

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 574.24; 574.472; 574.474

DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-90-102

ИНДИКАЦИЯ СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ В УСЛОВИЯХ
НЕФТЕПРОМЫСЛОВОГО ТЕХНОГЕНЕЗА**Сергей Алексеевич Бузмаков**

ORCID ID: 0000-0002-5144-0714, SPIN-код: 8537-9627

e-mail: lep@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь***Юлия Владимировна Хотяновская**

ORCID: 0000-0002-7172-778X, SPIN-код: 3021-9540

e-mail: 79082412863@yandex.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь***Дмитрий Николаевич Андреев**

SCOPUS ID: 56073550300, ORCID: 0000-0002-1115-9557, SPIN-код: 7308-7293,

e-mail: andreev@psu.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь***Дарья Олеговна Егорова**

SCOPUS ID: 36622279600, ORCID: 0000-0001-8018-4687, SPIN-код: 9450-7883

e-mail: daryao@rambler.ru

*Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь***Алексей Владимирович Назаров**

ORCID: 0000-0003-4753-4061, ResearcherID: B-2734-2014, SPIN-код: 8545-1868

e-mail: nazarov@iegm.ru

Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

Рассматривается индикация влияния комплексного нефтепромыслового воздействия на наземные экосистемы. Установлено, что растительный покров на большей части исследуемой территории мало деградирован, за исключением локальных участков с высоким содержанием нефтяных углеводородов. Анализ физиологического состояния растений выявил высокий адаптационный потенциал видов растений, произрастающих на данной территории. В микробоценозе в значительной степени представлены нефтеокисляющие микроорганизмы ($5,0 \pm 0,1 \times 10^7$ КОЕ/г почвы), а также обнаружены галофильные бактерии ($2,0 - 71,0 \pm 0,2 \times 10^5$ КОЕ/г почвы). Определена прямая зависимость индекса соотношения нефтеокисляющих и гетеротрофных бактерий от концентрации нефтяного загрязнения (коэффициент корреляции 0,948), при этом значение индекса соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов составило 0,01–0,86.

Ключевые слова: экосистема, индикация, нефтепромысловое воздействие, фитоценоз, микробоценоз, адаптация, деградация.

INDICATION OF THE STATUS OF ECOSYSTEMS IN THE CONDITIONS
OF OILFIELD TECHNOGENESIS**Sergey A. Buzmakov**

ORCID ID: 0000-0002-5144-0714, SPIN-code: 8537-9627

e-mail: lep@psu.ru

*Perm State University, Perm***Yuliya V. Khotyanovskaya**

ORCID: 0000-0002-7172-778X, SPIN- code: 3021-9540

e-mail: 79082412863@yandex.ru

Perm State University, Perm

Dmitrii N. Andreev

SCOPUS ID: 56073550300, ORCID: 0000-0002-1115-9557, SPIN- code: 7308-7293,

e-mail: andreev@psu.ru

*Perm State University, Perm***Darya O. Egorova**

SCOPUS ID: 36622279600, ORCID: 0000-0001-8018-4687, SPIN- code: 9450-7883

e-mail: daryao@rambler.ru

*Perm State University, Perm***Alexei V. Nazarov**

ORCID: 0000-0003-4753-4061, ResearcherID: B-2734-2014, SPIN- code: 8545-1868

e-mail: nazarov@iegm.ru

Perm State University, Perm

The paper considers indication of the complex oil field impact on terrestrial ecosystems. It has been established that the vegetation cover in most of the area under study is not degraded, except for local areas with a high content of petroleum hydrocarbons. Analysis of the physiological state of plants revealed a high adaptive potential of plant species growing in the given territory. Microbiocenosis is largely represented by oil-oxidizing microorganisms ($5.0 \pm 0.1 \times 10^7$ CFU / g soil); halophilic bacteria were also detected ($2.0-71.0 \pm 0.2 \times 10^5$ CFU / g soil). A direct correlation between the ratio of oil-oxidizing and heterotrophic bacteria and the concentration of oil contamination was established, with the index values being 0.3-0.8.

Key words: ecosystem, indication, oil fields impact, phytocenosis, microbial community, adaptation, degradation.

Введение

Нефтепромысловое воздействие на растительный и микробный компоненты биогеоценозов может оказывать как прямое, так и опосредованное влияние. Прямое влияние выражается в токсическом эффекте на растительные и микробные клетки, изменении проницаемости клеточных мембран, увеличении количества мутаций и т.п. Опосредованное действие обусловлено снижением доступного кислорода и воды в почве, сорбции нефтяных углеводородов на почвенных частицах, связыванием гумусового слоя. В связи с этим фито- и микробиоценозы почвенных экосистем первыми реагируют на нефтяное загрязнение [1; 2; 6].

Следует учитывать, что состояние биогеоценоза в целом зависит от состояния растительного и микробного компонентов, так как они являются основой для его функционирования. Анализ растительного покрова, физиологических и биохимических процессов у растений, экологотрофических групп почвенных микроорганизмов позволяет оценить глубину и силу воздействия нефтезагрязнения на биогеоценоз в исследуемом районе, а также степень трансформации природных экосистем данной территории [11].

Загрязняющие почву нефтепродукты ухудшают водный режим и физические свойства почв, резко снижают содержание подвижных соединений азота и фосфора, вызывают разрушение хлорофиллов и каротиноидов, оказывают токсическое действие на рост растений [5]. Наряду с этим выявлено защитное действие антоцианов от различных стрессовых факторов [18]. Антоцианы – особая группа водорастворимых пигментов фенольной природы, встречающихся у высших растений, обычно они определяют цвет лепестков цветков, плодов и осенних листьев и придают им фиолетовую, синюю, розовую, коричневую, красную, желтую окраски [16; 17]. Антоцианы выполняют в растениях широкий спектр функций, включая привлечение опылителей, защиту от действия различных стрессовых факторов, таких как низкие положительные температуры, засуха, засоление, избыточная инсоляция и т.д. [15–17]. В работе [19] показано накопление антоцианов растениями в качестве адаптации к воздействию на них различных поллютантов. Накопление антоцианов связано с механизмом защиты ими фотосинтетического аппарата растительного организма от обширного окислительного повреждения [20; 21], вследствие чего антоцианы также называют «пигментами стресса» [15]. Увеличение антоцианов в листьях растений отмечается и в условиях нефтяного загрязнения почвы [13].

