

view of potential methods. *Environmental Research*, 2018, (167), pp. 207-222. DOI: 10.1016/j.envres.2018.07.018.

6. Pilipenko A.T., Goronovsky I.T. & Grebenyuk V.D. Complex processing of mine waters. Kiev, Technika Publ., 1985, 183 p. (In Russ.).

7. Krasnova T.A., Gora N.V., Belyaeva O.V., Gorelkina A.K., Golubeva N.S. & Timoshchuk I.V. The use of semi-coke for phenol removal from aqueous solutions. *Carbon Letters*, 2021, (31), pp. 1023-1032. DOI:10.1007/s42823-020-00216-z.

8. Kutyavina T.I. & Ashikhmina T.Ya. Current state and challenges of monitoring the surface water bodies in Russia (an overview). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*, 2021, (2), pp. 13-21. (In Russ.). DOI: 10.25750/1995-4301-2021-2-013-021.

9. Kulikova A.A., Sergeeva Yu.A., Ovchinnikova T.I. & Khabarova E.I. Formation of mine waters and analysis of their treatment methods. *Gornyj informatsionno-analiticheskij byulleten'*, 2020, (7), pp. 135-145. (In Russ.). DOI: 10.25018/0236-1493-2020-7-0-135-145.

10. Gubina N.A., Ylesin M.A., Karmanovskaya N.V. Ways to increase the productivity and quality of mine water treatment // *Journal of Environmental Management and Tourism*. 2018. Vol. 9. No 3. P. 423-427. DOI: 10.14505/jemt.v9.3(27).03.

11. Mynka A.A. & Lobanova D.M. Technology of mine water treatment at the Berezovskaya and Pervomaiskaya mines of the Northern Kuzbass Coal Company. Proceedings of the III Youth Environmental Forum, Kemerovo, October 06-08, 2015. Kemerovo, Gorbachev Kuzbass State Technical University, 2015, pp. 48. (In Russ.).

12. Ivanova L.A., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Golubeva N.S., Belyaeva O.V. & Rodionova A. Treatment of coal mine wastewater in regions with high anthropogenic load. *Vestnik Nauchnogo centra VostNIi po promyshlennoj i ekologicheskoy bezopasnosti*, 2022, (4), pp. 107-114. (In Russ.). DOI: 10.25558/VOST-NII.2022.60.11.012.

13. Agboola O., Mokrani T., Sadiku E.R., Kolesnikov A., Olukunle O.I. & Maree J.P. Characterization of two nanofiltration membranes for the separation of ions from acid mine water. *Mine Water Environ*, 2017, (36), pp. 401-408. <https://doi.org/10.1007/s10230-016-0427-z>.

14. Kinnunen P., Kyllönen H., Kaartinen T., Mäkinen J., Heikkinen J. & Miettinen V. Sulphate removal from mine water with chemical, biological and membrane technologies. *Water Sci. Technol.*, 2017, (1), pp. 194-205.

#### Acknowledgements

The research is conducted as part of the comprehensive scientific and technical program of a complete innovative cycle "Development and implementation of a complex of technologies in the fields of exploration and extraction of minerals, ensuring of industrial safety, bioremediation, creation of new products of deep processing of coal raw materials with consecutive amelioration of ecological impact on the environment and risks to human life", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation from 11.05.2022 № 1144-r.

#### For citation

Prosekov A.Yu., Timoshchuk I.V., Gorelkina A.K., Mikhaylova E.S., Golubeva N.S. & Ivanova L.A. Comparative assessment of the content of pollutants in quarry wastewater of Kuzbass coal enterprises. *Ugol'*, 2023, (4), pp. 69-73. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-69-73.

#### Paper info

Received February 22, 2023

Reviewed February 28, 2023

Accepted March 27, 2023

Оригинальная статья

УДК 622.882 © С.П. Якуцени, А.В. Федаш, Чинь Куок Винь, 2023

# Оценка возможностей естественной рекультивации земель, загрязненных потенциально токсичными элементами углеводородного сырья

