

Изучение физиологических особенностей растений в условиях захоронения нефтепродуктов под слоем почвы

© 2025. Т. А. Трифонова^{1,2}, д. б. н., профессор,
Ю. Н. Курбатов¹, аспирант,

¹Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых,
600000, Россия, г. Владимир, ул. Горького, д. 87,

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12,
e-mail: tatrifon@mail.ru, iur.curbatov@gmail.com

В лабораторных условиях смоделирована ситуация незаконного захоронения нефтепродуктов, засыпанных слоем почвы. Исследовано влияние резервуара с отработанным маслом на физиологическое состояние растений трёх семейств: Бобовые (*Trifolium pratense* L.), Крестоцветные (*Sinapis alba* L.), Злаковые (*Avena sativa* L.). Выявлено отрицательное влияние данного загрязнения на фитомассу, всхожесть и энергию прорастания. Растения продемонстрировали различный адаптационный потенциал к воздействию поллютанта. Исследовано содержание фотосинтетических пигментов листа растений. Установлено, что их ассимиляционный аппарат реагирует на загрязнитель неоднозначно. Клевер показал высокие адаптационные возможности к загрязнению почвы нефтепродуктами в концентрациях 10 и 20 г/кг, горчица лучше переносит повышенные загрязнения (20 и 40 г/кг). Растения овса в начале эксперимента испытывали стимулирующее воздействие со стороны поллютанта, что выражалось в быстром наборе фитомассы, высоких показателях всхожести и энергии прорастания, однако затем этот эффект сменился резким увяданием, сопровождавшимся разрушением ассимиляционных пигментов (при дозах отработанного масла 10 и 20 г/кг). Однако в варианте с дозой 40 г/кг продолжалось стимулирующее влияние загрязнителя: отмечалось увеличение концентрации хлорофилла *b* и каротиноидов по сравнению с контролем.

Ключевые слова: фитомасса, всхожесть, энергия прорастания, фотосинтетические пигменты, нефтепродукты, загрязнение.

The study of the physiological characteristics of plants in the conditions of petroleum products disposal under the soil layer

© 2025. T. A. Trifonova^{1,2} ORCID: 0000-0002-1628-9430^{*}
Yu. N. Kurbatov¹ ORCID: 0000-0002-0904-3854^{*}

¹Vladimir State University,
87, Gorkogo St., Vladimir, Russia, 600000,

²Lomonosov Moscow State University,

1, Leninskiye gory, Moscow, Russia, 119991,

e-mail: tatrifon@mail.ru, iur.curbatov@gmail.com

The illegal disposal of petroleum products under the soil layer was simulated in laboratory conditions. The samples of medium loamy urban soil were studied. We study the effect of the tank with waste oil on the physiological state of plants of three families: Legumes (*Trifolium pratense* L.), Cruciferous (*Sinapis alba* L.), and Cereals (*Avena sativa* L.). Wild plants were selected for the experiment. This allows us to assess the effect of the illegal dumping of petroleum products into the natural environment on plants physiological state. We reveal the negative effect of this pollution on phytomass, germination rate and germination energy. Plants showed different adaptive potential to the pollutant effect. The content of photosynthetic pigments in plant leaves was studied. We found that plants' assimilation apparatus reacts ambiguously to the pollutant. The clover showed high adaptive capacity to soil contamination with petroleum products at concentrations of 10 and 20 g/kg. Mustard better tolerates increased contamination (20 and 40 g/kg). At the beginning of the experiment, oat plants experienced a stimulating effect, expressed in a rapid increase in phytomass, high rates of germination and germination energy. Later this effect was replaced by a sharp wilting, accompanied by the destruction of assimilation pigments (at 10 and 20 g/kg doses of waste oil). However, in the variant with a 40 g/kg dose, the stimulating effect of the pollutant continued: there was an increase in chlorophyll *b* and carotenoids content compared to the control.

Keywords: phytomass, germination rate, germination energy, photosynthetic pigments, petroleum products, pollution.

Проблема утилизации нефти и продуктов её переработки, в частности отработанного масла, является особенно актуальной во всём мире. Согласно оценкам зарубежных исследователей, на планете ежегодно производится около 40 млн т моторных масел, из них образуется впоследствии около 60% отработанных масел [1]. Из этого количества менее 45% доступны для сбора, переработки и регенерации, а оставшиеся 55% утилизируются нелегальным образом, в том числе сбрасываются на почву или в водоёмы [2]. В связи с этим создаётся опасность возникновения незаконного захоронения нефтепродуктов (НП), что приводит к необходимости исследования влияния данного явления на живые организмы, в частности растения.

В настоящее время активно изучается влияние нефтяного загрязнения на развитие высших растений различных классов и семейств [3–6], исследуются особенности развития растений на рекультивированных нефтезагрязнённых почвах [7], оценивается воздействие со стороны поллютанта на их фотосинтетическую активность и пигментный аппарат [8–10], изучается фиторемедиационный потенциал растений к очистке почв, загрязнённых отработанным маслом [11]. Однако преимущественно исследуются варианты поступления нефтяных углеводородов на поверхностный слой почвы или их распространение в газообразном состоянии. Ситуация с захоронением резервуара с НП под слоем почвы практически не рассматривается учёными.

В связи с этим, целью данного исследования является изучение в условиях лабораторного моделирования физиологических особенностей растений, произрастающих на территории незаконного захоронения нефтепродуктов, засыпанных слоем почвы.

Объекты и методы исследования

В работе представлены данные лабораторного эксперимента, моделирующего несанкционированные захоронения НП с последующим их засыпанием слоем почвы. В этих условиях оценивалось влияние поллютанта на физиологическое состояние растений 3 семейств: Бобовые (*Trifolium pratense* L.), Крестоцветные (*Sinapis alba* L.), Злаковые (*Avena sativa* L.). Растения, выбранные для эксперимента, являются дикорастущими, что позволяет оценить влияние на их физиологическое состояние ситуации возникновения

незаконного захоронения НП в естественной природной среде. Кроме того, для них характерны различные типы корневых систем – стержневая и мочковатая; данные особенности могут оказывать непосредственное влияние на жизнедеятельность растений при воздействии поллютанта из глубины почвы.

Исследования проводились на почвенных образцах среднесуглинистого урбанозёма, содержание гумуса – 3,32%, $pH_{\text{водн}}$ – 7,7, pH_{KCl} – 7,3. Отбор почвы производился с глубины 0–20 см по ГОСТ Р 58595-2019. Водородный показатель солевой и водной вытяжек почв определяли согласно ГОСТ 26423-85.