Цель данного исследования – проанализировать состояние растительного и микробного компонентов долины реки как индикатора техногенного воздействия.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в Ординском районе Пермского края. Область питания рек района, испытывающих нефтепромысловое воздействие, расположена в пределах карстовых массивов на территории горного отвода месторождения нефти, которое находится в 28 км юго-западнее г. Кунгура. Оно открыто в 1961 г., эксплуатируется с 1965 г., степень выработки запасов составляет 44%.

Для исследования были выбраны 16 пробных площадок (далее – ПП) (таблица). Геоботаническое описание растительных сообществ выполняли по стандартным методикам [10]. Проективное покрытие растений учитывали с использованием шкалы Браун-Бланке [14].

В качестве основных критериев экологической оценки состояния растительного покрова принимаются следующие: учет обилия и соотношения в сообществах аборигенных и синантропных видов; жизненное состояние видов в локальных популяциях. Оценку степени деградации наземных экосистем производили согласно шкале [3], где степень деградации экосистем и их компонентов характеризуется шестью ступенями: 0 – недеградированные, фоновое, естественное состояние, воздействия отсутствуют; 1 – очень слабодеградированные, изменения экосистем и воздействия незначительные; 2 – слабодеградированные, экосистемы явно изменены и подвергались воздействиям; 3 – среднедеградированные, экосистемы явно подвергались существенным изменениям и воздействиям; 4 – сильнодеградированные, экосистемы радикально изменены; 5 – очень сильнодеградированные, экосистемы существенно нарушены, естественное восстановление крайне затруднено.

Концентрацию пигментов измеряли у гравилата речного (*Geum rivale* L.), крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.), сныти обыкновенной (*Aegopodium podagraria* L.), иван-чая узколистного (*Chamerion angustifolium* L.). Данные виды наиболее часто встречались на исследованных участках.

Определение антоцианов проводили по методике, описанной Д.А. Муравьевой [9]. Концентрацию антоцианов рассчитывалась по формуле

$$X = \frac{D \times 250 \times 100}{453 \times m \times (100 - W)},$$

где D – оптическая плотность исследуемого раствора; 453 – удельный показатель поглощения цианидин-3,5-дигликозид в 1%-ном растворе хлористо-водородной кислоты; m – масса сырья в граммах; W – потеря в массе при высушивании сырья в процентах.

Определения содержания хлорофилла a и b и каротиноидов в листьях растений производились по методике [12]. Концентрация пигментов рассчитывалась по Хольму-Веттштейну:

$$C_{\text{хл.а}} = 9,784D_{662} - 0,990D_{644};$$

$$C_{\text{хл.б}} = 21,426D_{644} - 4,650D_{662};$$

$$C_{\text{хл.а+хл.б}} = 5,134D_{662} + 20,436D_{644};$$

$$C_{\text{кар}} = 4,695D_{440,5} - 0,268C_{\text{хл.а+хл.б}},$$

где $C_{\text{хл.б}}$, $C_{\text{хл.а}}$, $C_{\text{хл.а+хл.б}}$ и $C_{\text{кар}}$ – соответственно концентрации хлорофиллов a, b их суммы и каротиноидов, мг/л б; D – экспериментально полученные величины оптической плотности при соответствующих длинах волн. Концентрация пигментов приведена в мг на г сухой массы листьев растений.

Присутствие микроорганизмов основных эколого-трофических групп определяли в образцах воды и почвы, отобранных на территории исследуемого района.

Определение количества клеток производили высевом на плотные питательные среды. В основе метода лежит принцип Коха, согласно которому каждая колония является потомством одной клетки. Разведения образцов воды готовят в стерильной минеральной среде К1 с коэффициентом разведения 10. Стерильную среду разливают по 9 мл в стерильные пробирки. Затем в первую пробирку вносят 1 мл исследуемого образца воды или 1 г образца почвы. Полученное разведение тщательно перемешивают и далее последовательно переносят по 1 мл. Было приготовлено 5 разведений проб воды и 9 разведений проб почвы.

Суспензию (0,1 мл) высевали поверхностным способом на агаризованную среду, соответствующую исследуемой эколого-трофической группе. Высев производили из всех разведений в трехкратной повторности. После посева чашки культивировали при +22°C (термостат ТС-1/80 СПУ, Россия).

Подсчет колоний производили через 14 суток инкубации, не открывая чашки Петри [4]. Количество клеток в 1 мл исследуемого образца вычисляли по формуле $M = a \times 10^n / V$, где M –

количество клеток в 1 мл, a – среднее число колоний, выросших после посева из данного разведения, V – объем суспензии, взятый для посева, мл, 10^n – коэффициент разведения.

Для микробиологического анализа готовили объединенный образец почвы, смешивая образцы всех повторностей одного варианта опыта. Посев проводили в 5-кратной повторности, инкубировали в течение 2 недель при 27 °С (термостат ТС-1/80 СПУ, Россия). Численность бактерий выражали в количестве колониобразующих единиц (КОЕ) на 1 г почвы.

Результаты и их обсуждение

Высшие растения, являясь ключевым компонентом в наземных экосистемах, характеризуются высокой чувствительностью к нефтяному загрязнению.

Среди исследованных площадок только на фоновом участке не отмечено деградиционных изменений в растительном покрове (таблица, рис. 1). Растительное сообщество является типичным для логов и пойм рек и представлено крупнотравным травянистым сообществом растений с доминированием крапивы двудомной (*Urtica dioica*), таволги вязолистной (*Filipendula ulmaria*), иванчаем узколистым (*Chamerion angustifolium*), вейником тростниковидным (*Calamagrostis arundinacea*), снытью обыкновенной (*Aegopodium podagraria*) (таблица).

Как показало геоботаническое обследование, на большинстве изученных площадок выявлено относительно небольшое воздействие нефтепромыслового загрязнения на видовой состав растительных сообществ, а также отмечено невысокое повреждающее действие нефтяного загрязнения на растительность. Степень деградации растительного покрова на девяти из пятнадцати площадок равна 1 (таблица). Перечень доминирующих видов отличается от фонового участка незначительно, а синантропные виды, которые внедряются в фитоценозы при гибели и угнетении аборигенных видов растений, представлены единичными особями либо отсутствуют в двудомнокрапивно-таволговом биотопе (ПП5). Стоит отметить, что на некоторых биотопах (ПП2, ПП3, ПП4, ПП11) один из синантропных видов – бодяк полевой (*Cirsium arvense*) входит в число преобладающих в фитоценозе видов.

