

ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОПУТНЫХ НЕФТЯНЫХ ВОД THE ASSESSMENT OF PHYTOTOXICITY OF RESERVOIR WATER

И. В. Овсянникова
Inna V. Ovsyannikova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Стерлитамак,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation

В. В. Пряничникова
Valeriya V. Pryanichnikova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Стерлитамак,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation

К. В. Пашкина
Karina V. Pashkina

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Стерлитамак,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation

И. В. Лебедь
Irina V. Lebed

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Стерлитамак,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation

А. Г. Сурина
Anisa G. Surina

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Стерлитамак,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation

А. Н. Гизетдинов
Aziz N. Gizetdinov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет, филиал,
г. Стерлитамак,
Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University, Branch,
Sterlitamak, Russian Federation

Добыча нефти практически всегда приводит к загрязнению территории попутными водами, поступающими из скважин. В большинстве случаев при разработке мероприятий по рекультивации земель нефтепромыслов и водных объектов рассматривается загрязнение среды нефтью, но не учитывается негативное воздействие пластовых вод. Между тем попутные воды, обладая высокой засоленностью, оказывают иногда при разливах большее негативное воздействие на окружающую среду, чем сама нефть. В связи с этим важной задачей является определение степени их токсичного действия на живые объекты. В данной статье приведены сравнительные оценки токсичности пластовых вод месторождения, а также модельных вод, приготовленных в соответствии с химическим составом пластовых вод, по аттестованной методике фитотестирования «Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата (*Lepidium sativum*)» ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013. В качестве тест-объекта были использованы семена кресс-салата двух сортов – «Забава» и «Крупнолистовой». Для определения токсичности среды рассматривались такие параметры, как всхожесть семян, длина и средний сухой вес проростков. Проведённые эксперименты показывают хорошую отзывчивость кресс-салата обоих сортов для оценки токсичности попутных нефтяных вод. Полученные данные свидетельствуют о высокой токсичности попутно добываемых вод. Анализ результатов исследования показывает необходимость учета токсичных свойств пластовых вод, которые могут попасть с нефтью в водные и почвенные объекты, при разработке мероприятий по восстановлению водных ресурсов и земель.

Ключевые слова

пластовые воды, нефть,
кресс-салат, фитотестирование,
токсичность, средняя длина,
коэффициент корреляции

Oil production often leads to territory contamination by reservoir water. In most cases, during recultivation of oil fields land and water objects oil pollution is considered but negative impact of formation water is not taken into account. Meanwhile, reservoir waters, having high salinity, sometimes have a greater negative impact on the environment during spills than oil itself. In this regard the important task is to determine the degree of their toxic effect on living objects. This article presents comparative assessments of the toxicity of the reservoir waters of the field, as well as model waters prepared in accordance with the chemical composition of the produced water, according to the certified phytotesting method «Method for Determining the Toxicity of Drinking, Ground, Surface and Sewage Waters, Chemical Solutions for Measuring Germination, Medium Length and Average Dry Weight of Seedlings of Cress Seeds (*Lepidium sativum*)» PND F T 14.1:2:4.19-2013. As a test object seeds of cress of two varieties — «Zabava» and «Krupnolistovoy» were used. To determine the toxicity of the environment such parameters as seed germination, length and average dry weight of seedlings were considered. The conducted experiments show good responsiveness of both varieties of *Lepidium sativum* and usability to the toxicity assess of associated oil waters. The obtained data testify to the acute toxicity of the associated water. The results of analysis show the need to take into account the toxic properties of the reservoir waters that can get into the water and soil with oil during the development of water resources and land restore measures.