В качестве поллютанта использовали отработанное машинное масло для автотракторных дизелей марки М-8ДМ, изготовленное по ГОСТ 8581-78. Исследование углеводородного состава отработанного масла было произведено методом инфракрасной спектроскопии на ИК-Фурье спектрометре «ИнфРАЛЮМ ФТ-08» по ПУ 03-2002 «Инструкция по проведению и идентификации нефтепродуктов с помощью ИК Фурье-спектрометра «ИнфРАЛЮМ ФТ-02». Согласно результатам ИК-спектроскопии, углеводородный состав отработанных масел представлен (в %): алканы – 87,36; арены – 6,73; нафены – 4,73; окисленные вещества – 1,18.

Опыты с каждой культурой растений закладывали в двух повторностях – на дно двухлитровых контейнеров площадью 0,02 м² приливали дозы отработанного масла из расчёта 10, 20 и 40 г/кг почвы соответственно. На слой НП насыпали 1 кг почвы, которая равномерно пропитывалась поллютантом на дне контейнера. Таким образом, верхний слой почвы в контейнере оставался незагрязнённым, и туда высевались семена культур в соответствии с нормами высева на обрабатываемую площадь (количество семян на площадку: клевер – 25 ед., овёс и горчица – по 15 ед.) Аналогичным образом были подготовлены контрольные контейнеры для каждой культуры – без добавления поллютанта. Эксперимент длился 60 дней, по истечении которых верхняя часть растений срезалась и подвергалась исследованиям.

Надземную фитомассу оценивали в сыром виде гравиметрическим методом. Всхожесть и энергию прорастания семян исследуемых растений рассчитывали по ГОСТ 12038-84. Определение пигментного состава сырой биомассы растений, а именно хлорофилла *a* (X_{l_a}), хлорофилла *b* (X_{l_b}) и каротиноидов (K), производили спектрофотометрическим

методом на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ. Содержание пигментов оценивали по оптическим плотностям при длинах волн, соответствующих максимумам их поглощения: для $X_{л_a}$ – 663 нм, $X_{л_b}$ – 644 нм, K – 452,5 нм. В качестве экстрагента использовали 85%-ный раствор ацетона, расчёт концентрации ассимиляционных пигментов производили по уравнениям 1–4 Реббелена [12]:

$$C_a = 10,3 \times D_{663} - 0,918 \times D_{644}, \quad (1)$$

$$C_b = 19,7 \times D_{644} - 3,87 \times D_{663}, \quad (2)$$

$$C_a + C_b = 6,4 \times D_{663} + 18,8 \times D_{644}, \quad (3)$$

$$C_k = 4,75 \times D_{452,5} - 0,226 \times C_{a+b}, \quad (4)$$

где C_a, C_b, C_k – концентрации хлорофиллов a, b и каротиноидов соответственно, мг/дм³; $D_{663}, D_{644}, D_{452,5}$ – оптические плотности вытяжек пигментов при длинах волн, соответствующих их максимальному поглощению.

Для пересчёта содержания фотосинтетических пигментов на сырую массу использовали массу навесок сырых листьев и объём полученного фильтрата пигментов. Содержание пигментов представлено в мг/г сырой фитомассы.

Статистическую обработку данных проводили в программе STATISTICA. Для определения достоверности различий между выборками использовали непараметрический U-критерий Манна-Уитни при уровне

значимости $p < 0,05$. На рисунках приведены значения стандартных погрешностей.

Результаты и обсуждение

На начальном этапе исследования с целью оценки влияния загрязнения почвы НП на рост и развитие растений была оценена их фитомасса в сыром состоянии. Результаты взвешивания представлены на рисунке 1.

Из рисунка 1 видно, что концентрации НП 10, 20 и 40 г/кг почвы приводят к уменьшению массы надземной части растений клевера относительно контрольных значений соответственно на 25, 17 и 39%. Это явление, кроме непосредственного отрицательного влияния НП, может также объясняться низкими показателями всхожести растений клевера на загрязнённой почве, о чём пойдет речь ниже. Ростки горчицы так же показывают обратную связь с увеличением дозы НП уменьшается их фитомасса (до 44–58% относительно контроля при разных дозах НП). Масса надземной части овса посевного прямо пропорциональна дозе внесённого поллютанта: с увеличением концентрации НП в почве происходит увеличение фитомассы в диапазоне 7,7–40% в сравнении с контрольными растениями.

Обнаруженные закономерности могут объясняться особенностями корневой системы

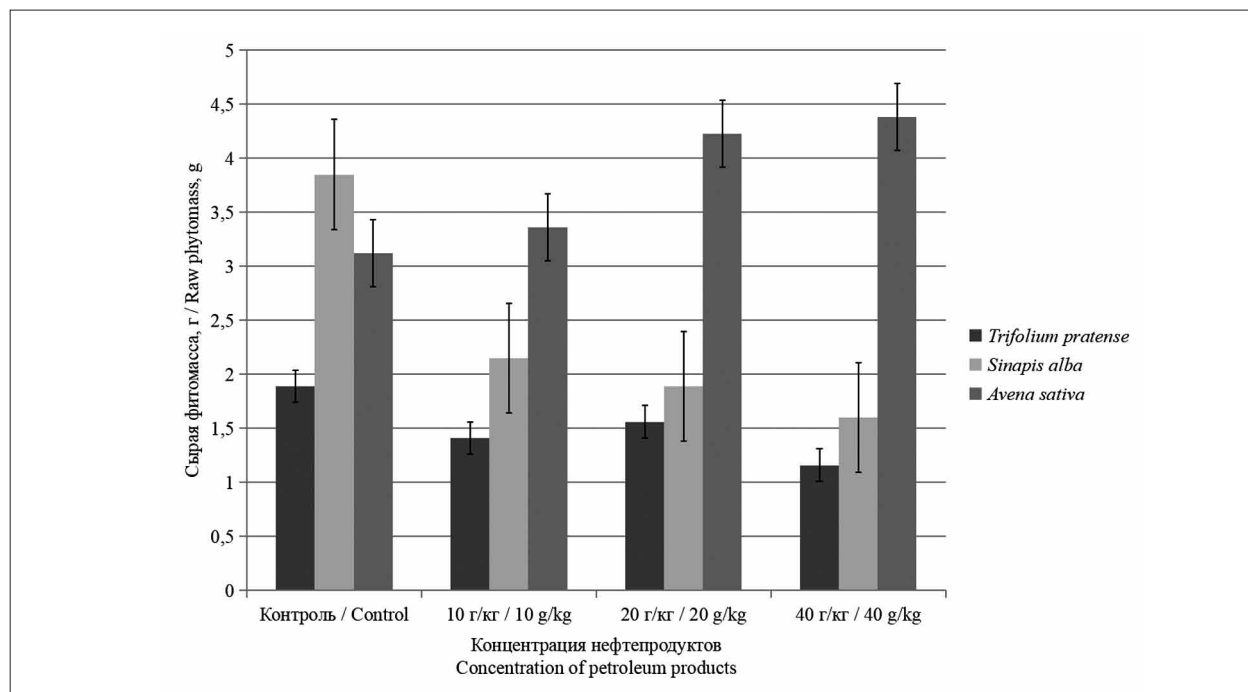


Рис. 1. Фитомасса растений, собранная с контрольных и опытных участков спустя 2 месяца с начала эксперимента (с указанием стандартных погрешностей)