Наибольшее воздействие нефтяное загрязнение оказало на растительный покров в двудомнокрапивно-таволговом биотопе (ПП10) и двудомнокрапивно-снытевом (ПП15). Степень деградации растительного покрова – 5 (таблица). Общее проективное покрытие составляет 1%, все деревья ели сибирской (*Picea obovata*) погибли. Содержание нефтепродуктов на данных участках превышает 9 г/кг почвы.

Растительные сообщества снытево-таволгового (ПП2) и бодяково-мать-и-мачехового (ПП3) биотопов оказались более устойчивыми к действию нефтяного загрязнения. Содержание нефти на данных участках оценивается в пределах 7.5 – 10.6 г/кг почвы, также в составе нефти в данном районе присутствуют серные фракции. Однако степень деградации растительного сообщества по результатам геоботанического исследования оценивается как 2–3, что согласуется с экспоненциальными моделями, предложенными Д.Н. Липатовым и А.В. Елисеевой [8]. Объяснить данное явление только составом растительного компонента экосистемы очень затруднительно. Вероятно, присутствуют экологические факторы, повышающие устойчивость растений к негативному воздействию нефти.

Полученные результаты по анализу содержания антоцианов в надземной части растений на исследуемой территории показали, что количество антоцианов у крапивы превышает фоновое значение на всех пробных площадках, за исключением таволгово-гравилатного биотопа (ПП7) (рис. 2а).

Показано, что у гравилата и сныти также в большинстве случаев отмечается повышение количества антоцианов (рис. 2б, 2в), однако прямой корреляции между содержанием нефти в почве и количеством антоцианов в надземной части исследованных растений не выявлено. Кроме того, для всех исследованных растений установлено отклонение от фоновых значений содержания хлорофиллов а и б и каратиноидов (рис. 2).

При этом изменения носили разнонаправленный характер. Проведенный анализ не выявил корреляционных зависимостей между концентрацией нефти на пробных площадках и отклонением концентраций пигментов от фона.

Геоботаническое описание растительности на исследуемой территории

Биотоп	Название преобладающего сообщества в биотопе	Кол-во видов	Доминирующий вид	Проективное покрытие, %	Доля синантропных видов в проективном покрытии	Степень деградации
ПП0	Бодяково-гравилатное (родник)	33	Бодяк разнолистный, гравилат речной, крапива двудомная, таволга вязолистная	60 (сообщество)	Единичные особи	1
ПП1	Снытево-бодяковое (родник)	23	Сныть обыкновенная, бодяк огородный, таволга вязолистная, крапива двудомная	60 (сообщество)	Единичные особи	1
ПП2	Снытево-таволговое (родник)	11	Сныть обыкновенная, таволга вязолистная, бодяк полевой, крапива двудомная	30 (группировка)	5	2
ПП3	Бодяково-мать-и-мачеховое (родник)	29	Бодяк полевой, мать-и-мачеха обыкновенная, таволга вязолистная, крапива двудомная	40 (группировка)	30	3
ПП4	Мать-и-мачехово-бодяковое	36	Мать-и-мачеха обыкновенная, бодяк полевой, крапива двудомная	40 (группировка)	30	3
ПП5	Двудомнокрапивно-таволговое	22	Крапива двудомная, таволга вязолистная, климациум древовидный, мним, плеврониум Шребера	30 (группировка)	Синантропные виды отсутствуют	1
ПП6	Таволгово-двудомнокрапивное (озеро)	31	Таволга вязолистная, крапива двудомная	80 (сообщество)	Единичные особи	1
ПП7	Таволгово-гравилатное (ручей)	25	Таволга вязолистная, гравилат речной, двуклосточник тростниковидный, крапива двудомная	60 (сообщество)	Единичные особи	1
ПП8	Двудомнокрапивно-таволговое (фоновый участок)	36	Крапива двудомная, таволга вязолистная, иван-чай узколистный, вейник тростниковый, сныть обыкновенная	60 (сообщество)	Синантропные виды отсутствуют	0
ПП9	Таволгово-двудомнокрапивное (трубопровод)	23	Таволга вязолистная, крапива двудомная, луговик дернистый	40 (группировка)	Единичные особи	1
ПП10	Двудомнокрапивно-таволговое (пещера)	11	Крапива двудомная, таволга вязолистная, бодяк полевой, бодяк огородный	1 (группировка)	Синантропные виды отсутствуют	5
ПП11	Двудомнокрапивно-таволговое (родник)	39	Крапива двудомная, таволга вязолистная, тодик полевой, тодик огородный	70 (сообщество)	15	2
ПП12	Таволгово-двуклосточниковое (родник)	19	Таволга вязолистная, двуклосточник тростниковидный, крапива двудомная	70 (сообщество)	Единичные особи	2
ПП13	Снытево-осоковое (выход реки)	32	Сныть обыкновенная, осока носиковая, тростник обыкновенный, крапива двудомная, таволга вязолистная	40 (группировка)	Единичные особи	1
ПП14	Двудомнокрапивно-снытевое (верховье оврага)	21	Крапива двудомная, сныть обыкновенная, иван-чай узколистный, гравилат речной, ежа сборная, таволга вязолистная	80 (сообщество)	Единичные особи	1
ПП15	Двудомнокрапивно-снытевое (карстовая воронка)	6	Крапива двудомная, сныть обыкновенная, таволга вязолистная, климациум древовидный, мним, плеврониум Шребера	1 (группировка)	Единичные особи	5