Key words

formation waters, oil, cress, phytotesting, toxicity, average length, correlation coefficient

В новом базовом варианте прогноза Минэкономразвития в России добыча нефти в 2018–2020 гг. ожидается в объеме 553 млн т в год [1]. Такое состояние дел, несомненно, положительно в экономическом плане, но чревато серьезными экологическими последствиями. В последнее время негативный эффект нефтедобычи и транспортировки нефти проявляется в масштабном загрязнении окружающей среды [2–5]. Анализу такого воздействия на почву посвящено большое количество публикаций, касающихся не только самого действия загрязнения, но и оценки эффективности мероприятий по ремедиации почв на загрязненных территориях [6–7]. Однако изучение действия на окружающую среду растворов солей, используемых в современных способах добычи нефти для закачки в пласты, нередко отходит на второй план, несмотря на то, что эти растворы приводят к засолению почв и даже могут попадать в водоносные слои.

Целью данной работы является изучение фитотоксичности попутных нефтяных вод и модельных вод, приготовленных в соответствии с их химическим составом. В качестве тест-объекта использовались семена кресс-салата сортов «Забавка» и «Крупнолистной».

Состав модельной воды приведён в таблице 1.

Таблица 1. Состав модельной нефтяной воды

| Компоненты | Количество, мг/кг |
|----------------------|-------------------|
| Хлорид натрия | 86000 |
| Хлорид кальция | 10500 |
| Хлорид магния | 5200 |
| Сульфат натрия | 4000 |
| Гидрокарбонат натрия | 400 |

Для сравнительной оценки фитотоксичности попутных нефтяных вод была использована аттестованная методика ПНД Ф Т 14.1:2:4.19-2013 [8]. Эксперимент проводили в лабораторных условиях. В чашки Петри на фильтровальную бумагу укладывались 30 семян кресс-салата. Затем из попутно добываемых вод готовили ряд следующих разбавлений: 1:2, 1:4, 1:8, 1:16 и 1:32. Для разбавления и в качестве контроля использовали дистиллированную воду. Каждое разбавление и контрольную пробу дублировали в трёх повторностях. Аналогично готовились пробы с модельным солевым раствором, соответствующим по составу пластовым водам. В каждую чашку вносили одинаковое количество нативной среды и приготовленных разбавлений. На седьмые сутки после посева измеряли всхожесть семян (%), среднюю длину (мм) и средний сухой вес (мг) проростка.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы «Statistica 5.0 for Windows».

Семена обоих сортов кресс-салата начинали всходить с восьмикратного разбавления. Это свидетельствует об острой токсичности анализируемых проб. Однако в модельной воде всхожесть семян превышает величину всхожести в попутной воде месторождений и варьируется в пределах 85–98,9% и 53–91% у сорта «Забава», а также 94–99% и 87,8–95,6% у сорта «Крупнолистовой» соответственно.

Величины средней длины проростка кресс-салата показаны в таблице 2. Длина проростков семян кресс-салата обоих сортов увеличивается с понижением концентрации нефтяных вод в пробе.

Однако общая длина проростков кресс-салата сорта «Забава» в 8-кратном и 16-кратном разбавлении превышает общую длину проростков в воде с нефтедобычи на 7,3% и 6,8% соответственно. В 32-кратном разбавлении ситуация обратная: длина проростков в пробе воды с нефтедобычи превышает длину проростка в модельной воде на 2,87%. Что касается кресс-салата «Крупнолистовой», длина проростков в пробе с водой, привезенной с нефтедобычи, превышает таковую (на 23–24%) кроме 8-кратного разбавления. Данную зависимость можно объяснить различной приспособленностью сортов к экологическим факторам.

Величины среднего сухого веса проростков кресс-салата показаны в таблице 3.

Средний сухой вес проростков кресс-салата сорта «Забава» в 16-кратном разбавле-

нии и в 32-кратном разбавлении в модельной воде больше, чем в воде с нефтедобычи, в 8-кратном разбавлении результаты обратные. Средний сухой вес проростка кресс-салата сорта «Крупнолистовой» в 8-кратном разбавлении в пробе с модельной водой меньше таковой в пробе с водой с нефтедобычи. В остальных случаях зависимость обратная.