Fig. 1. Plant phytomass in control and experimental plots 2 months after the start of the experiment (indicating standard errors)

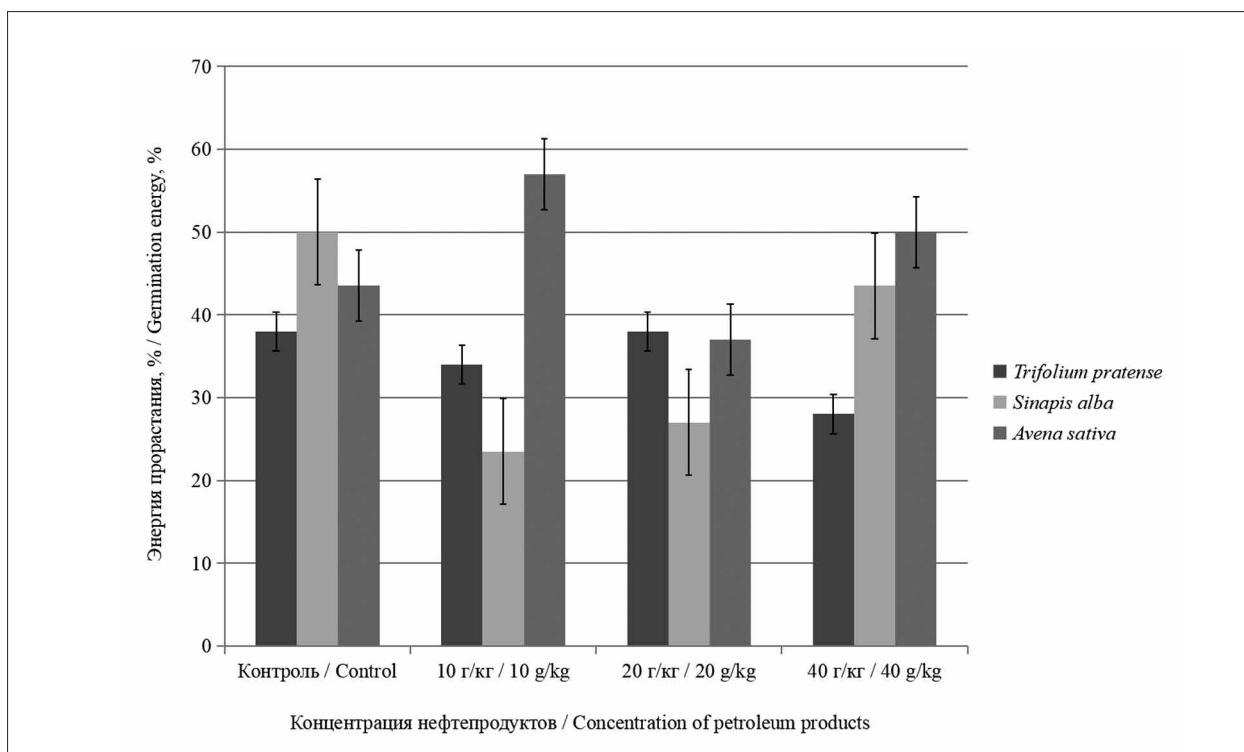


Рис. 2. Энергия прорастания семян, произрастающих на почве с разными дозами нефтепродуктов (с указанием стандартных погрешностей)
Fig. 2. Seed germination energy at different content of petroleum products in soil (indicating standard errors)

изучаемых растительных организмов. Клевер и горчица относятся к классу Двудольные и имеют стержневую корневую систему, которая в условиях эксперимента могла достигать вглубь контейнера зоны расположения НП, что в конечном итоге приводило к уменьшению минерального и водного питания растений вследствие гидрофобных свойств, которые приобретают почвенные частицы под влиянием отработанного масла. Подробные выводы были сделаны исследователями в работах [13–15]. В публикации [16] авторами также было отмечено снижение фитомассы гороха (сем. Бобовые), с увеличением концентрации НП в почве выше 1 г/кг. В работе [7] отмечается торможение роста растений гороха в почве с концентрацией НП 11,7 г/кг почвы и выше с тенденцией увеличения токсического эффекта к концу эксперимента, длившегося в течение 44 суток.

Овёс посевной относится к однодольным, и для него характерна мочковатая корневая система, которая в условиях данного эксперимента располагалась преимущественно в поверхностном слое почвы и не достигала глубины залегания НП, то есть растения не испытывали непосредственного негативного влияния со стороны поллютанта на начальной стадии эксперимента. Однако к окончанию

эксперимента растения, произрастающие на площадках с дозами НП 10 и 20 г/кг почвы, начали активно увядать, о чём можно судить по данным спектрофотометрического анализа их ассимиляционного аппарата, представленным ниже. Начальный стимулирующий эффект в отношении растений овса может объясняться косвенным воздействием со стороны НП. Известно, что низкомолекулярные углеводороды, образующиеся в ходе разложения НП, способны усваиваться растениями, и с помощью капиллярных сил могут достигать прикорневой зоны и использоваться ими в ходе дальнейших физиологических превращений с целью получения энергии, что подтверждается данными некоторых авторов [17].

С целью оценки быстроты и дружности всходов исследуемых растений была подсчитана энергия их прорастания. Результаты исследований показаны на рисунке 2.

Согласно данным, представленным на рисунке 2, энергия прорастания семян на контрольных участках для всех растений имеет средние показатели (38–50%). Для клевера на опытных площадках характерно уменьшение энергии прорастания по сравнению с контролем на 4–8%. Для горчицы наблюдается существенное ингибирование