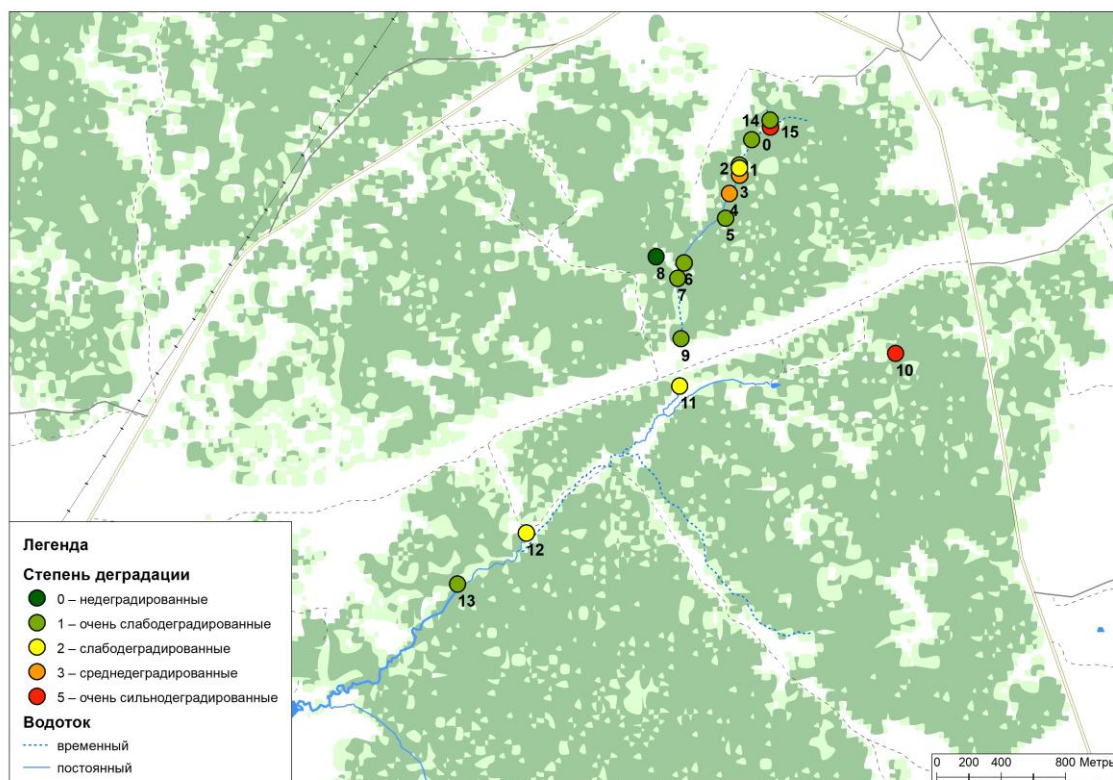


Рис. 1. Состояние растительности на пробных площадках

Таким образом, в целом нефтяное загрязнение оказало небольшое отрицательное влияние на концентрацию хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений, произрастающих на исследованных участках, что обусловлено, во-первых, высокой устойчивостью растений, произрастающих в прибрежных условиях, к нефтяному загрязнению, во-вторых, в большинстве случаев, невысокой концентрацией нефти в почвах.

Большее влияние нефтяного загрязнения на концентрацию антоцианов в листьях растений, чем на содержание хлорофиллов и каротиноидов, свидетельствует о высокой способности растений к адаптации к нефтяному загрязнению в прибрежных условиях, так как антоцианы защищают растения от действия различных стрессовых факторов.

Состояние микробного сообщества почв района исследования проанализировано на основании численности основных эколого-трофических групп микроорганизмов.

При проведении анализа учитывали три эколого-трофические группы микроорганизмов: гетеротрофы – микроорганизмы, использующие для питания органические вещества в естественных условиях окружающей среды; галофилы – гетеротрофные бактерии, способные разлагать органические соединения в присутствии высоких концентраций солей в почве или воде; нефтедеструкторы – гетеротрофные микроорганизмы, обладающие ферментативными системами разложения компонентов нефти, развиваются преимущественно в условиях нефтяного загрязнения среды.

Проведенные исследования выявили присутствие галофильных микроорганизмов в микробоценозе исследуемых почв. В образцах почв с пробных площадок, характеризующихся повышенным содержанием нефти, количество галофильных микроорганизмов варьировало от $2,0 \pm 0,3 \times 10^5$ КОЕ/г почвы до $7,1 \pm 0,1 \times 10^6$ КОЕ/г почвы (рис. 3). Коэффициент корреляции между количеством галофильных микроорганизмов и уровнем нефтяного загрязнения почвы составил – 0,921.

