает каталаза.

Полученные в ходе исследования данные показали возможность применения активности каталазы для диагностики состояния почв пос. Соловецкий в условиях различных по природе загрязнений.

*Аналитические исследования в ЦКП НО «Арктика» САФУ им. М. В. Ломоносова выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (уникальный идентификатор работ RFMEFI59414X0004).*

### Список литературы

- Абрамян С. А. Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение. 1992. № 7. С. 70–82.
- Ващенко И. М. Практикум по основам сельского хозяйства / И. М. Ващенко, К. П. Ланге, М. П. Меркулов. М. : Просвещение, 1982. 399 с.
- Влияние загрязнения современными пестицидами на биологическую активность чернозема обыкновенного / К. Ш. Казеев, Е. С. Лосева, Л. Г. Боровикова, С. И. Колесников // Агрохимия. 2010. № 11. С. 39–44.
- Забелина О. Н. Оценка экологического состояния почвы городских рекреационных территорий на основании показателей биологической активности (на примере г. Владимира) : дис. ... канд. биол. наук : Владимир : Владимир. гос. ун-т, 2014. 146 с.
- Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. № 6. С. 48–54.
- Киреева Н. А., Новоселова Н. И., Онегова Т. С. Активность каталазы и дегидрогеназы в почвах, загрязненных нефтью и нефтепродуктами // Агрохимия. 2002. № 8. С. 64–72.
- Орешникова Н. В., Востокова Л. Б., Шишкина Н. Г. Особенности почвообразования в условиях северной тайги на островных территориях Белого моря // Лесной вестник. 2001. № 1. С. 99–107.
- Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. М. : Высшая школа, 2002. 334 с.
- Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв / Е. В. Даденко, Т. В. Денисова, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
- Хазиев Ф. Х. Методы почвенной энзимологии. М. : Наука, 2005. 252 с.
- Чилингаров А. Н., Грузинов В. М., Сычев Ю. Ф. Русская Арктика: введение в общую географию. Можайск : Можайский полиграфкомбинат, 2014. 344 с.
- Швакова Э. В., Николаева Е. В. Изменение активности почвенных ферментов в течение вегетационного периода // Экологические проблемы Арктики и северных территорий : сб. науч. тр. Архангельск : Изд-во С(А)ФУ, 2014. Вып. 17. С. 283–285.
- Achuba F. I., Peretiemo-Clarke B. O. Effect of spent engine oil on soil catalase and dehydrogenase activities // Int. Agrophys. 2008. Vol. 22. P. 1–4.
- Bobuska L., Fazekasova D., Angelovicova L. Vertical Profiles of Soil Properties and Microbial Activities in Peatbog Soils in Slovakia // Environ. Process., 2015. Vol. 2. P. 411–418. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0073-7>

Filipek-Mazur B., Tabak M., Gorczyca O. Enzymatic activity of soils exposed to transportation pollutants, located along road No. 957 // *J. Ecol. Engin.*, 2014. Vol. 15. N 4. P. 145–149. <https://doi.org/10.12911/22998993.1125469>

## Impact Assessment of Production Facilities on Soils of the Solovetsky Village (Solovetsky Archipelago, Arkhangelsk Region)

K. V. Titova<sup>1,2</sup>, E. V. Shvakova<sup>1</sup>, L. F. Popova<sup>1</sup>, A. N. Trofimova<sup>1</sup>, S. S. Popov<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation*

<sup>2</sup>*N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research UB RAS, Arkhangelsk, Russian Federation*