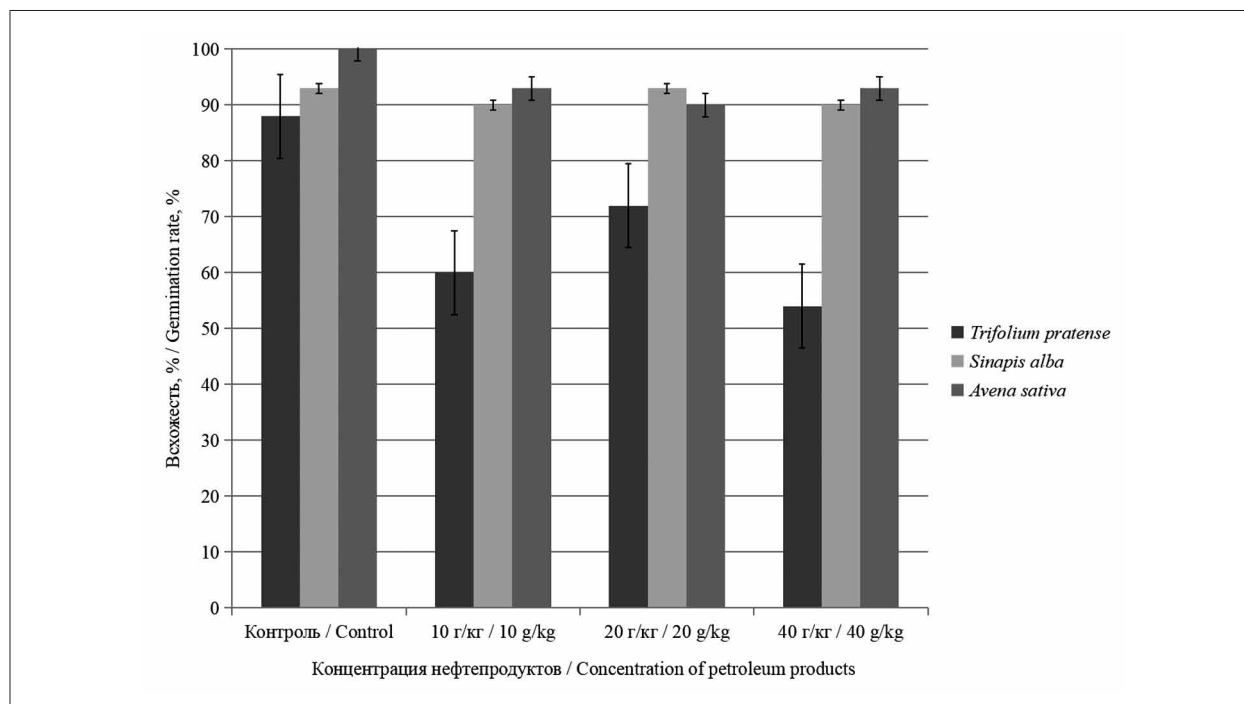


Рис. 3. Всхожесть семян, выявленная для трёх культур при разных дозах НП в почве (с указанием стандартных погрешностей)
Fig. 3. Seed germination rate at different content of petroleum products in soil (indicating standard errors)

скорости прорастания семян в условиях загрязнения почвы НП (показатель ниже контроля на 6,0–26,5%). Для овса характерно увеличение энергии прорастания при дозах НП 10 и 40 г/кг почвы на 13,5 и 6,5% соответственно и незначительное ингибирование скорости прорастания при средней дозе – 20 г/кг (меньше контроля на 6,5%). В целом, наличие НП в почве оказывает на семена овса стимулирующее воздействие. Такой эффект может объясняться наличием в отработанном масле окисленных структур, представляющих собой нефтяные кислоты (согласно данным ИК-спектроскопии, их количество составляет 1,18%). Нефтяные кислоты могут выступать стимуляторами роста на стадии прорастания семян, что подтверждается исследованиями некоторых авторов [18].

В ходе эксперимента была определена всхожесть семян исследуемых растений. Результаты исследования отражены на рисунке 3.

При анализе данных, представленных на рисунке 3, видно, что все растения контроля имели высокие показатели всхожести (88–100%). Для опытных вариантов всхожесть 90% и выше показали семена горчицы и овса. По-видимому, НП, заключённые на дне контейнера, на этапе прорастания не оказали сильного отрицательного влияния на семена данных растений, несмотря на неоднозначные

результаты по их энергии прорастания. Семена клевера показали тенденцию к уменьшению всхожести в условиях эксперимента, что также коррелирует с данными по энергии прорастания. Вероятно, это связано с наличием в отработанном масле токсичных фракций углеводов или летучих и водорастворимых продуктов их расщепления, которые могут проникать в семена клевера через почвенные поры. Согласно данным, полученным методом ИК-спектроскопии, в отработанном масле, использованном нами в качестве поллютанта, было обнаружено высокое содержание ароматических углеводов – 6,73%. Известно, что в процессах разложения НП важную роль выполняет в том числе фотохимическое разложение [19]. Контейнеры, использованные нами в ходе опыта, были прозрачные и могли пропускать УФ-излучение, способствующее разложению ПАУ, входящих в состав отработанного масла, таких как бенз[а]пирен (БП) [20]. Конечные продукты разложения БП являются низкомолекулярными, растворимыми в воде веществами, которые могут по капиллярам почвы достигать зоны залегания семян и поглощаться ими, что может приводить к уменьшению жизнеспособности семян и ингибированию их всхожести [19].

Процесс фотосинтеза является чрезвычайно чувствительным по отношению к на-

личию в окружающей среде загрязняющих веществ [21]. Поэтому с целью оценки физиологического состояния растений в условиях загрязнения почвы НП был исследован их фотосинтетический аппарат – содержание хлорофиллов *a* и *b*, а также каротиноидов, обеспечивающих в том числе антиоксидантную защитную функцию растений [9]. Результаты анализа представлены на рисунках 4–6.

Исходя из данных рисунка 4, можно заключить, что на фотосинтетический аппарат клевера оказывается стимулирующее воздействие со стороны поллютанта при низких и средних его концентрациях и ингибирующее – при высоких. Так, при дозах НП 10 и 20 г/кг почвы наблюдается увеличение концентрации Хл_{*a*} на 31 и 89%, Хл_{*b*} – на 26 и 135%, К – на 35 и 91% соответственно. Прямая зависимость между этими параметрами доказывает высокие адаптационные возможности клевера к данной степени загрязнения почвы, что подтверждается данными исследователей [22]. Высокая доза НП (40 г/кг) оказывает ингибирующее влияние, о чём говорит снижение концентраций пигментов относительно контроля (Хл_{*a*} до 15%, Хл_{*b*} – до 17%, К – до 12%). В целом, по степени адаптации ассимиляционного аппарата к воздействию НП клевер показывает устойчивость к загрязнению до 20 г/кг почвы, более

высокие дозы (до 40 г/кг и выше) оказывают ингибирующее воздействие на синтез фотосинтетических пигментов.

