

ISSN 1997-8650 (Print)
ISSN 2587-8255 (Online)

10/2017

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

ENGINEERING SURVEY

ВСЕРОССИЙСКИЙ
НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

Саморегулируемая организация



Ассоциация
«Инженерные изыскания
в строительстве»



ИГИИС



ООО НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ



СОБЫТИЯ И МНЕНИЯ

Королёв В.А., Нестеров Д.С.

Итоги международной конференции EREM-2017 —

Электрокинетическая очистка грунтов от загрязнений 14

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Кропоткин М.П.

Гравитационные склоновые процессы — оценки опасности и проблемы

нормирования расчетов 24

Колюбакин А.А., Росляков А.Г., Миронюк С.Г., Пирогова А.С.,

Токарев М.Ю., Ксенофонтова М.А.

Изучение приоритетных геологических опасностей при подготовке

к поисково-разведочным работам на шельфе моря Лаптевых 36

ИНЖЕНЕРНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Аблаков А.Д., Базарова Н.Б.

Воздействие горнодобывающей промышленности на окружающую

среду в Байкальском регионе 54

ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ

Клименко Д.Е.

Опыт применения односторонне-усеченного лог-нормального распределения

к расчетам максимального стока дождевых паводков на малых реках 66

ПРИЛОЖЕНИЯ

Воспоминания

Кашараба О.В.

Сотрудничество между СССР и Народной Республикой Ангола

в области геодезии и картографии 72

Лирическое грунтоведение

Глумова Г.М. (составитель)

Пески в зарубежной и русской поэзии (сборник). Раздел VI. Часть 3 78



По вопросам подписки обращайтесь в редакцию:
+7 (495) 210-63-90, www.geomark.ru



ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

Международный научно-практический журнал

ISSN: 1997-8650 (Print), ISSN: 2587-8255 (Online)

Журнал включен в перечень научных журналов, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Издается с января 2007 г.

Выходит 12 раз в год, ежемесячно.

УЧРЕДИТЕЛЬ

ООО «Геомаркетинг», 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 18

ИЗДАТЕЛЬСТВО

ООО «Геомаркетинг», 105187, г. Москва, Окружной проезд, д. 18

РЕДАКЦИЯ

Торбина Екатерина

генеральный директор

Шанина Виолетта

литературный редактор

Крюков Павел

отдел рекламы

Лузганов Григорий

отдел подписки

ИП Гилманов М.А.

допечатная подготовка, дизайн и верстка

АДРЕС РЕДАКЦИИ

ООО «Геомаркетинг»
107076, РФ, Москва, ул. Электrozаводская, д. 60
Тел. +7 495 210-63-90, +7 495 210-63-06
E-mail: info@geomark.ru
http://geomark.ru

ТИПОГРАФИЯ

ООО «Медиаколор», 107076, РФ, Москва, ул. Вольная, д. 28

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Богданов М.И.

Кандидат геолого-минералогических наук, генеральный директор ООО «ИГИИС», президент Координационного совета Ассоциации «Инженерные изыскания в строительстве», член Международной ассоциации по инженерной геологии и окружающей среде (МАИГ), действительный член Института минералов, материалов и горного дела (ИОМЗ, Великобритания), член Международной организации по стандартизации, ИСО (Москва, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Алабян А.М.

Кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Вознесенский Е.А.

Доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Коваленко В.Г.

Доктор геолого-минералогических наук, профессор геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, государственный эксперт-инженер ГАУ «Мосгосэкспертиза» (Москва, Россия)

Лехов М.В.

Кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, федеральный эксперт Министерства образования и науки РФ (Москва, Россия)

Малинников В.А.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой космического мониторинга и экологии МИИГАиК (Москва, Россия)

Модин И.Н.

Доктор технических наук, профессор кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Середин В.В.

Доктор геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой инженерной геологии и охраны недр ПГНИУ, генеральный директор ООО «НЕДРА» (Пермь, Россия)

Середович В.А.

Кандидат технических наук, профессор, начальник управления научно-исследовательских работ НГАСУ (Новосибирск, Россия)

Теличенко В.И.

Доктор технических наук, президент НИУ МГСУ, академик РААСН (Москва, Россия)

Трофимов В.Т.

Доктор геолого-минералогических наук, советник ректората, заведующий кафедрой инженерной и экологической геологии геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва, Россия)

Яблонский Л.И.

Кандидат технических наук, заместитель директора Федерального научно-технического центра геодезии, картографии и инфраструктуры пространственных данных (Москва, Россия)

Свидетельство о регистрации средства массовой информации: ПИ № ФС77-495 от 20 апреля 2012 г.

Подписка может быть оформлена в редакции, через Агентство «Роспечать», ГК «Урал-Пресс», ООО «Информнаука» (подписной индекс 71509).

Электронная версия: www.engineeringsurvey.ru/jour

www.elibrary.ru

Подписано в печать 29.12.2017

Формат бумаги 50x70/8. Бумага мелованная. Печать цифровая.

Тираж 1500 экз.

В статьях представлена точка зрения авторов, которая может не совпадать с мнением редакции журнала.

За содержание рекламных материалов редакция ответственности не несет.

© ООО «Геомаркетинг», 2017

EVENTS AND OPINIONS

Korolev V.A., Nesterov D.S.