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-73-78>

Статья посвящена оценке возможностей естественной рекультивации земель, загрязненных потенциально токсичными элементами в результате добычи и переработки углеводородного сырья. Авторами выполнен сравнительный анализ подходов к оценке возможности естественной рекультивации земель, пораженных в процессах добычи, переработки и использования углеводородов; исследована информация о естественном геохимическом фоне почв, в том числе о содержании потенциально токсичных элементов (ПТЭ) в естественных почвах; рассмотрены процессы естественной рекультивации почв в различных ландшафтах, при различном составе почв и в зависимости от технологий добычи углеводородного сырья. В статье на основе геоэкологи-

#### ЯКУЦЕНИ С.П.

Канд. геол.-минер. наук, доцент кафедры геоэкологии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991, г. Москва, Россия, e-mail: spyakutseni@gmail.com

#### ФЕДАШ А.В.

Доктор техн. наук, заведующий кафедрой геоэкологии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991, г. Москва, Россия, e-mail: Fedash.AV@yandex.ru

#### ЧИНЬ КУОК ВИНЬ

Аспирант кафедры геоэкологии РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 119991, г. Москва, Россия, e-mail: vinhtq95@gmail.com

ческих подходов исследован естественный процесс рассеяния и переноса антропогенных загрязнителей с больших территорий суши в акватории – нижнего базиса эрозии, в ходе природных процессов выветривания. Выявлены факторы, требующие учета при проектировании объектов по добыче, переработке и использованию ресурсов недр.

**Ключевые слова:** рекультивация земель, потенциально токсичные элементы, углеводороды, экология, естественное восстановление почв, оценка воздействия, геоэкология, биота.

**Для цитирования:** Якуцени С.П., Федаш А.В., Чинь Куок Винь. Оценка возможностей естественной рекультивации земель, загрязненных потенциально токсичными элементами углеводородного сырья // Уголь. 2023. № 4. С. 73-78. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-73-78.

## ВВЕДЕНИЕ

Топливо-энергетический комплекс, являясь локомотивом экономического развития Российской Федерации, сталкивается со многими проблемами, одной из которых является негативное воздействие на окружающую среду. Для минимизации этого воздействия необходимы высокотратные инновационные решения или ограничения деятельности на отдельных территориях [1]. Снижение экологических и социальных рисков реализации проектов, связанных с добычей и переработкой углеводородов, является значимой задачей для устойчивого развития топливно-энергетического комплекса России [2]. Одним из направлений ее решения являются защита и рекультивация почв. Рекультивация земель, загрязненных потенциально токсичными элементами (ПТЭ) углеводородного сырья, технологически и экономически сталкивается примерно с теми же трудностями, что и рекультивация земель, пораженных осадками радионуклидов, например вследствие чернобыльской аварии. Разница лишь в масштабах их воздействий на среду и на биоту. Первые носят, сравнительно с радиационным поражением, более щадящий характер, но они также формируют хронические заболевания населения и объектов животноводства, ведут к генетическим отклонениям, не угнетая биоту с той неотвратимостью, как радионуклиды. Их геохимическое поведение в биосфере совершенно аналогично – все ПТЭ, извлеченные из недр с разными видами полезных ископаемых, включая углеводороды, потерявшие свои химические связи с сырьем в ходе переработки или утилизации, остаются на поверхности, постепенно распределяясь в верхних слоях земли. Они аккумулируются растительностью и закрепляются на участках геохимических барьеров. Ни убрать эти почвы, ни засыпать их технико-экономически невозможно. С уже сложившейся ситуацией приходится в основном мириться, принимая наиболее простые защитные меры для населения, а именно – на землях с повышенной загрязненностью ПТЭ не вести сельскохозяйственной деятельности, известковать или закислять их, контролировать процессы естественной рекультивации земель, которые могут иметь и сравнительно заметный прогресс, например в зонах сноса осадков с повышенных участков рельефа. Но все это лишь процессы пере-

распределения ПТЭ в том приповерхностном слое земли, в котором они продолжают усваиваться корневой системой растений, вновь возвращаясь в почвы, совершая круговорот, затухающий только в историческом масштабе времени. Говоря о других элементах биосферы, следует отметить, что воздух и вода более динамичны, склонны рассеивать любые воздействия относительно фона, хотя иногда и осаждают их на окислительных, но чаще восстановительных барьерах – болотах, низинах, в малообъемных водных резервуарах, водотоках и пр. Именно поэтому приоритетным индикатором негативного воздействия горнопромышленной деятельности на биосферу является степень деградации почв.

## ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Почвы обладают эффектом самовосстановления, который необходимо учитывать при ведении горных работ. Геоэкологическую оценку возможной успешности естественной рекультивации земель, загрязненных ПТЭ, необходимо вести с учетом рельефно-геохимической обстановки региона, состава почв, длительности и масштабов техногенного воздействия на среду и пр. Поскольку биота редко имеет естественные контакты с углеводородами, то для оценки токсикопасности необходимо располагать сведениями о природном поверхностном фоне, в котором развивается эта биота, не испытывая ущерба для своей жизнедеятельности. Базовым исходным параметром для таких сопоставлений могут быть почвы как наиболее стабильные аккумуляторы техногенных воздействий в среде пребывания человека. В этом направлении имеется интересный зарубежный опыт по картированию устойчивости почв к загрязнению нефтепродуктами [3]. Также необходимо учитывать временное и пространственное изменение землепользования в районе ведения горнопромышленной деятельности [4]. Сведения о естественном геохимическом фоне почв интересны и в том отношении, что почвы – это питательная среда для растений, в том числе сельскохозяйственных культур, а следом за ними по пищевым цепочкам и более высокоорганизованной биоты. Все избыточные техногенные или природные нарушения геохимического фона неизбежно сказываются и на биоте.

Сведения о содержаниях ПТЭ в естественных почвах могут служить базовыми для сравнения уровней загрязнений при дополнительных техногенных поступлениях этих же элементов на поверхность, особенно, если никакими иными возможностями оценок рисков мы не располагаем. Оценки должны отражать фоновые и нейтральные значения для каждого отдельного типа почв в рамках конкретной экосистемы, биогеоценоза, биотопа. В качестве информационной базы по кларкам почв для основных ПТЭ авторами в исследованиях использованы данные классических работ А.П. Виноградова [5, 6] и других ранних исследователей, не утратившие своей ценности благодаря полноте и аналитической корректности. В рассматриваемых трудах исследован естественный фон почв на первую треть XX века, когда степень техногенного загрязнения не была столь высокой, как ныне. К тому же, исследовались почвы вне пахотных земель, т.е. на участках, где естественный фон не нарушен. Авторами использовались

также данные и более поздних исследований [7, 8]. Данные, характеризующие естественный фон почв по отдельным ПТЭ, объединены в те естественные парагенетические ассоциации, в которых они наиболее часто встречаются в природе, в том числе с учетом влияния природных повышенных концентраций этих ПТЭ на растительность.

Многие ПТЭ в окислительной обстановке почв зон повышенного увлажнения, обогащенных гумусом и с кислой реакцией, приобретают повышенную растворимость. Они сравнительно легко переходят в растительность, но одновременно с этим легче выносятся из почв, рассеиваются, растворяясь в грунтовых водах и мигрируя с ними. Для таких элементов на естественную рекультивацию земель могут уйти первые десятки лет при отсутствии новых поступлений ПТЭ. В их числе прежде всего s- и p-элементы, т.е. элементы с низкой и умеренной прочностью, химической связью с молекулярными структурами углеводов – Zn, Cd, As, Se, Be и другие. Устойчиво аккумулируются почвами, в зонах повышенной увлажненности, главным образом d-элементы – V, Cr, Ni, Co и Mo, особенно в почвах, обогащенных гумусом и железом. Но в кислой среде торфяников даже они приобретают некоторую, хотя и незначительную, растворимость. И все же для их перехода в заметных количествах в миграционную подвижную форму нужны более низкие pH – менее 3-2,5, обычно не встречаемые в естественных почвах. Поэтому их рассеяние замедленное и затрагивает в основном лишь дисперсные формы их соединений, которые чаще всего и свойственны продуктам сгорания нефти, обогащенной ими. Сроки рассеяния этих элементов значительно более длительны и превышают жизнь одного поколения людей, особенно в пределах равнинного рельефа местности. В сухом климате большинство ПТЭ не переходит в водные растворы, аккумулируясь в почвах. В редкие дождливые периоды их растворение и усвоение растительностью становятся более интенсивными, но в целом биогеохимическая ситуация изменяется мало, если нет условий сноса поверхностных почв.