На рисунке 5 показано, что в случае с дозой НП 10 г/кг почвы содержание Хл_{*a*}, Хл_{*b*} и К в горчице белой уменьшилось на 41, 45 и 38% соответственно. Дозы НП 20 и 40 г/кг способствовали формированию у растений горчицы более мощного ассимиляционного аппарата. Для первого случая отмечается увеличение Хл_{*a*} в 1,3 раза, Хл_{*b*} в 2,4 раза и К в 1,4 раза по сравнению с контролем. В случае с высокой дозой НП (40 г/кг) отмечается увеличение этих показателей в 1,4, 2 и 1,5 раза соответственно. Таким образом, увеличение содержания фотосинтетических пигментов в растениях горчицы белой говорит о том, что она обладает высоким адаптационным потенциалом по отношению к сильному загрязнению почв НП и испытывает повышенный стресс в случае с низким в условиях данного эксперимента загрязнением. Важно отметить, что с увеличением степени загрязнения почвы поллютантом для растений горчицы характерно уменьшение общей фитомассы, однако ассимиляционный аппарат этих растений, напротив, приобретает большую приспособленность к негативным условиям для произрастания. Такую же зависимость обнаружили исследователи в работе [23], при изучении влияния нефтезагрязнён-

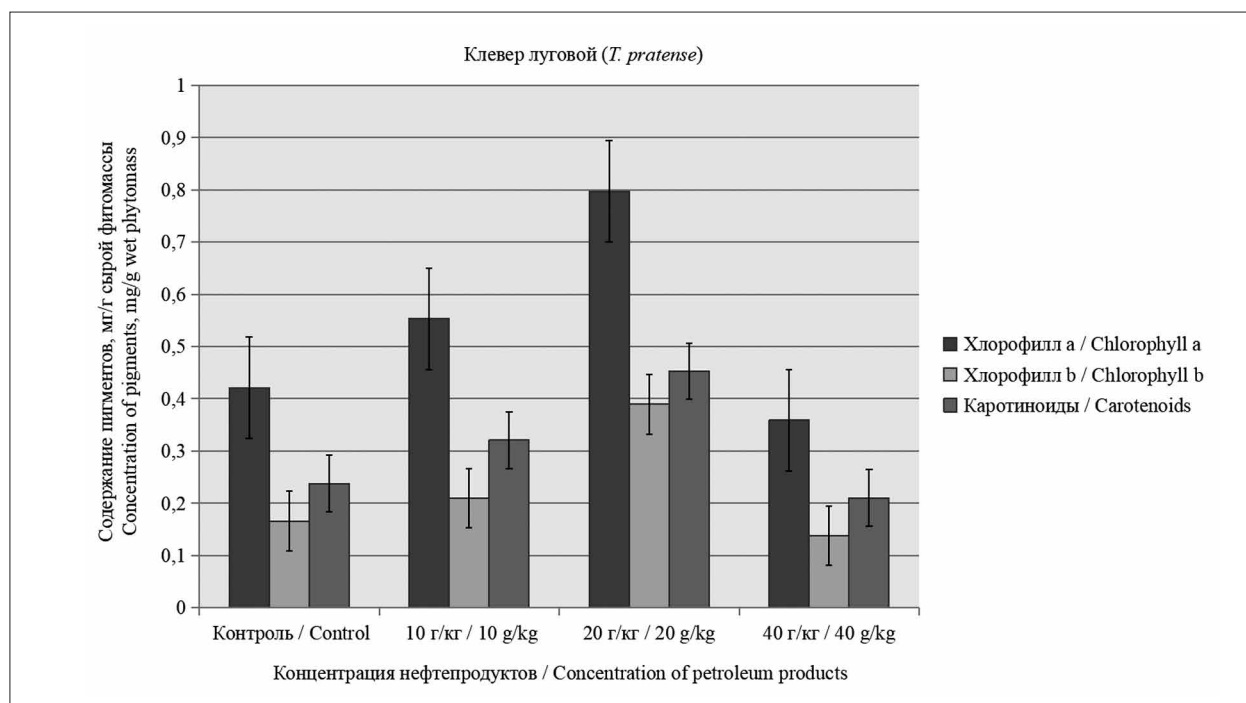


Рис. 4. Концентрация пигментов в листьях *Trifolium pratense*, произраставшего на почвах с различными дозами нефтепродуктов (с указанием стандартных погрешностей)
 Fig. 4. Pigment concentration in *Trifolium pratense* leaves on soils with different content of petroleum products (indicating standard errors)

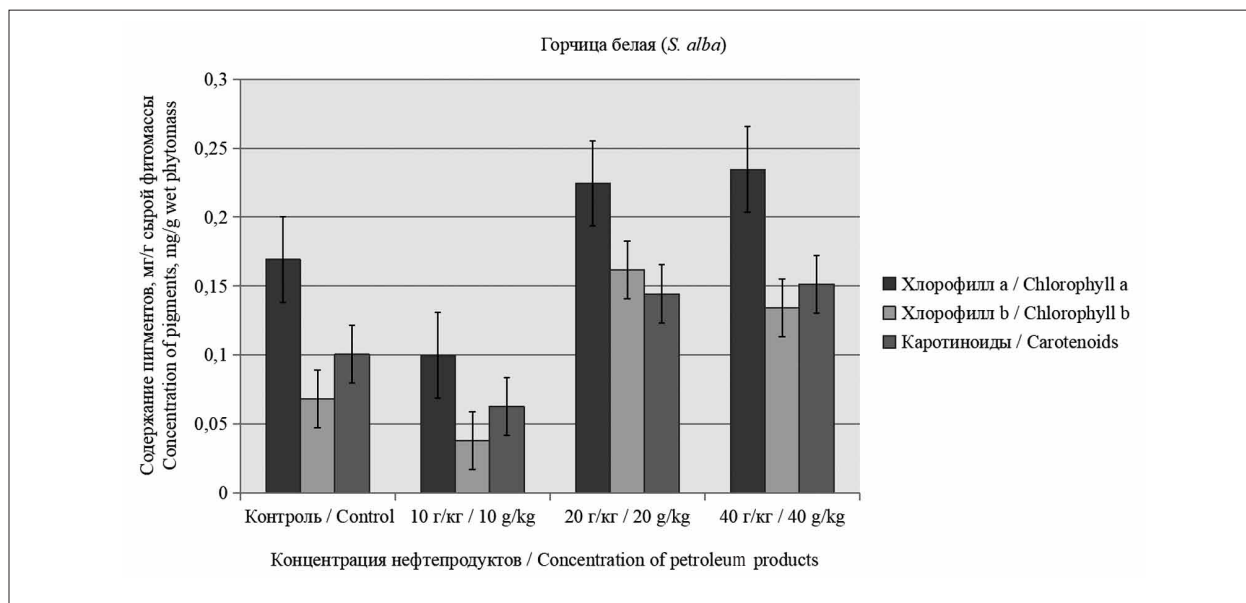


Рис. 5. Концентрация пигментов в листьях *Sinapis alba*, произраставшей на почвах с различными дозами нефтепродуктов (с указанием стандартных погрешностей)
Fig. 5. Pigment concentration in *Sinapis alba* leaves on soils with different content of petroleum products (indicating standard errors)