Кресс-салат сорта «Забава» показал наибольшую отзывчивость в модельной воде, что подтверждается достоверным коэффициентом корреляции во всех анализируемых параметрах (таблица 4).

Наиболее чувствительным параметром является средняя длина проростка для обоих сортов кресс-салата (таблица 4). В соответствии с этим для оценки токсичности рекомендуется использовать именно этот параметр.

Для сравнения степени токсичности модельной воды и воды с нефтедобычи рассчитывается безопасная кратность разбавления — это та кратность разбавления, при которой анализируемый параметр будет равняться значению в контрольной пробе.

Сравнение показателей безопасной кратности разбавления модельной воды и воды с нефтедобычи, вычисленной по уравнению регрессии, показало, что модельная среда более токсична, чем вода, отобранная с нефтяного месторождения для обоих сортов кресс-салата. Это может объясняться наличием органических веществ (нефтяных

Таблица 2. Средняя длина проростка кресс-салата (мм)

| Разбавление пробы | Кресс-салат «Забава» | | Кресс-салат «Крупнолистовой» | |
|----------------------|----------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| | модельная вода | вода с нефтедобычи | модельная вода | вода с нефтедобычи |
| Неразбавленная проба | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1:2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1:4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1:8 | 20,9 | 13,26 | 38,76 | 35,95 |
| 1:16 | 75,1 | 68,3 | 67,38 | 88,41 |
| 1:32 | 81,93 | 84,8 | 80,71 | 107,4 |
| Контроль | 91,9 | | 104,6 | |

Таблица 3. Средний сухой вес проростков кресс-салата (мг)

| Разбавление пробы | Кресс-салат «Забава» | | Кресс-салат «Крупнолистовой» | |
|----------------------|----------------------|--------------------|------------------------------|--------------------|
| | модельная вода | вода с нефтедобычи | модельная вода | вода с нефтедобычи |
| Неразбавленная проба | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1:2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1:4 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1:8 | 1,08 | 1,22 | 1,40 | 1,55 |
| 1:16 | 1,49 | 1,38 | 1,75 | 1,48 |
| 1:32 | 1,72 | 0,90 | 1,57 | 1,44 |
| Контроль | 1,39 | | 1,41 | |

Таблица 4. Зависимость анализируемых параметров от кратности разбавления

| Анализируемые параметры | Кресс-салат «Забава» | | Кресс-салат «Крупнолистовой» | |
|----------------------------------|---|---|---|---|
| | Коэффициент корреляции/уравнение регрессии | | | |
| | модельная вода | вода с нефтедобычи | модельная вода | вода с нефтедобычи |
| Всхожесть семян, % | 0,73* $Y=85,017+0,48601 \times X$ | 0,79 $Y=51,133+1,3887 \times X$ | 0,01 | 0,24 |
| Средняя длина проростков, мм | 0,79 $Y=17,471+2,2411 \times X$ $X=34,55$ | 0,88 $Y=4,9995+2,7018 \times X$ $X=32,16$ | 0,87 $Y=32,092+1,6173 \times X$ $X=39,41$ | 0,87 $Y=26,454+2,7215 \times X$ $X=31,95$ |
| Средний сухой вес проростков, мг | 0,76 $Y=0,96815+0,02472 \times X$ | -0,55 | 0,16 | -0,23 |

Примечания: Y — анализируемый параметр;
X — кратность разбавления;
* — достоверные коэффициенты корреляции.

углеводородов), содержащихся в пластовой воде месторождений, которые в малом количестве являются источником питательных веществ для растений [9].

Выводы

Проведённые эксперименты показывают хорошую отзывчивость кресс-салата обоих сортов и его пригодность для оценки токсич-

ности пластовых вод. Полученные результаты свидетельствуют об острой токсичности попутно добываемых нефтяных вод. Данные исследования показывают важность учета токсичных свойств нефтяных вод, которые могут попасть с нефтью в водные и почвенные объекты, для экологического мониторинга и при рекультивации водных ресурсов и земель.