При оценке результативности естественной рекреации загрязненных ПТЭ земель следует также учитывать состав почв. Гумусовые активно поглощают почти все ПТЭ, накапливая их и передавая растительности, а затем и скоту. Карбонатные – химически закрепляют многие ПТЭ и не освобождают их в свободную для биоконтактов форму. В песчаных они легко выносятся в грунтовые воды и рассеиваются. Важен и рельеф территорий – степные, равнинные способствуют накоплению ПТЭ, гористые, расчлененные дифференцируют загрязненные осадки, перенося их в низины. Особенно важны эти исследования для месторождений Арктической зоны [9].

Многообразие процессов геохимического поведения соединений ПТЭ может проявляться и в пределах одной и той же зоны, что, безусловно, затрудняет прогноз их воздействия на биоту. К примеру – растворимость сульфида селена повышена во влажной среде. Он легко переходит в растворенное состояние и усваивается растениями. Но, мигрируя в низины и попадая в зону восстановительного барьера, селен оседает, утрачивая подвижность и, соответственно, влияние на растения. Не переходит селен в растворы также, если в почвах много  $Fe_2O_3$ . Также необходим учет влияния сопутствующего загряз-

нения свинцом при биоремедиации почв, загрязненных углеводородами [10]. Поэтому общие схемы прогноза поведения ПТЭ в поверхностных условиях почв должны постоянно корректироваться локальными условиями исследуемого региона. Процессы естественной рекреации земель хотя и замедлены с позиций прикладной экологии, но в масштабах исторического времени, безусловно, результативны, поскольку неизбежны процессы выветривания и выравнивания геохимических градиентов в окислительно-восстановительной поверхностной среде.

Примером, подтверждающим необходимость изучения природного геохимического фона земель, загрязненных ПТЭ, являются исследования специфики естественных процессов рассеяния элементов в водосборной зоне р. Иркут, проведенные В.А. Романовым [11]. Автором были изучены масштабы выноса элементов из пород при их естественной денудации. Это позволило сделать вывод, что при выборе методов рекультивации земель, загрязненных ПТЭ, необходимо прежде всего изучить особенности их поверхностного, прежде всего почвенного, геохимического фона. Донные отложения всех изученных акваторий показали четко выраженные геохимические изменения в составе прибрежных осадков за счет современных антропогенных токсикантов, время выноса которых со стороны суши не превышает 30-50 лет. Процессы сноса и аккумуляции таких биотоксикантов хорошо подчиняются динамике течений морских вод, расположению и характеру гидрохимических барьерных зон «река – море», «вода – донные отложения», «природные воды – промсток с ПТЭ» и пр. При этом особенно неблагоприятно, что основная масса токсичного антропогенного материала, сносимого с суши поверхностным стоком, аккумулируется в прибрежной части донных отложений, оказывая неблагоприятное воздействие на жизнедеятельность водной биоты и человека [12].

Изучение антропогенного вклада тяжелых металлов в природные и иловые воды в Финском заливе показало особенно высокие концентрации Zn, Cu, Pb и Cd в иловых водах Невской губы, достигая (мкг/л): Pb – 1952; Cu – 2292; Zn – 7961 и Cd – 20,8. В придонных водах их меньше, т.е. они аккумулируются, сорбируются илами. Количество этих ПТЭ возрастает в придонных водах только на приустьевом взморье, где идет наиболее активный снос загрязнителей, несомых невольской водой [13]. Следует обратить внимание, что это достаточно интенсивный процесс естественной очистки территории от ПТЭ из промышленных источников за счет их сброса в поверхностные водостоки и прилегающие акватории, где вступают в действие те же геохимические процессы растворения, переноса, осаждения и аккумуляции, но уже в иной – водной среде моря, подчиняясь другим гидрогеохимическим процессам взаимодействий и их механике (течение, рельеф дна, наличие плотин, дамб и пр.).

Приведенные выше примеры – это естественный процесс рассеяния и переноса антропогенных загрязнителей с больших территорий суши в акватории, как нижний базис эрозии в ходе природных процессов выветривания. Их отличие от обсуждаемых нами процессов лишь в масштабах и механизме.