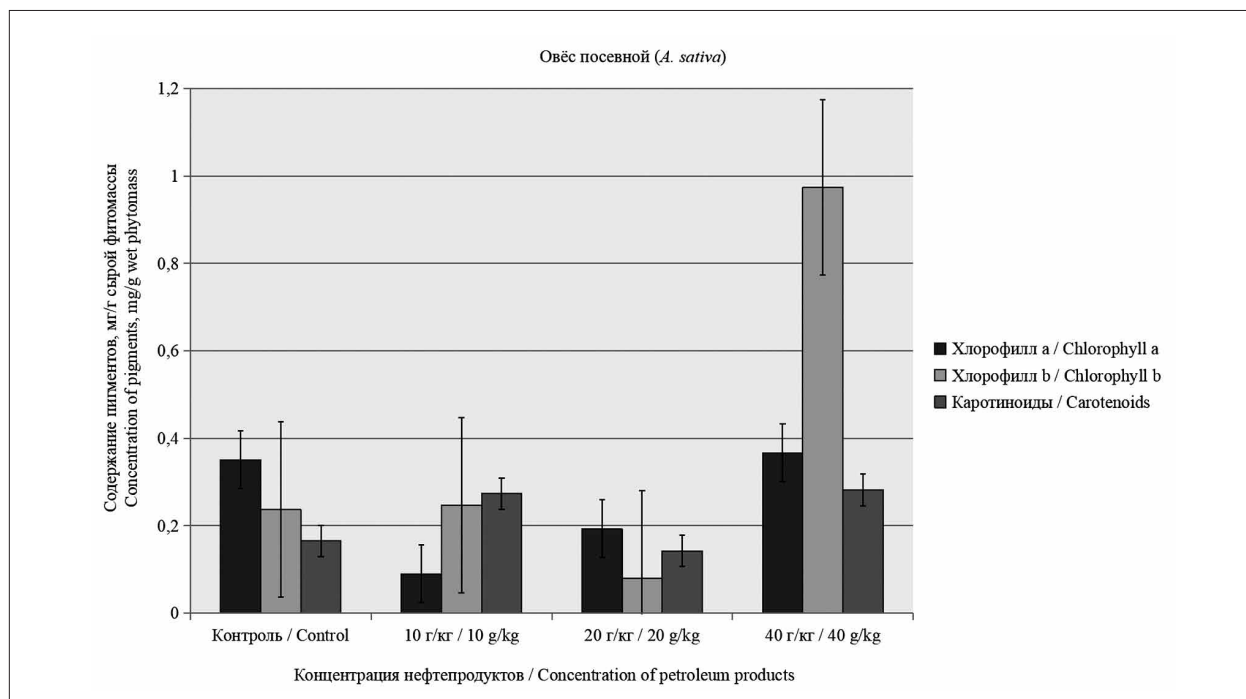


Рис. 6. Концентрация пигментов в листьях *Avena sativa*, произраставшего на почвах с различными дозами нефтепродуктов (с указанием стандартных погрешностей)
Fig. 6. Pigment concentration in *Avena sativa* leaves on soils with different content of petroleum products (indicating standard errors)

ной почвы на биологическую продуктивность и активность фотосинтетического аппарата пушицы влагалищной (*Eriophorum vaginatum* L., 1753) и осоки острой (*Carex acuta* L., 1753).

Результаты исследования фотосинтетического аппарата овса посевного (рис. 6) сви-

детельствуют о значительном ингибирующем воздействии поллютанта на растения. Так, доза НП 10 г/кг почвы привела к уменьшению содержания Хл_a на 74%, Хл_b остался примерно на уровне контроля, однако концентрация К увеличилась на 65% относительно контроля.

По этим данным можно предположить, что растения компенсировали разрушение системы $X_{л_a}$ с помощью синтеза K , являющихся вспомогательными фотосинтетическими пигментами, а также выполняющих фотозащитную и антиоксидантную функции [9]. Со стороны дозы НП 20 г/кг почвы также отмечается эффект угнетения растений – концентрации пигментов уменьшились, соответственно на 45, 66 и 14% относительно контрольного варианта. Доза 40 г/кг, напротив, в условиях эксперимента показала выраженное стимулирующее воздействие на фотосинтетический аппарат овса: содержание $X_{л_a}$ практически не изменилось, концентрация $X_{л_b}$ превышает контроль в 4,1 раза, K – в 1,7 раза. Подобные результаты были получены учёными при исследовании влияния НП на осоку острую [24], кострец безостый и овсяницу красную [22]. Интересно отметить, что содержание $X_{л_b}$ в последнем варианте опыта превышает содержание $X_{л_a}$ почти в 3 раза. Некоторые исследователи связывают это с адаптацией растений к неблагоприятным условиям и повышению их экологической устойчивости, а обратную направленность в изменении этих показателей связывают либо с процессами повреждения растений, либо со стимуляцией жизненных процессов в целом и роста в частности [23].

Такое противоречие в быстром наборе фитомассы с последующим разрушением фотосинтетического аппарата объясняется тем, что спустя 2 месяца с начала эксперимента отмечался процесс активного увядания растений, растущих в контейнерах с дозами НП 10 и 20 г/кг почвы, что не было характерно для контроля и вариантов с высокой концентрацией НП. По-видимому, здесь имеет место явление гормезиса, в данном случае наиболее благоприятное влияние на растения оказывает наличие в почве НП высокой концентрации (40 г/кг почвы). Однако, не ясно, не вызовет ли эта доза загрязнения увядание овса при продолжении эксперимента дольше 60 суток. По сформированной растениями фитомассе можно предположить, что эффект гормезиса усиливается с увеличением содержания поллютанта в почве, однако по прошествии некоторого времени стимулирующий эффект переходит в угнетение растений с последующим их увяданием.

Заключение

Таким образом, отработанное масло, находящееся в глубине почвы, оказывает преимущественно негативное воздействие на физио-

логическое состояние растений. Так, клевер и горчица испытывают значительный стресс со стороны НП, что выражается в снижении их фитомассы, энергии прорастания и показателей всхожести (у клевера). Фотосинтетический аппарат этих растений реагирует на загрязнитель неоднозначным образом: клевер луговой показывает высокие адаптационные возможности к загрязнению почвы концентрациями НП 10 и 20 г/кг, горчица лучше переносит повышенные загрязнения (20 и 40 г/кг). Овёс посевной в условиях эксперимента сформировал наибольшую фитомассу, которая находилась в прямой зависимости от концентрации поллютанта, энергия прорастания и всхожесть свидетельствовали о минимальном воздействии со стороны НП на жизнеспособность семян этих растений. Однако в конце эксперимента растения овса посевного начали активно увядать, что выразилось в разрушении пигментного аппарата в случае с низкой (10 г/кг) и средней (20 г/кг) дозами НП. На площадке с высокой концентрацией поллютанта процессов увядания не обнаруживалось, однако соотношение $X_{л_a}$ к $X_{л_b}$ составило 1:3, что говорит об адаптации растений к воздействию НП за счёт увеличения содержания в листьях вспомогательного $X_{л_b}$. Вероятно, в данном случае имеет место эффект гормезиса, выражающийся в интенсивном наборе фитомассы при кратковременном воздействии со стороны поллютанта и последующем выраженном угнетающем воздействии, проявляющемся по прошествии 1,5 месяцев с начала эксперимента. Это может быть связано с конвекционным поступлением поллютанта в верхние слои почвы, образованием при разложении отработанного масла токсичных для растений веществ.