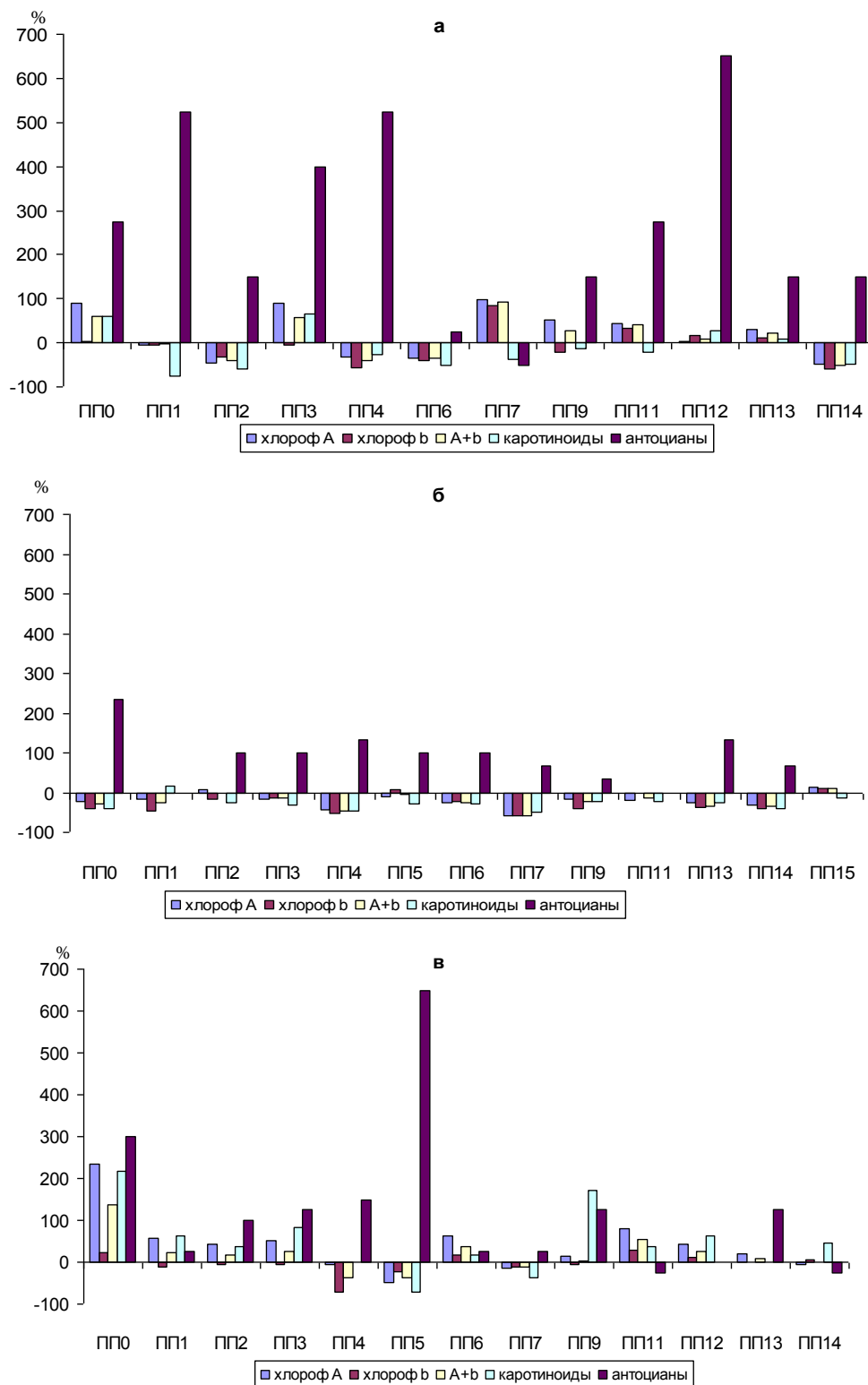


Рис. 2. Отклонение от фонового содержания пигментов в надземной части растений:
а – крапива, б – гравилат, в – snyty

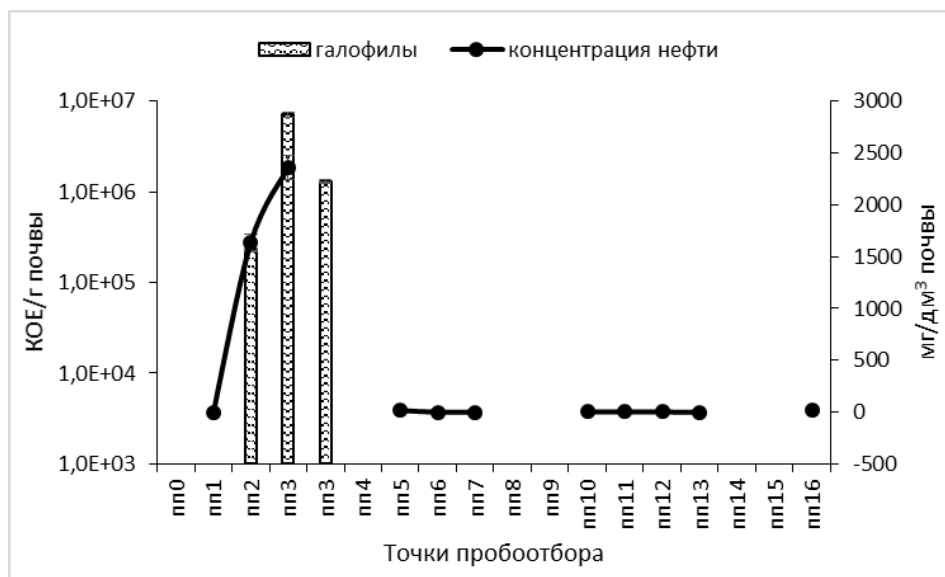


Рис. 3. Количество галофильных микроорганизмов в почвенном микробиоценозе исследуемого района

Фоновый уровень гетеротрофных микроорганизмов сопоставим с данным показателем для чистых почв соответствующего географического подразделения и составляет $5,4 \pm 0,4 \times 10^7$ КОЕ/г почвы (рис. 4) [7]. В целом в районе исследования численность данной группы микроорганизмов ниже фонового уровня. Исключение составляют снытево-таволговый (ПП2), бодяково-мать-и-мачеховый (ПП3), двудомнокрапивно-таволговый (ПП5, ПП10) и таволгово-двудомнокрапивный (ПП9) биотопы. Четыре участка связаны с выходом загрязненных вод (концентрация нефти составляла для ПП2 – 1640 мг/дм³, для ПП3 – 2360 мг/дм³, для ПП5 – 16,6 мг/дм³ и для ПП10 – 3,04 мг/дм³), которые, вероятно, являются дополнительным источником органического вещества для микроорганизмов. Достоверной корреляции между численностью гетеротрофных микроорганизмов и уровнем загрязненности нефтью участка пробоотбора не выявлено.

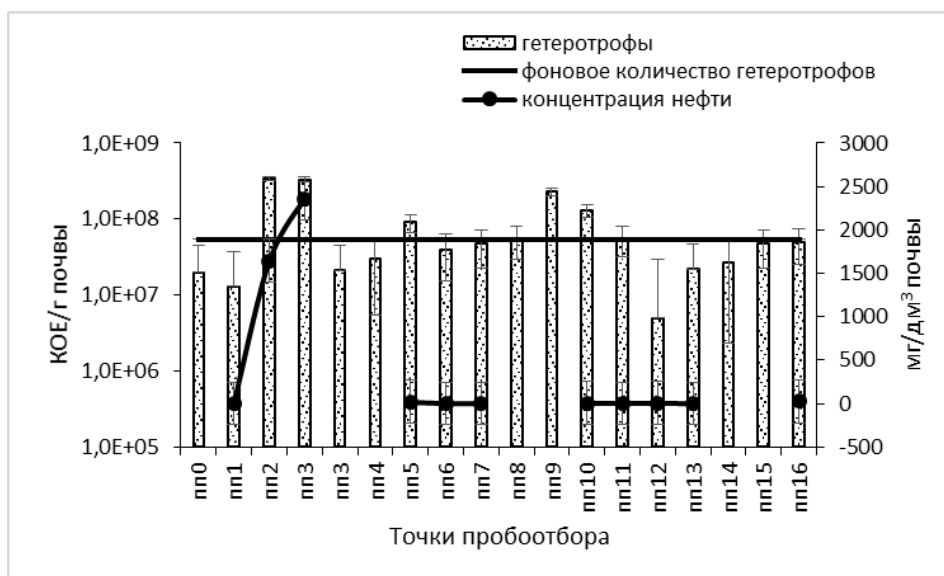


Рис. 4. Количество гетеротрофных микроорганизмов в почвенном микробиоценозе исследуемого района

Иная картина проявляется при анализе численности нефтеокисляющих микроорганизмов (рис. 5). Фоновый уровень данной эколого-трофической группы составляет $1,4 \pm 0,9 \times 10^6$ КОЕ/г почвы. Практически во всех образцах почвы обнаружено превышение фоновых показателей по количеству нефтеокисляющих микроорганизмов. Наиболее высокие показатели отмечены для снытево-таволгового (ПП2) и бодяково-мать-и-мачехового (ПП3) биотопов. На этих же участках зафиксирована наибольшая концентрация углеводородов нефти. Ниже фонового уровня количество

нефтеокисляющих микроорганизмов установлено в мать-и-мачехово-бодяковом (ПП4) и таволгово-двуклосточниковом (ПП12) биотопах, а также вблизи выхода загрязненных вод одной из рек проблемного участка (ПП16). Коэффициент корреляции между количеством нефтеокисляющих микроорганизмов и выявленным уровнем нефтяного загрязнения составил 0,917.