Отдельная тема – это пластовые воды, изливающиеся на поверхность при добыче. Наблюдаемый нами излив пластовых вод хлоридно-натриевого состава с минерализацией 90 г/л на Западно-Соплесском нефтегазоконденсатном месторождении нанес практически невозполнимый ущерб почвам, к счастью на локальной территории водосброса. Минерализация попутных вод коллекторов нефтяных месторождений Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции – от 20 до 183,8 г/л, содержание таких микрокомпонентов, как I, Br, B, Mg, Li, Rb, Cs, Sr часто имеет промышленное значение [13]. В этом случае загрязненные почвы не подлежат захоронению, пластовые воды изолируются для длительного захоронения. Такие ситуации свидетельствуют о необходимости применения комплексных технологий с переводом истоков пластовых вод из категории отходов в категорию попутной продукции для дальнейшей переработки, что, к сожалению, ограничено действующим порядком лицензирования и требует новых методических подходов в сфере обращения отходов с моделированием соответствующих процессов [14, 15].

Иная ситуация может складываться при разливе нефти. Природная нефть чаще инертна, чем токсична в биохимическом отношении, а в ряде случаев является питательным веществом для скудных почв Арктической зоны РФ. Например, на Западно-Тэбукском, Усинском, Возейском и ряде других месторождений таежной зоны Республики Коми со временем в местах разливов нефти наблюдались положительные процессы развития растительности.

С точки зрения иллюзорности надежды на естественное самовосстановление, в том числе с поддерживающей рекультивацией загрязненных ПТЭ земель, показателен пример разработки нефтеносных песков, широко практикующийся в Канаде (провинции Альберта и Онтарио). При отработке битуминозных песков уничтожа-

ются вместе с почвой огромные площади северных лесов. Загрязняются подземные и поверхностные воды по всему ареалу объектов разработки, включая сброс загрязненных вод в океан. По технологии добычи вырубаются и корчуются гигантские массивы тайги, битуминозные пески (смесь песка, битума, глины и воды) крупнотоннажными карьерными машинами доставляют на модульные фабрики, где перегретым водяным паром и реагентами выделяют синтетическую нефть – легкую фракцию с минимальным количеством сернистых соединений и токсичных металлокомпонентов [16].

Оставшиеся после переработки тяжелые остатки битума и грунта с токсичными веществами закладываются в отработанный карьер. После отработки нефтяных песков на месте северной тайги остаются карьеры глубиной до 100 м и протяженностью в несколько километров (см. рисунок).

Грунты загрязнены органическими растворителями и ПТЭ извлеченных битумов. Естественное восстановление почв в этих условиях невозможно в принципе. Это бедленды, и опыт их образования подтверждает правильность решения об отказе использования таких технологий в России. В данном случае возможно рассмотрение технологий подземной газификации, но это уже другие экологические риски, что требует отдельных исследований [18].

Оценивая реальные условия естественной рекреации локальных участков земель, загрязненных ПТЭ, важно учитывать масштабы, длительность и интенсивность такого рода загрязнений, которые в свою очередь зависят от мощности промпредприятий, длительности их работы, технологической прогрессивности процессов утилизации сырья, его исходного качества и состава. В целом естественная рекультивация токсически загрязненных земель – это реальный, но слишком длительный процесс.

Попытки очистки территорий, пораженных ПТЭ, убедительно показали их бесперспективность. Ни вывоз поверхностных слоев почв, ни их засыпка или обвалование от регионального распространения не позволили остановить процесс расползания очагов поражения, сохраняющих свою опасность. Происходила лишь передислокация мест концентраций, а их изоляция оказалась нереальной, так как ПТЭ вступил в естественный почвооборот. Это процесс историко-геологической длительности, ускорить который с помощью технических средств можно лишь на ограниченных участках земель путем значительных затрат.

Возможна только дорогостоящая искусственная рекреация почв и растительного покрова на основе моделирования формируемой искусственной экосистемы (вносятся питательные вещества, высаживаются предусмотренные моделью растительные сообщества, ведется ежедневная работа), спо-



Разработка битуминозных песков в Канаде [17]

Mining of bituminous sands in Canada [17]