Литература

1. Bani-hani E., Alkhatib F., Sedaghat A., Alkhazzam A., Al-Dousari F., Al-Saad O. An experimental study on producing a sustainable diesel-like fuel from waste engine oil // Renewable Energy Research and Application. 2020. V. 1. No. 2. P. 143–150. doi: 10.22044/rera.2020.9173.1020
2. Pelitli V., Doğan Ö., Koroğlu H.J. Waste oil management: Analyses of waste oils from vehicle crankcases and gearboxes // Global Journal of Environmental Science and Management. 2017. V. 3. No. 1. P. 11–20. doi: 10.22034/gjesm.2017.03.01.002
3. Акатьева Т.Г. Влияние нефтяного загрязнения на рост и развитие *Phleum pratense*, *Festuca pratensis*, *Phalaris canariensis* // Вестник НВГУ. 2021. № 2 (54). С. 127–134. doi: 10.36906/2311-4444/21-2/17

4. Sorana O.Ț., Mihăilescu S., Strat D., Florentina G.I. Effects of oil pollution on seed germination and seedling emergence toxicity // Rom. Biotechnol. Lett. 2020. V. 25. No. 1. P. 1194–1201. doi: 10.25083/rbl/25.1/1194.1201
5. Степаненко Е.А., Волкова И.В., Алферова В.А., Сейдалиева Л.К. Изучение реакции бархатцев прямостоячих (*Tagetes erecta*) на нефтяное загрязнение // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. 2023. № 2. С. 83–88. doi: 10.24143/1812-9498-2023-2-83-88
6. Курбатов Ю.Н., Трифонова Т.А. Исследование интегральной токсичности почвы, загрязнённой нефтепродуктами // Теоретическая и прикладная экология. 2023. № 4. С. 141–150. doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-141-150
7. Утомбаева А.А., Петров А.М., Зайнулгабидинов Э.Р., Игнатъев Ю.А. Развитие одно- и двудольных растений на рекультивированных нефтезагрязнённых аллювиальных дерновых почвах // Вестник НВГУ. 2022. № 1 (57). С. 91–101. doi: 10.36906/2311-4444/22-1/10
8. Иванова Н.А., Корчагина Л.Е. Особенности фотосинтетической активности и пигментного аппарата листьев растений в условиях нефтяного загрязнения на территории Среднего Приобья // Естественные науки. 2012. № 1 (38). С. 37–46.
9. Маслова Т.Г., Марковская Е.Ф., Слемнев Н.Н. Функции каротиноидов в листьях высших растений (обзор) // Журнал общей биологии. 2020. Т. 81. № 4. С. 297–310. doi: 10.31857/S0044459620040065
10. Христин М.С., Ланкин А.В., Креславский В.Д. Поглощение нафталина листьями и его взаимодействие с хлорофилл-белковыми комплексами растений гороха // Физиология растений. 2020. Т. 67. № 4. С. 400–407. doi: 10.31857/S0015330320040090
11. Walakulu Gamage S.S., Masakorala K., Brown M.T., Widana Gamage S.M.K. Tolerance of *Impatiens balsamina* L., and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2020. V. 188. Article No. 109911. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109911
12. Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зелёных листьев // Биохимические методы в физиологии растений / Отв. редактор О. А. Павлинова. М.: Наука, 1971. С. 154–170.
13. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Ковач Р.Г., Кошовский Т.С., Хлынина Н.И. Углеводородное состояние почв при разновозрастном нефтяном загрязнении // Почвоведение. 2016. № 5. С. 574–583. doi: 10.7868/S0032180X16050051
14. Заушинцева А.В., Заушинцен А.С., Мальцева А.Т., Свиркова С.В., Тарасова И.В., Барышева О.В. Реакция растительного покрова на загрязнение почвы нефтепродуктами // Вестник КемГУ. 2014. Т. 2. № 1 (57). С. 7–12.
15. Trifonova T.A., Alkhutova E.Y. Phytomass change in natural phytocenosis as an indicator of technogenic pollution of soils with heavy metals // Int. J. Phytoremediation. 2016. V. 18. No. 12. P. 1209–1220. doi: 10.1080/15226514.2016.1193469
16. Ковалёва Е.И., Трофимов С.Я., Шоба С.А. Реакция высших растений на уровень нефтезагрязнения почв в вегетационном опыте // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2022. № 3. С. 74–84.
17. Халилова А.Ф. Устойчивость растений к углеводородному загрязнению на стадии прорастания // Проблемы агрохимии и экологии. 2012. № 2. С. 47–58.
18. Асадова Р.А., Исмаилов И.Т., Фарзалиева А.Г., Алиева А.А., Аллахвердиев Э.И. Получение стимуляторов роста растений на основе нефтяных кислот // Вестник Башкирского университета. 2022. Т. 27. № 4. С. 927–934. doi: 10.33184/bulletin-bsu-2022.4.19
19. Скурлатов Ю.И., Вичутинская Е.В., Зайцева Н.И., Штамм Е.В., Швыдкий В.О., Семеняк Л.В., Байкова И.С. Формы и пути миграции и трансформации опасных химических веществ в окружающей среде // Химическая физика. 2017. Т. 36. № 7. С. 42–53. doi: 10.7868/S0207401X17070111
20. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. 2013. № 7. С. 788–802. doi: 10.7868/S0032180X13070125
21. Тюлькова Е.Г. Ингибирующий эффект летучих органических соединений на содержание фотосинтетических пигментов в листьях саженцев древесных растений // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 4. С. 36–44.
22. Петухова Г.А., Дмитриева В.В., Забродина В.В., Стрючкова Е.И., Ефрюгина О.А. Ответные реакции модельных тест-объектов на нефтяное загрязнение среды // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2017. Т. 3. № 1. С. 98–107. doi: 10.21684/2411-7927-2017-3-1-98-107
23. Корчагина Л.Е. Функциональные особенности растений верховых болот в условиях нефтяного загрязнения на территории Среднего Приобья // Вестник НВГУ. 2015. № 1. С. 14–21.
24. Шаяхметова Р.И., Мальгина С.П., Гут Т.М., Кулагин А.Ю. Изменение пигментного состава высших и хвойных растений на Самотлорском месторождении // Известия СамНЦ РАН. 2017. Т. 19. № 2 (2). С. 393–396.