СПИСОК ИСПОЛЪЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Письмо Министерства экономического развития РФ от 26 апреля 2017 г. № Д14и-917 «О разработке прогноза социально-экономического развития Российской Федерации на 2018 год и на плановый период 2019 и 2020 годов» // КонсультантПлюс. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXR&n=690735#05144126416417512>.

2. Пряничникова В.В., Шулаев Н.С., Кадыров Р.Р., Быковский Н.А. Защита окружающей среды при добыче нефти // Современные технологии в нефтегазовом деле — 2016: сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф., посвященной 60-летию филиала Октябрьский. Уфа, 2016. С. 275–278.

3. Зейферт Д.В., Гамерова Л.М. Сравнительная оценка токсичности нефтей различных месторождений // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 1. С. 79–83.

4. Овсянникова И.В. Проведение экологического мониторинга объектов хранения углеводородных отходов // Образование и наука в современных условиях: сб. матер. Внутривуз. науч.-практ. конф. Уфа, 2016. С. 85–88.

5. Даминов Р.Р., Асфандиярова Л.Р., Юнусова Г.В., Панченко А.А., Овсянникова И.В. Изучение вертикальной миграции веществ в почвах промышленного города // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 1. С. 236–240.

6. Овсянникова И.В. Определение токсичности почв с УСН «Башкирнефтепродукт» методом фитотестирования // Образование и наука в современных условиях: сб. матер. Внутривуз. науч.-практ. конф. Уфа, 2016. С. 82–85.

7. Шулаев Н.С., Пряничникова В.В., Быковский Н.А., Кадыров Р.Р. Изучение воздействия нефтяного за-

грязнения почв на развитие высших растений на примере рогоза широколистного // Успехи современного естествознания. 2016. № 2. С. 193–197.

8. ПНД Ф Т 14.1:2.4.19-2013. Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата (*Lepidium sativum*). Стерлитамак, 2013. 28 с.

9. Шулаев Н.С., Пряничникова В.В., Кадыров Р.Р., Фанакова Н.Н. Фиторемедиация нефтепромысловых почв // Безопасность в техносфере. 2017. Т. 6. № 1. С. 25–30.

REFERENCES

1. Pis'mo Ministerstva ekonomicheskogo razvitiya RF ot 26 aprelya 2017 g. № D14i-917 «O razrabotke prognoza sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na 2018 god i na planovyi period 2019 i 2020 godov» [Letter No. D 14 I-917 of the Ministry of Economic Development of the Russian Federation of 26 April 2017 «On the Development of the Forecast of Socio-Economic Development of the Russian Federation for 2018 and the Planning Period 2019 and 2020»]. *Konsul'tantPlyus — ConsultantPlus*. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXR&n=690735#05144126416417512>. [in Russian].

2. Pryanichnikova V.V., Shulaev N.S., Kadyrov R.R., Bykovskii N.A. Zashchita okruzhayushchei sredy pri dobyche nefiti [Environmental Protection in Oil Production]. *Sb. tr. Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoi 60-letiyu filiala Oktyabr'skii «Sovremennye tekhnologii v neftegazovom dele — 2016»* [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to the 60th Anniversary of the October Branch «Modern

Technologies in Oil and Gas Business — 2016»]. Ufa, 2016, pp. 275–278. [in Russian].

3. Zeifert D.V., Gameraova L.M. Sravnitel'naya otsenka toksichnosti neftei razlichnykh mestorozhdenii. [Comparative Evaluation of the Toxicity of Oils From Different Deposits]. *Bashkirskii khimicheskii zhurnal — Bashkir Chemical Journal*, 2013, Vol. 20, No. 1, pp. 79–83. [in Russian].