собствующей возрождению почв и растительности для каждого конкретного объекта. При всех этих условиях и затратах минимальное время на приемлемое восстановление – 15-20 лет. Конечно, есть интересные исследования и примеры использования различных видов термофильных бактерий для очистки почв от нефтепродуктов [19], а также возможности применения технологий промывки загрязненных углеводородами почв с использованием поверхностно-активных веществ, но возникают вопросы утилизации новых загрязняющих веществ [20]. Поэтому единственным рациональным и одновременно радикальным путем предотвращения токсически опасных техногенных загрязнений населенных территорий являются превентивные меры, обеспечивающие если не исключение образования ПТЭ, то хотя бы снижение.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценивая возможности естественной рекультивации земель, загрязненных ПТЭ, следует заключить, что это крайне длительный, а часто и малопродуктивный процесс. Естественные процессы рекультивации не в состоянии справиться с такой нагрузкой на биосферу, в результате приходится применять дорогостоящие и не всегда эффективные методы искусственной рекультивации земель. Выявлены факторы, которые необходимо учитывать для использования ресурсов естественной рекультивации земель, загрязненных ПТЭ [21]:

- естественный геохимический фон почв и состав растительности;
- гидрологические, климатические и ландшафтные условия;
- отдаленность территории от населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий и особо охраняемых природных территорий;
- длительность и масштаб техногенного воздействия;
- характеристики ПТЭ с систематизацией на s-, p- и d-элементы с учетом степени растворимости, прочности, химической связи с молекулярными структурами углеводородов, сроков рассеяния элементов, возможности устойчивого аккумуляирования почвами, биотой и растениями;
- процессы сноса и аккумуляции с учетом гидродинамики, расположения и характера гидрохимических барьерных зон «река – море», «вода – донные отложения», «природные воды – промышленный сток с ПТЭ»;
- наличие альтернативных «замкнутых» технологий добычи, переработки и использования ресурсов недр.

Следует обеспечить учет всех этих факторов на стадии проектирования объектов с информированием инвесторов о долгосрочных рисках.

### Список литературы

1. Fedash A.V., Vartanov A.Z., Petrov I.V. Problems of Innovative Development of the Fuel and Energy Industry in Russia / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. 012015.
2. Vartanov A.Z., Petrov I.V., Fedash A.V. Risk-Oriented Provision of Mining Operations Safety at the Enterprises of Mineral Resources Sector in Russia / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. 012014.
3. Gennadiev A.N., Pikovskii Yu.I. The Maps of Soil Tolerance toward Pollution with Oil Products and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Methodological Aspects // Eurasian Soil Science. 2007. Vol. 40. Is. 1. P. 70-81.
4. Min Zhang, Jinman Wang, Yu Feng. Temporal and spatial change of land use in a largescale opencast coal mine area. A complex network approach // Land Use Policy. 2019. Vol. 86. P. 375-386.
5. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1950. 276 с.
6. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород в земной коре // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
7. Государственный доклад «О состоянии окружающей природной среды РФ в 1998 г. Госкомитет РФ по охране окружающей среды, изд. II, М., 2000. 498 с.
8. Соколов А.С., Краснов А.А. Эколого-геохимическая оценка фосфатных руд // Отечественная геология. 1999. № 5. С. 69-76.
9. Иватанова Н.П., Стоянова И.А. ESG-инвестирование – новый подход к устойчивому развитию арктических регионов России // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2021. № 4. С. 610-619.
10. The impact of lead co-contamination on ecotoxicity and the bacterial community during the bioremediation of total petroleum hydrocarbon-contaminated soils / Leadin S. Khudur, Esmaeil Shahsavar, Grant T. Webster et al. // Environmental Pollution. 2019. Vol. 253. P. 939-948.
11. Романов В.А. Поток рассеяния химических элементов в координатах пространство-времени // Известия Иркутского государственного университета. Науки о Земле. 2012. Т. 5. № 2. С. 196-208. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/potok-rasseyaniya-himicheskikh-elementov-v-koordinatah-prostranstva-vremeni/viewer> (дата обращения: 15.03.2023).
12. Хрусталеv Ю.П., Ивлиева О.В. Антропогенная седиментация в Азовском море. М.: Геоинформмарк, 1999. 54 с.
13. Ланина Т.Д., Литвиненко В.И., Варфоломеев Б.Г. Процессы переработки пластовых вод месторождений углеводородов. Ухта: УГТУ, 2006. 172 с.
14. Методологические подходы к организации и оценке системы обращения с отходами угледобывающего производства / И.В. Петров, И.А. Меркулина, Т.В. Харитоновна и др. // Уголь. 2020. № 9. С. 59-64. DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-59-64.
15. Новоселов А.Л., Петров И.В. Моделирование использования вторичных минеральных ресурсов // Горный журнал. 2019. № 7. С. 80-84.
16. Recreating a Functioning Forest Soil in Reclaimed Oil Sands in Northern Alberta: An Approach for Measuring Success in Ecological Restoration / S.M. Rowland, C.E. Prescott, S.J. Grayston et al. // Journal of environmental quality. 2009. No 38. P. 1580-1590.
17. Сайт фотографа Гарта Ленца. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garthlenz.com> (дата обращения: 15.03.2023).
18. Петров И.В., Уткин И.И., Джайянт В.Б. Предложения по декарбонизации угольной промышленности и устойчивому развитию обособленных регионов на основе подземной газификации углей // Уголь. 2022. № 9. С. 41-46. DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-41-47.
19. Elumalai P., Parthipan P., Narenkumar J. et al. Role of thermophilic bacteria (Bacillus and Geobacillus) on crude oil degradation and biocorrosion in oil reservoir environment // 3 Biotech. 2019. Vol. 9. P. 79. DOI: 10.1007/s13205-019-1604-0 EDN: AASNMP.