References

1. Bani-hani E., Alkhatib F., Sedaghat A., Alkhazzam A., Al-Dousari F., Al-Saad O. An experimental study on producing a sustainable diesel-like fuel from waste engine oil // Renewable Energy Research and Application. 2020. V. 1. No. 2. P. 143–150. doi: 10.22044/rera.2020.9173.1020
2. Pelitli V., Doğan Ö., Köroğlu H.J. Waste oil management: Analyses of waste oils from vehicle crankcases and gearboxes // Global Journal of Environmental Science and Management. 2017. V. 3. No. 1. P. 11–20. doi: 10.22034/gjesm.2017.03.01.002
3. Akateva T.G. The influence of oil pollution on the growth and development of *Phleum pratense*, *Festuca pratense*

- sis, *Phalaris canariensis* // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2021. No. 2 (54). P. 127–134 (in Russian). doi: 10.36906/2311-4444/21-2/17
4. Sorana O.Ț., Mihăilescu S., Strat D., Florentina G.I. Effects of oil pollution on seed germination and seedling emergence toxicity // Rom. Biotechnol. Lett. 2020. V. 25. No. 1. P. 1194–1201. doi: 10.25083/rbl/25.1/1194.1201
5. Stepanenko E.A., Volkova I.V., Alferova V.A., Sedjalieva L.K. Studying reaction of erect marigolds (*Tagetes erecta*) to oil pollution // Oil and gas technologies and environmental safety. 2023. No. 2. P. 83–88 (in Russian). doi: 10.24143/1812-9498-2023-2-83-88
6. Kurbatov Yu.N., Trifonova T.A. The study of the integral toxicity of oil-contaminated soil // Theoretical and Applied Ecology. 2023. No. 4. P. 141–150 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2023-4-141-150
7. Utombaeva A.A., Petrov A.M., Zainulgabidinov E.R., Ignatiev Yu.A. Development of one- and dicotyledic plants on reclaimed oil-contaminated alluvial turf soils // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2022. No. 1 (57). P. 91–101. (in Russian). doi: 10.36906/2311-4444/22-1/10
8. Ivanova N.A., Korchagina L.E. Features of leaves photosynthetic activity and pigment apparatus in the conditions of oil contamination in the Middle Ob // Estestvennyye nauki. 2012. No. 1 (38). P. 37–46 (in Russian).
9. Maslova T.G., Markovskaya E.F., Slemnev N.N. Functions of carotenoids in leaves of higher plants (an overview) // Zhurnal Obshchei Biologii. 2020. V. 81. No. 4. P. 297–310 (in Russian). doi: 10.31857/S0044459620040065
10. Hristin M.S., Lankin A.V., Kreslavskij V.D. Absorption of naphthalene by leaves and its interaction with chlorophyll-protein complexes of pea plants // Fiziologiya rasteniy. 2020. V. 67. No. 4. P. 400–407 (in Russian). doi: 10.31857/S0015330320040090
11. Walakulu Gamage S.S., Masakorala K., Brown M.T., Widana Gamage S.M.K. Tolerance of *Impatiens balsamina* L., and *Crotalaria retusa* L. to grow on soil contaminated by used lubricating oil: A comparative study // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2020. V. 188. Article No. 109911. doi: 10.1016/j.ecoenv.2019.109911
12. Shlyk A.A. Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts // Biochemical methods in plant physiology / Ed. O.A. Pavlinova. Moskva: Nauka, 1971. P. 154–170 (in Russian).
13. Gennadiev A.N., Pikovskii Yu.I., Kovach R.G., Koshovskii T.S., Khlynina N.I. Hydrocarbon status of soils under different ages of oil contamination // Pochvovedenie. 2016. No. 5. P. 574–583 (in Russian). doi: 10.7868/S0032180X16050051
14. Zaushintsena A.V., Zaushintsen A.S., Maltseva A.T., Svirikova S.V., Tarasova I.V., Barysheva O.V. Vegetation degradation due to soil pollution with oil // Bulletin of Kemerovo State University. 2014. V. 2. No. 1 (57). P. 7–12 (in Russian).
15. Trifonova T.A., Alkhutova E.Y. Phytomass change in natural phytocenosis as an indicator of technogenic pollution of soils with heavy metals // Int. J. Phytoremediation. 2016. V. 18. No. 12. P. 1209–1220. doi: 10.1080/15226514.2016.1193469
16. Kovalyova E.I., Trofimov S.Ya., Shoba S.A. The reaction of higher plants to the oil contamination of soils in the pot experiment // Moscow University Bulletin. Series 17. Soil Science. 2022. No. 3. P. 74–84 (in Russian).
17. Halilova A.F. The tolerance of plants to soil pollution by hydrocarbons at early stages of growth // Agrochemistry and Ecology Problems. 2012. No. 2. P. 47–58 (in Russian).
18. Asadova R.A., Ismailov I.T., Farzaliyeva A.G., Aliyeva A.A., Allahverdiyev E.I. Synthesis of plant growth stimulants based on petroleum acids // Vestnik Bashkirskogo universiteta. 2022. V. 27. No. 4. P. 927–934 (in Russian). doi: 10.33184/bulletin-bsu-2022.4.19
19. Skurlatov Yu.I., Vichutinskaya E.V., Zaitseva N.I., Shtamm E.V., Shvydkii V.O., Semenyak L.V., Baikova I.S. Forms and pathways of migration and transformation of hazardous chemicals in the environment // Khimicheskaya fizika. 2017. V. 36. No. 7. P. 42–53 (in Russian). doi: 107868/S0207401X17070111
20. Tsi bart A.S., Gennadiev A.N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, indication significance (a review) // Pochvovedenie. 2013. No. 7. P. 788–802 (in Russian). doi: 10.7868/S0032180X13070125
21. Tulkova E.G. Volatile organic compounds inhibiting effect on the photosynthetic pigments content in woody plant seedlings leaves // Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2019. No. 4. P. 36–44 (in Russian).
22. Petukhova G.A., Dmitrieva V.V., Zabrodina V.V., Stryuchkova E.I., Efyugina O.A. The response of model test objects to oil environmental pollution // Tyumen State University Herald. Natural Resource Use and Ecology. 2017. V. 3. No. 1. P. 98–107 (in Russian). doi: 10.21684/2411-7927-2017-3-1-98-107
23. Korchagina L.E. Features of plants growing in upland bogs in the conditions oil pollution in the Middle Ob region // Bulletin of Nizhnevartovsk State University. 2015. No. 1. P. 14–21 (in Russian).
24. Shayahmetova R.I., Malgina S.P., Gut T.M., Kulagin A.Yu. Change of pigmentary structure of the higher and coniferous plants at Samotlor field // Izvestia of RAS SamSC. 2017. V. 19. No. 2 (2). P. 393–396 (in Russian).