Наиболее информативным для анализа зависимости состояния микробиоценоза от уровня загрязненности нефтью является индекс соотношения нефтеокисляющих и гетеротрофных микроорганизмов (рис. 6). В точках отбора ПП2 и ПП3 количественное соотношение в микробиоценозе почвы сдвинуто в пользу нефтеокисляющей группы микроорганизмов. Анализ индекса соотношения эколого-трофических групп микроорганизмов и концентрации нефти в исследуемых биотопах выявил высокий уровень корреляции (коэффициент корреляции 0,948).

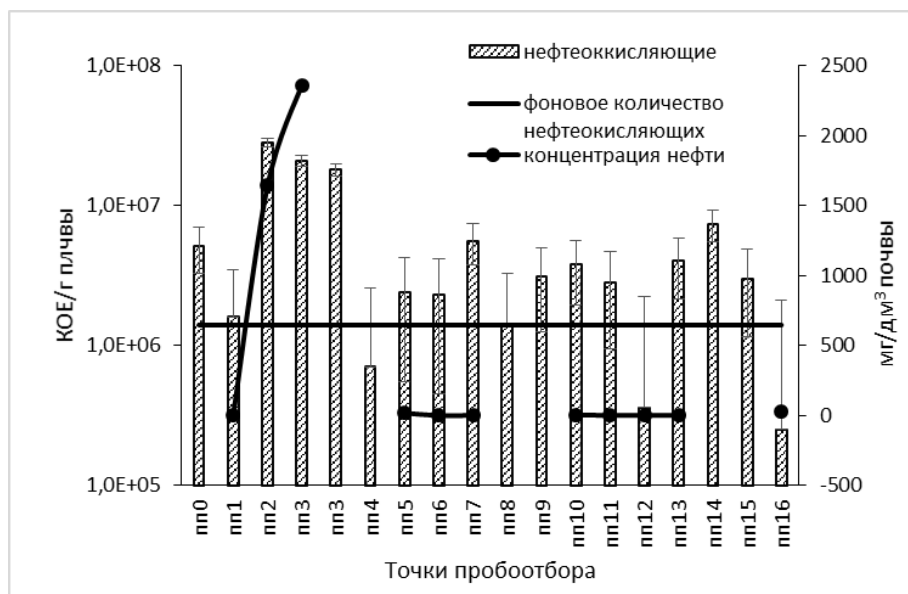


Рис. 5. Количество нефтеокисляющих микроорганизмов в почвенном микробиоценозе исследуемого района

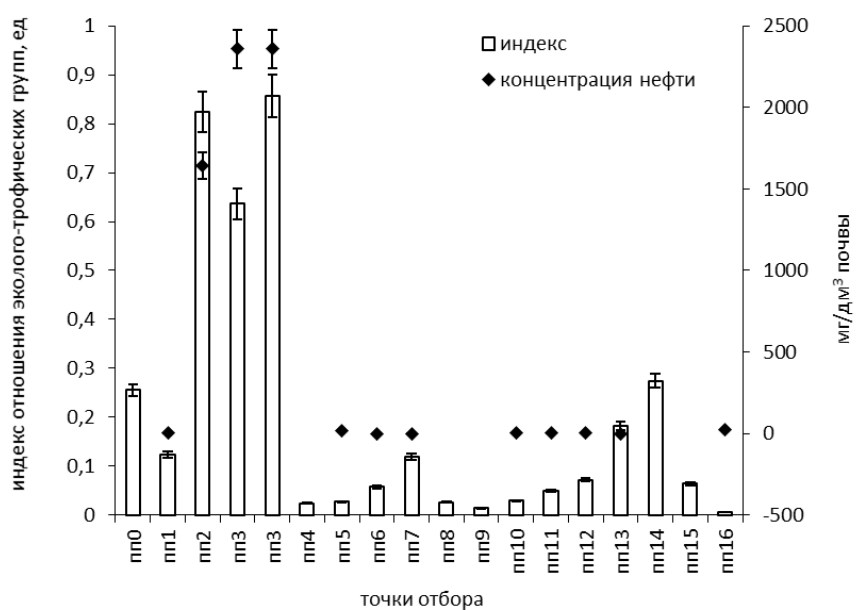


Рис. 6. Индекс соотношения эколого-трофических групп в исследуемых биотопах

Заключение

Анализируя полученные результаты исследования растительного и микробного компонентов, можно сделать вывод, что долина реки преимущественно занята высокотравным травянистым сообществом, в составе которого преобладают следующие виды: крапива двудомная, сныть обыкновенная, таволга вязолистная, гравилат речной. Обнаружено, что в целом нефтяное загрязнение оказало небольшое отрицательное влияние на концентрацию хлорофиллов и каротиноидов в листьях растений, произрастающих на исследованных участках, что обусловлено, во-первых, в большинстве случаев, вероятно, невысокой концентрацией нефти в почвах, во-вторых, высокой устойчивостью растений, произрастающих в прибрежных условиях, к нефтяному загрязнению.

Выявлено большее воздействие нефтяного загрязнения на концентрацию антоцианов в листьях растений, чем на содержание хлорофиллов и каротиноидов, что свидетельствует о высокой способности растений к адаптации к нефтяному загрязнению в прибрежных условиях.

Микробиоценоз адаптирован к присутствию нефтяных углеводородов. Установлена прямая зависимость значения индекса соотношения нефтеокисляющих и гетеротрофных микроорганизмов от концентрации нефти в почве.

Таким образом, состояние растительного и микробного компонентов наземной экосистемы района исследования свидетельствует о влиянии нефтяных углеводородов на отдельные компоненты биоценоза, а также о наличии активных адаптационных механизмов, направленных на выживание фито- и микробиоценозов под давлением постоянного нефтепромышленного воздействия.