20. Berkadu A.A., Quanyuan Chen. Surfactant-Enhanced Soil Washing for Removal of Petroleum Hydrocarbons from Contaminated Soils: A Review // *Pedosphere*. 2018. Vol. 28. Is. 2. P. 383-410.

21. Якуцени С.П. Политическая экология. Взгляд из России. М., Берлин: Директ-Медиа, 2017. 353 с.

## Original Paper

UDC 622.882 © S.P. Yakutseni, A.V. Fedash, Chin Quoc Vinh, 2023  
ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 4, pp. 73-78  
DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-4-73-78>

## Title

## ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF NATURAL RECLAMATION OF LANDS CONTAMINATED WITH POTENTIALLY TOXIC ELEMENTS OF HYDROCARBON RAW MATERIALS

## Authors

Yakutseni S.P.<sup>1</sup>, Fedash A.V.<sup>1</sup>, Chin Quoc Vinh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, 119991, Russian Federation

## Authors Information

**Yakutseni S.P.**, PhD (Geologo-Mineralogical), Associate Professor of the Department of Geoecology, e-mail: [spyakutseni@gmail.com](mailto:spyakutseni@gmail.com)

**Fedash A.V.**, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Department of Geoecology, e-mail: [Fedash.AV@yandex.ru](mailto:Fedash.AV@yandex.ru)

**Trinh Quoc Vinh**, Postgraduate student of the Department of Geoecology, e-mail: [vinhtq95@gmail.com](mailto:vinhtq95@gmail.com)

## Abstract

The article is devoted to the assessment of the possibilities of natural reclamation of lands contaminated with potentially toxic elements as a result of the extraction and processing of hydrocarbon raw materials. The authors carried out a comparative analysis of approaches to assessing the possibility of natural reclamation of lands affected by the processes of extraction, processing and use of hydrocarbons; investigated information about the natural geochemical background of soils, including the content of potentially toxic elements (PTE) in natural soils; the processes of natural soil reclamation in different landscapes, with different soil composition and depending on the technologies of hydrocarbon extraction are considered. In the article, based on geoecological approaches, the natural process of dispersion and transfer of anthropogenic pollutants from large areas of land to the water area, as the lower basis of erosion, during natural weathering processes, is investigated. The factors requiring consideration in the design of facilities for the extraction, processing and use of subsurface resources have been identified.

## Keywords

Land reclamation, Potentially toxic elements, Hydrocarbons, Ecology, Natural soil restoration, Impact assessment, Geoecology, Biota.

## References

1. Fedash A.V., Vartanov A.Z. & Petrov I.V. Problems of Innovative Development of the Fuel and Energy Industry in Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 012015.
2. Vartanov A.Z., Petrov I.V. & Fedash A.V. Risk-Oriented Provision of Mining Operations Safety at the Enterprises of Mineral Resources Sector in Russia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018, 012014.
3. Gennadiev A.N. & Pikovskii Yu.I. The Maps of Soil Tolerance toward Pollution with Oil Products and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Methodological Aspects. *Eurasian Soil Science*, 2007, Vol. 40, (1), pp. 70-81.
4. Min Zhang, Jinman Wang & Yu Feng. Temporal and spatial change of land use in a largescale opencast coal mine area. A complex network approach. *Land Use Policy*, 2019, (86), pp. 375-386.
5. Vinogradov A.P. Geochemistry of rare and trace elements in soils. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR, Moscow, 1950, 276 p. (In Russ.).
6. Vinogradov A.P. The average content of chemical elements in the main types of igneous rocks in the earth's crust. *Geokhimiya*, 1962, (7), pp. 555-571. (In Russ.).
7. State report "On the state of the natural environment of the Russian Federation in 1998. State Committee of the Russian Federation for Environmental Protection, ed. II, Moscow, 2000, 498 p. (In Russ.).
8. Sokolov A.S. & Krasnov A.A. Ecological and geochemical assessment of phosphate ores. *Otechestvennaya Geologiya*, 1999, (5), pp. 69-76. (In Russ.).