**Abstract.** The work presents the results of soil and environmental studies on the Bolshoy Solovetsky Island. The main environmental problems in this territory include the presence and operation of production facilities, discharge of untreated water into the White Sea bays, and non-compliance with the established requirements for the storage of municipal solid waste. In order to assess the anthropogenic impact on soils, 44 samples were taken in the summer of 2016-2017. The study included the determination of both physico-chemical and biological indicators. During the study, the differentiation of the soil profile by granulometric composition was revealed: the upper part is heavier and the lower part is lighter, which affected the change in all indicators. A slightly acidic environment has been established for the soils of the studied areas. The average pH of water for all studied samples was 5.7, varying down the profile from the surface from 4.4 to 5.9. The average organic matter content for all samples was 10 %. Its content in the coarse-humus horizon varied from 20 to 36 %, in the eluvial horizon it decreased to 2-3 %, and in the lower horizons of sandy horizons with various inclusions – up to 1 % and lower. The obtained indicators of the content of heavy metals (HM) and petroleum products (PP) were correlated with the accepted pollution levels. Soils in separate trial areas of TM, primarily zinc and lead, as well as petroleum products. The data obtained showed the presence of influence on the soil of three structures - a gas station and a diesel power station, a dry dock. The average value of catalase activity for all studied soil samples from the Solovetsky village amounted to 10.6±0.3 in the surface horizon of the control soil sample was 19±1 mg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> for 1 hour per 3 g of soil. Eliminating the influence of natural abiotic factors, an increase in enzyme activity to 29 units relative to the control sample in soil with a high content of HM (about 10,000 µg/kg) and a sharp (up to 3 units) decrease in activity in soil with a high level of pollution of PP (13400 µg/kg). According to the results of soil research Solovetsky village showed a very high level of contamination at some PPs and a reliable response to this effect of catalase activity. It has been suggested that it is possible to use the activity of this enzyme as a diagnostic indicator of soil contamination in the Solovetsky village with the above pollutants.

**Keywords:** environmental monitoring, petroleum products, heavy metals, catalase activity, Solovetsky Archipelago.

**For citation:** Titova K.V., Shvakova E.V., Popova L.F., Trofimova A.N., Popov S.S. Impact Assessment of Production Facilities on Soils of the Solovetsky Village (Solovetsky Archipelago, Arkhangelsk Region). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2020, vol. 31, pp. 52-65. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2020.31.52> (in Russian)

### References

Abramyan S.A. Izmeneniye fermentativnoy aktivnosti pochvy pod vliyaniem estestvennykh i antropogennykh faktorov [Changes in the enzymatic activity of the soil under the influence of natural and anthropogenic factors]. *Rus. J. Soil Sci.*, 1992, no. 7, pp. 70-82. (in Russian)

Vashchenko I.M., Lange K.P., Merkulov M.P. *Praktikum po osnovam sel'skogo khozyaystva* [Workshop on the basics of agriculture]. Moscow, Prosveshchenie Publ., 1982, 399 p. (in Russian)

Kazeev K.Sh., Loseva E.S., Borovikova L.G., Kolesnikov S.I. Vliyaniye zagryazneniya sovremennymi pestitsidami na biologicheskuyu aktivnost' chernozema obyknovennogo [Effects of pollution by modern pesticides on the biological activity of common chernozem]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2010, no. 11, pp. 39-44. (in Russian)

Zabelina O.N. *Otsenka ekologicheskogo sostoyaniya pochv gorodskikh rekreatsionnykh territoriy na osnovanii pokazateley biologicheskoy aktivnosti (na primere g. Vladimira)* [Assessment of the ecological condition of urban recreational areas soil on the basis of indicators of biological activity (for example of city of Vladimir): Candidate in Biology dissertation], Vladimir, Vladimir St. Univ. Publ., 2014, 146 p. (in Russian)

Zvyagintsev D.G. Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh yeye pokazateley [Biological activity of soils and scales for evaluating some of its indicators]. *Rus. J. Soil Sci.*, 1978, no. 6, pp. 48-54. (in Russian)

Kireeva N.A., Novoselova N.I., Onegova T.S. Aktivnost' katalazy i degidrogenazy v pochvakh, zagryaznennykh nef'tyu i nefteproduktami [Catalase and dehydrogenase activity in soils polluted by oil and oil products]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2002, no. 8, pp. 64-72. (in Russian)

Oreshnikova N.V., Vostokova L.B., Shishkina N.G. Osobennosti pochvoobrazovaniya v usloviyakh severnoy taygi na ostrovnykh territoriyakh Belogo morya [Features of soil formation in the conditions of the northern taiga in island territories of the White Sea]. *Forest. Bull.*, 2001, no. 1, pp. 99-107. (in Russian)

Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Lozanovskaya I.N. *Ekologiya i okhrana biosfery pri khimicheskoy zagryaznenii* [Ecology and protection of the biosphere during chemical pollution]. Moscow, Vysshaya Shkola Publ., 2002, 334 p. (in Russian)

Dadenko E.V., Denisova T.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Otsenka primenimosti pokazateley fermentativnoy aktivnosti v biodiagnostike i monitoringe pochv [Evaluation of the applicability of enzyme activity indicators in biodiagnostics and soil monitoring]. *Povolzhskiy J. Ecol.*, 2013, no. 4, pp. 385-393. (in Russian)