Библиографический список

1. Бузмаков С.А., Егорова Д.О., Гатина Е.Л. Доза-эффект нефтезагрязнения почв на биотический компонент экосистем // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. №2. С. 217–229. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229.
2. Бузмаков С.А., Кулакова С.А. Природно-техногенные экосистемы на территории нефтяных месторождений (на примере Пермского края) // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2011. №1. С. 39–44.
3. Бузмаков С.А., Овеснов С.А., Шепель А.И., Зайцев А.А. Методические указания: «Экологическая оценка состояния особо охраняемых природных территорий регионального значения» // Географический вестник. 2011. №2. С. 49–59.
4. Веслополова Е.Ф. Микрометод определения численности колониеобразующих микроорганизмов // Микробиология. 1995. Т. 64. №2. С. 279–284.
5. Голодяев Т.П., Иванов Г.И. Биохимическая очистка почв прибрежной зоны юга Дальнего Востока от нефтепродуктов. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 37 с.
6. Губайдуллин М.Г., Калашников А.В., Колосов Д.Ф., Бурков Д.В. Оценка воздействия нефтегазовых объектов на почвы и растительность юго-восточной части большеземельской тундры. Архангельск, 2017. 188 с.
7. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения. М.: Владос, 2001. 320 с.
8. Липатов Д.Н., Елисеева А.В. Регрессионные модели для оценки воздействия нефтяного загрязнения почв на растения Северного Сахалина // Теоретическая и прикладная экология. 2016. №1. С. 20–26.
9. Муравьева Д.А., Бубенчикова В.Н., Беликов В.В. Спектрофотометрическое определение суммы антоцианов в цветах василька синего // Фармакология. 1987. №5. С. 28–29.
10. Овеснов С.А., Ефимик Е.Г. Биоразнообразие и экология высших растений: учеб. пособие по учебной практике. Пермь, 2009. 129 с.
11. Соромотин А.В. Воздействие добычи нефти на таежные экосистемы Западной Сибири. Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2010. 320 с.
12. Третьяков Н.Н., Карнаухова Т.В., Паничкин Л.А. и др. Практикум по физиологии растений / под общей ред. Н.Н. Третьякова. М.: Агропромиздат, 1990. 271 с.
13. Чупахина Г.Н., Масленников П.В. Адаптация растений к нефтяному стрессу // Экология. 2004. №5. С. 330–335.
14. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3Aufl. Wien-New York: Springer Verlag, 1964. 865 p. DOI: 10.1007/978-3-7091-8110-2.
15. Chalker-Scott L. Environmental Significance of Anthocyanins in Plant Stress Responses // Photochem. Photobiol. 1999. V. 70. P. 1–9. DOI: org/10.1111/j.1751-1097.1999.tb01944.x.

16. Gould K., Davies K., Winefield C. Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 340 p.
17. Hatier J.-H.B., Gould K.S. Anthocyanin Function in Vegetative Organs // Anthocyanins. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 1–19. DOI: 10.1007/978-0-387-77335-3_1.
18. Hoch W.A., Zeldin E.L., McCown B.H. Physiological significance of anthocyanin during autumnal leaf senescence // Tree Physiology. 2001. V. 21. №1. P. 1-8. DOI: 10.1093/treephys/21.1.1.
19. Lavola A., Julkunen-Tiitto R., Paakkonen E. Does ozone stress change the primary or secondary metabolites of birch (*Betula pendula* Roth)? // New Phytol. 1994. V. 126. №4. P. 637–642. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1994.tb02959.x.
20. Yamasaki H. A Function of Colour // Trends in plant Science. 1997. V. 2. P. 7–8. DOI: 10.1016/S1360-1385(97)90060-0.
21. Yamasaki B., Uefuji H., Sakihama Y. Bleaching of the red anthocyanin induced by superoxide radical // Arch. Biochem. Biophys. 1996. V. 332. P. 183–186. DOI: 10.1006/abbi.1996.0331.

References

1. Buzmakov S.A., Egorova D.O., Gatina E.L. The dose-effect of oil pollution of soils on the biotic component of ecosystems. RUDN Journal of Ecology and Life Safety, 2017. №25 (2). P. 217–229 [in Russian].
2. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-2-217-229.
3. Buzmakov S.A., Kulakova S.A. Natural-technogenic ecosystems at the territories of oil production (by the Perm region experience) // Environmental protection in the oil and gas sector. 2011. №1. P.39-44 [in Russian].
4. Buzmakov S.A., Ovesnov S.A., Shepel A.I., Zaytsev A.A. Methodical instructions «Environmental assessment of especially protected natural territories of regional importance» // Geographical bulletin. 2011. №2. P. 49-59 [in Russian].
5. Veslopolova, E.F., Micromethod for Enumeration of Colony-Forming Microorganisms, Mikrobiologiya, 1995, vol. 64, no. 2, pp. 279–284 [in Russian].
6. Golodyaev T.P., Ivanov G.I. Biochemical purification of soils of the coastal zone of the south of the Far East from petroleum products. Vladivostok: Far Eastern Branch of the Academy of Sciences of the USSR, 1988. 37 p. [in Russian].
7. Gubaidullin M.G., Kalashnikov A.V., Kolosov D.F., Burkov D.V. Integrated assessment of the impact on the tundra soil and vegetation at oil and gas development in the southeast of the Bolshezemelskaya tundra. Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, 2017, 188 p. [in Russian].
8. Dobrovolskiy V.V. Soil geography with the basics of soil science. M.: Publishing House Vldos, 2001. 320 p. [in Russian].
9. Lipatov D.N., Eliseyeva A.V. Regression models for assessment of the impact of soil contamination with oil on plants of northern Sakhalin // Theoretical and Applied Ecology. 2016. № 1. P. 20-26 [in Russian].
10. Muraveva D.A., Bubenchikova V.N., Belikov V.V. Spectrophotometric determination of the sum of anthocyanins in the colors of cornflower blue // Pharmacology. 1987. №5. P. 28-29 [in Russian].
11. Ovesnov S.A., Efimik E.G. Biodiversity and ecology of higher plants: textbook on teaching practice. Perm State University. Perm, 2009. 129 p. [in Russian].
12. Soromotin, A.V. Impact of oil production on the taiga ecosystem of Western Siberia]. Tyumen, 2010. 320 p. [in Russian].
13. Tretyakov N.N., Karnaukhova T.V., Panichkin L.A. Workshop on Plant Physiology. Moscow: Agropromizdat. 1990. 271 p. [in Russian].
14. Chupakhina G.N., Maslennikov P.V. Plant adaptation to oil stress // Ecology. 2004. № 5. P. 330–335. [in Russian].
15. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzuge der Vegetationskunde. 3Aufl. Wien-New York: Springer Verlag, 1964. 865 p. DOI: 10.1007/978-3-7091-8110-2.
16. Chalker-Scott L. Environmental Significance of Anthocyanins in Plant Stress Responses // Photochem. Photobiol. 1999. V. 70. P. 1-9. DOI: org/10.1111/j.1751-1097.1999.tb01944.x.
17. Gould K., Davies K., Winefield C. Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. 340 p.
18. Hatier J.-H.B., Gould K.S. Anthocyanin Function in Vegetative Organs // Anthocyanins. Heidelberg: Springer-Verlag, 2009. P. 1-19. DOI: 10.1007/978-0-387-77335-3_1.