9. Ivatanova N.P. & Stoyanova I.A. ESG-investing – a new approach to the sustainable development of the Arctic regions of Russia. *Izvestiya Tul'skogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o zemle*, 2021, (4), pp. 610-619. (In Russ.).

10. Leadin S. Khudur, Esmaeil Shahsavar, Grant T. Webster, Dayanthi Nugugoda & Andrew S. Ball. The impact of lead co-contamination on ecotoxicity and the bacterial community during the bioremediation of total petroleum hydrocarbon-contaminated soils. *Environmental Pollution*, 2019, (253), pp. 939-948.

11. Romanov V.A. Scattering flux of chemical elements in space-time coordinates. *Izvestiya Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Nauki o zemle*, 2012, Vol. 5, (2), pp. 196–208. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/potok-rasseyaniya-himicheskikh-elementov-v-koordinatah-prostranstva-vremeni/viewer> (accessed 15.03.2023).

12. Khrustalev Yu.P. & Ivlieva O.V. Anthropogenic sedimentation in the Sea of Azov. Moscow, Geoinformmark Publ., 1999, 54 p. (In Russ.).

13. Lanina T.D., Litvinenko V.I. & Varfolomeev B.G. Processes of processing formation waters of hydrocarbon deposits: monograph. Ukhta, USTU Publ., 2006, 172 p. (In Russ.).

14. Petrov I.V., Merkulina I.A., Haritonova T.V. & Kolesnik G.V. Methodological approaches to organization and assessment of coal mine waste management system. *Ugol'*, 2020, No. 9, pp. 59-64. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2020-9-59-64.

15. Novoselov A.L. & Petrov I.V. Modeling the use of secondary mineral resources. *Gornyy Zhurnal*, 2019, (7), pp. 80-84. (In Russ.).

16. Rowland S.M., Prescott C.E., Grayston S.J., Quideau S.A. & Bradfield G.E. Recreating a Functioning Forest Soil in Reclaimed Oil Sands in Northern Alberta: An Approach for Measuring Success in Ecological Restoration. *Journal of environmental quality*, 2009, (38), pp. 1580-1590.

17. Website of the photographer Garth Lenz. [Electronic resource]. Available at: <http://www.garthlenz.com> (accessed 15.03. 2023). (In Russ.).

18. Petrov I.V., Utkin I.I. & Jayant V.B. Proposals for decarbonization of the coal industry and sustainable development of isolated regions based on underground coal gasification. *Ugol'*, 2022, (9), pp. 41-47. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2022-9-41-47.

19. Elumalai P., Parthipan P., Narenkumar J. et al. Role of thermophilic bacteria (*Bacillus* and *Geobacillus*) on crude oil degradation and biocorrosion in oil reservoir environment. *3 Biotech*, 2019, (9), pp. 79.

20. Berkadu A.A. & Quanyuan Chen. Surfactant-Enhanced Soil Washing for Removal of Petroleum Hydrocarbons from Contaminated Soils: A Review. *Pedosphere*, 2018, Vol. 28, (2), pp. 383-410.

21. Yakutseni S.P. Political ecology. View from Russia. Moscow, Berlin, Direct-Media Publ., 2017, 353 p. (In Russ.).

## For citation

Yakutseni S.P., Fedash A.V. & Chin Quoc Vinh. Assessment of the possibility of natural reclamation of lands contaminated with potentially toxic elements of hydrocarbon raw materials. *Ugol'*, 2023, (4), pp. 73-78. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-4-73-78.

## Paper info

Received February 15, 2023

Reviewed February 28, 2023

Accepted March 27, 2023