Khaziev F.Kh. *Metody pochvennoy enzimologii* [Methods of soil enzymology]. Moscow, Nauka Publ., 2005, 252 p. (in Russian)

Chilingarov A.N., Gruzinov V.M., Sychev Yu.F. *Russkaya Arktika: vvedeniye v obshchuyu geografiyu* [Russian Arctic: introduction to general geography]. Mozhaisk, Mozhaisk Print. Fact., 2014, 344 p. (in Russian)

Shvakova E. V., Nikolaeva E. V. Izmeneniye aktivnosti pochvennykh fermentov v tehnicheskoy vegetatsionnoy perioda [Changes in the activity of soil enzymes during the growing season]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territorii* [Ecological problems of the Arctic and northern territories: Coll. Sci. Pap.]. Arkhangel'sk, North. Fed. Univ. Publ., 2014, is. 17, pp. 283-285. (in Russian)

Achuba F.I., Peretiemo-Clarke B.O. Effect of spent engine oil on soil catalase and dehydrogenase activities. *Int. Agrophys.*, 2008, vol. 22, pp. 1-4.

Bobuska L., Fazekasova D., Angelovicova L. Vertical Profiles of Soil Properties and Microbial Activities in Peatbog Soils in Slovakia. *Environ. Process.*, 2015, vol. 2, pp. 411-418. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0073-7>

Filipek-Mazur B., Tabak M., Gorczyca O. Enzymatic activity of soils exposed to transportation pollutants, located along road No. 957. *J. Ecol. Engin.*, 2014, vol. 15, no. 4, pp. 145-149. <https://doi.org/10.12911/22998993.112546>

*Титова Ксения Владимировна*  
кандидат географических наук  
Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М. В. Ломоносова  
Россия, 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17  
научный сотрудник  
Федеральный исследовательский центр  
комплексного изучения Арктики  
им. академика Лаверова УрО РАН  
Россия, 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 23  
e-mail: ksyu\_sev@mail.ru

*Швакова Элла Валерьевна*  
кандидат педагогических наук, доцент  
Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М. В. Ломоносова  
Россия, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17  
e-mail: e.shvakova@narfu.ru

*Попова Людмила Федоровна*  
доктор биологических наук, кандидат  
химических наук, профессор  
Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М. В. Ломоносова  
Россия, 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17  
e-mail: lf.popova@narfu.ru

*Трофимова Анна Николаевна*  
аспирант  
Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М. В. Ломоносова  
Россия, 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17  
e-mail: AnanasAny@yandex.ru

*Попов Сергей Сергеевич*  
аспирант  
Северный (Арктический) федеральный  
университет имени М. В. Ломоносова  
Россия, 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 17  
младший научный сотрудник  
Федеральный исследовательский центр  
комплексного изучения Арктики  
им. академика Лаверова УрО РАН  
Россия, 163002, г. Архангельск,  
наб. Северной Двины, 23  
e-mail: sergey.sergeevich20@gmail.com

*Titova Kseniya Vladimirovna*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Northern (Arctic) Federal University named  
after M. V. Lomonosov  
17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
Research Scientist  
N. Laverov Federal Center for Integrated  
Arctic Research UB RAS  
23, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
e-mail: ksyu\_sev@mail.ru

*Shvakova Ella Valeryevna*  
Candidate of Sciences (Pedagogics), Associate  
Professor  
Northern (Arctic) Federal University named  
after M. V. Lomonosov  
17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
e-mail: e.shvakova@narfu.ru

*Lyudmila Fedorovna Popova*  
Doctor of Sciences (Biology), Candidate of  
Sciences (Chemistry), Professor  
Northern (Arctic) Federal University named  
after M. V. Lomonosov  
17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
e-mail: lf.popova@narfu.ru

*Trofimova Anna Nikolaevna*  
Postgraduate  
Northern (Arctic) Federal University named  
after M.V. Lomonosov  
17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
e-mail: AnanasAny@yandex.ru

*Popov Sergey Sergeevich*  
Postgraduate  
Northern (Arctic) Federal University named  
after M. V. Lomonosov  
17, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
Junior Research Scientist  
N. Laverov Federal Center for Integrated Arc-  
tic Research UB RAS  
23, Northern Dvina emb., Arkhangelsk,  
163002, Russian Federation  
e-mail: sergey.sergeevich20@gmail.com

**Дата поступления:** 08.05.2019

**Received:** May, 08, 2019