19. Hoch W.A., Zeldin E.L., McCown B.H. Physiological significance of anthocyanin during autumnal leaf senescence // *Tree Physiology*. 2001. V. 21. № 1. P. 1-8. DOI: 10.1093/treephys/21.1.1.

20. Lavola A., Julkunen-Tiitto R., Paakkonen E. Does ozone stress change the primary or secondary metabolites of birch (*Betula pendula* Roth)? // *New Phytol.* 1994. V. 126. №4. P. 637–642. DOI: 10.1111/j.14698137.1994.tb02959.x.

21. Yamasaki H. A Function of Colour // *Trends in plant Science*. 1997. V. 2. P. 7–8. DOI: 10.1016/S1360-1385(97)90060-0.

22. Yamasaki B., Uefuji H., Sakihama Y. Bleaching of the red anthocyanin induced by superoxide radical // *Arch. Biochem. Biophys.* 1996. V. 332. P. 183-186. DOI: 10.1006/abbi.1996.0331.

Поступила в редакцию: 26.10.2018

Сведения об авторах

Бузмаков Сергей Алексеевич

доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: lep@psu.ru

Хотяновская Юлия Владимировна аспирант, ассистент кафедры биогеоценологии и охраны природы, инженер лаборатории экологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: 79082412863@yandex.ru

Андреев Дмитрий Николаевич

кандидат географических наук, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы, заведующий лабораторией экологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: andreew@psu.ru

Егорова Дарья Олеговна

кандидат биологических наук, доцент кафедры биогеоценологии и охраны природы, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: daryao@rambler.ru

Назаров Алексей Владимирович

кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и генетики растений, Пермский государственный национальный исследовательский университет; Россия, 614990, Пермь, ул. Букирева, 15

e-mail: nazarov@iegm.ru

About the authors

Sergey A. Buzmakov

Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of the Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Yuliya V. Khotyanovskaya

Postgraduate Student, Assistant in the Department of Biogeocenology and Nature Protection, Engineer in the Laboratory of Ecology and Nature Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Dmitrii N. Andreev

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Laboratory of Ecology and Nature Protection, Associate Professor, Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Darya O. Egorova

Candidate of Geographical Sciences, Head of the Laboratory of Ecology and Nature Protection, Associate Professor, Department of Biogeocenology and Nature Protection, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Alexei V. Nazarov

Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Department of Botany and Plant Genetics, Perm State University; 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russia

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Бузмаков С.А., Хотяновская Ю.В., Андреев Д.Н., Егорова Д.О., Назаров А.В. Индикация состояния экосистем в условиях нефтепромыслового техногенеза // Географический вестник = Geographical bulletin. 2018. №4(47). С. 90–102. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-90-102

Please cite this article in English as:

Buzmakov S.A., Khotyanovskaya Yu.V., Andreev D.N., Egorova D.O., Nazarov A.V. Indication of the status of ecosystems in the conditions of oilfield technogenesis // Geographical bulletin. 2018. №4(47). P. 90–102. doi 10.17072/2079-7877-2018-4-90-102

УДК 504.055 (470.43-21)

DOI 10.17072/2079-7877-2018-4-102-109

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ДИАПАЗОНА ЧАСТОТ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГОРОДА КАЗАНИ**Владимир Ицхакович Стурман**

SPIN-код: 5129-3160

e-mail: st@izh.com; stv031055@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций имени проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург

Выполнено исследование пространственного распределения показателей напряженности электрических полей и магнитной индукции в центральной части г. Казани. Установлено, что напряженность электрических полей достигает значимых величин только вблизи воздушных высоковольтных линий, а превышения гигиенических нормативов за пределами их охранных зон не выявлены. Превышения допустимых уровней магнитной индукции также не отмечены, но в пределах городской территории её величины изменяются в широких пределах, что отражено на составленной карте. К особенностям планировки и застройки центральной части г. Казани, сказавшимся на результатах исследования, относятся широкое распространение среди исторического центра зданий построенных в последние годы, а также реконструированных, а кроме того, значительная доля парков, скверов и площадей. Поэтому распределение показателей магнитной индукции отличается высокой контрастностью. Наибольшие значения магнитной индукции приурочены к территориям исторической застройки, не подвергавшейся реконструкции, и спортивным объектам. Повышенные значения электромагнитной индукции на территории исторической застройки отражают несоответствие нагрузок, создаваемых современной бытовой и иной техникой, и старой электропроводки. В отдельных точках отмечены аномальные значения, объясняемые влиянием кабелей подземной прокладки.

Ключевые слова: электрические поля, магнитные поля, напряженность, магнитная индукция, картографирование электромагнитных полей, Казань.

MAPPING OF ELECTROMAGNETIC FIELDS OF INDUSTRIAL FREQUENCIES IN THE CENTRAL AREA OF KAZAN CITY**Vladimir I. Sturman**

SPIN-code: 5129-3160

e-mail: st@izh.com; stv031055@mail.ru

The Bonch-Bruевич Sain-Petersburg State University of Telecommunications, St. Petersburg

A spatial distribution of indicators of electric field intensity and magnetic induction in the central area of Kazan City has been studied. It was established that intensity of electric fields reaches significant magnitudes only near overhead high-voltage transmission lines; no excess of hygienic specifications outside guard zones of the lines was revealed. Magnetic induction over admissible levels was not observed; however, within the territory of the city, its values change largely, which is represented on the original map. The features of the