4. Ovsyannikova I.V. Provedenie ekologicheskogo monitoringa ob"ektov khraneniya uglevodorodnykh otkhodov [Environmental Monitoring of Hydrocarbon Waste Storage Facilities]. *Sb. mater. Vnutrivuz. nauch.-prakt. konf. «Obrazovanie i nauka v sovremennykh usloviyakh»* [Proceedings of the University Scientific and Practical Conference «Education and Science in Modern Conditions»]. Ufa, 2016, pp. 85–88. [in Russian].

5. Daminev R.R., Asfandiyyarova L.R., Yunusova G.V., Panchenko A.A., Ovsyannikova I.V. Izuchenie vertikal'noi migratsii veshchestv v pochvakh promyshlennogo goroda [Study Vertical Migration of Substances in the Soil Industrial City]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 15, No. 1, pp. 236–240. [in Russian].

6. Ovsyannikova I.V. Opredelenie toksichnosti pochv s USN «Bashkirnefteprodukt» metodom fitotestirovaniya [Determine the Toxicity of Soils from the USN «Bashkirnefteprodukt» Method of Fitoestrogeny]. *Sb. mater. Vnutrivuz. nauch.-prakt. konf. «Obrazovanie i nauka v*

sovremennykh usloviyakh» [Proceedings of the University Scientific and Practical Conference «Education and Science in Modern Conditions»]. Ufa, 2016, pp. 82–85. [in Russian].

7. Shulaev N.S., Pryanichnikova V.V., Bykovskii N.A., Kadyrov R.R. Izuchenie vozdeistviya nefyanogo zagryazneniya pochv na razvitie vysshikh rastenii na primere rogoza shirokolistnogo [The Reseach of Oil Contaminated Soil Effect on Higher Plants Germination in Terms of Typha Latifolia]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya — Advances in Current Natural Sciences*, 2016, No. 2, pp. 193–197. [in Russian].

8. PND F T 14.1:2:4.19-2013. Metodika opredeleniya toksichnosti pit'evykh, gruntovykh, poverkhnostnykh i stochnykh vod, rastvorov khimicheskikh veshchestv po izmereniyu pokazatelei vskhozhesti, srednei dliny i srednego sukhogo vesa prorostkov semyan kress-salata (*Lepidium sativum*) [PND F T 14.1:2: 4.19-2013. Method for Determining the Toxicity of Drinking, Ground, Surface and Sewage Waters, Chemical Solutions for Measuring Germination, Medium Length and Average Dry Weight of Seedlings of Cress Seeds (*Lepidium sativum*)]. Sterlitamak, 2013. 28 p. [in Russian].

9. Shulaev N.S., Pryanichnikova V.V., Kadyrov R.R., Fanakova N.N. Fitoremediatsiya neftepromyslovykh pochv [Phytoremediation of Oilfield Soils]. *Bezopasnost' v tekhnosfere — Safety in Technosphere*, 2017, Vol. 6, No. 1, pp. 25–30. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Овсянникова Инна Вячеславовна, техник-лаборант кафедры «Общая химическая технология», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Inna V. Ovsyannikova, Laboratory Technician of General Chemical Engineering Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

e-mail: inna.ovsyannikova.80@mail.ru

Прянничникова Валерия Валерьевна, старший преподаватель кафедры «Общая химическая технология», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Valeriya V. Pryanichnikova, Senior Lecturer of General Chemical Engineering Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

Папкина Карина Владимировна, студент кафедры «Общая химическая технология», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Karina V. Pashkina, Student of General Chemical Engineering Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

Лебедь Ирина Владимировна, студент кафедры «Общая химическая технология», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Irina V. Lebed, Student of General Chemical Engineering Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

Сурина Аниса Гаяновна, студент кафедры «Общая химическая технология», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Anisa G. Surina, Student of General Chemical Engineering Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation

Гизетдинов Азиз Наильевич, студент кафедры «Общая химическая технология», УГНТУ, филиал, г. Стерлитамак, Российская Федерация

Aziz N. Gizetdinov, Student of General Chemical Engineering Department, USPTU, Branch, Sterlitamak, Russian Federation