Results of the international conference EREM-2017 — Electrokinetic clearing
of soils from pollution14

ENGINEERING-GEOLOGICAL SURVEYS

Kropotkin M.P.

Gravity slope processes — hazard analysis and the problems of calculation rating24

Kolyubakin A.A., Roslyakov A.G., Mironyuk S.G., Pirogova A.S.,

Tokarev M.Y., Ksenofontova M.A.

Study of priority geological hazards in preparation for prospecting
and exploration on the Laptev sea shelf36

ENGINEERING-ECOLOGICAL SURVEYS

Abalakov, A.D., Bazarova, N.B.

Impact of mining industry on the environment in the Baikal region54

ENGINEERING-HYDROMETEOROLOGICAL SURVEYS

Klimenko D.E.

The experience of applying a one-sided truncated log-normal distribution
to calculations of the maximum run-off of rain floods in small rivers66

SUPPLEMENTS

Memories

Kasharaba O.V.

Cooperation between the USSR and the People's Republic of Angola72
in the field of geodesy and cartography

Lyrical soil science

Glumova G.M. (compiler)

Sands in the foreign and Russian poetry (collection). Part VI (3)78



По вопросам подписки обращайтесь в редакцию:
+7 (495) 210-63-90, www.geomark.ru

ENGINEERING SURVEY

International scientific and practical journal

ISSN: 1997-8650 (Print), ISSN: 2587-8255 (Online)

The journal is included in the list of scientific journals recommended by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation for the publication of scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences.

Published since January 2007.

Issued 12 times a year, monthly.

FOUNDER

“Geomarketing” LLC, 105187, Russian Federation, Moscow, Okružhnoy Proezd, 18

PUBLISHER

“Geomarketing” LLC, 105187, Russian Federation, Moscow, Okružhnoy Proezd, 18

JOURNAL EDITORING

Torbina Ekaterina

general director

Shanina Violetta

literary editor

Kryukov Pavel

advertising department

Luzganov Grigoriy

subscription department

Individual entrepreneur Gilmanov M.A.

prepress, design and layout

CONTACTS

“Geomarketing” LLC

107076, Russian Federation, Moscow, Elektrozavodskaya St., 60

Tel. +7 495 210-63-90, +7 495 210-63-06

E-mail: info@geomark.ru

<http://geomark.ru>

PRINTING HOUSE

“Mediacolor”, 105187, Russian Federation, Moscow, Volnaya St., 28

EDITOR IN CHIEF

BOGDANOV M.I.

PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), Director of “IGIIS” Ltd., President of the Coordination Council of the Association

“Engineering Surveys in Construction”, member of The International Association for Engineering Geology and the Environment (IAEG), full member of The Institute of Materials, Minerals and Mining (IOM3, UK), member of The International Organization for Standardization (ISO) (Moscow, Russia)

EDITORIAL BOARD

Alabyan A.M.

PhD (Candidate of Science in Geography), associate professor of the Department of Land Hydrology, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Voznesenskii E.A.

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Kovalenko V.G.

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, state expert-engineer of SAI “Moscow State Expertise” (Moscow, Russia)

Lekhov M.V.

PhD (Candidate of Science in Geology and Mineralogy), leading research scientist of the Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, federal expert of the Ministry of Education and Science of Russian Federation (Moscow, Russia)

Malinnikov V.A.

DSc (Doctor of Science in Technics), professor, head of the Department of Space Monitoring and Ecology, Moscow State University of Geodesy and Cartography (Moscow, Russia)

Modin I.N.

DSc (Doctor of Science in Technics), professor of the Department of Geophysics, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Seredin V.V.

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), head of the Department of Engineering Geology and Mineral Resources Protection, Perm State National Research University, general director of “Nedra” LLC, (Perm, Russia)

Seredovich V.A.

PhD (Candidate of Science in Technics), professor, head of the Department of Scientific Research, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Novosibirsk, Russia)

Telichenko V.I.

DSc (Doctor of Science in Technics), President of the Moscow State University of Civil Engineering, academician of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (Moscow, Russia)

Trofimov V.T.

DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), councilor of the administration, professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University (Moscow, Russia)

Yablonskiy L.I.

PhD (Candidate of Science in Technics), deputy director of the Federal Scientific and Technical Centre for Geodesy, Cartography and Spatial Data Infrastructure (Moscow, Russia)

Electronic version: www.engineeringsurvey.ru/jour

www.elibrary.ru

Signed in print 29.12.2017

Edition 1 500 psc.

© “Geomarketing” LLC



DOI 10.25296/1997-8650-2017-10-14-22

УДК 624.131.4:502/504:537.363

ИТОГИ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ EREM-2017 — ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА ГРУНТОВ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

КОРОЛЁВ В.А.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, va-korolev@bk.ru

НЕСТЕРОВ Д.С.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, dsnesterovmsu@gmail.com

Аннотация: приводится аналитический обзор состояния современных исследований в области электрокинетических технологий для очистки грунтов и подземных вод от различных загрязнителей и результаты их практического применения по материалам 17-го Международного симпозиума EREM-2017, состоявшегося в университете Конкордия (Монреаль, Канада). Рассмотрены результаты исследований электрокинетического метода очистки грунтов от тяжелых металлов, органических загрязнителей, биоэлектрокинетические технологии, а также вопросы практической реализации проектов. Показано, что электрокинетические методы являются эффективными для очистки грунтов от широкого спектра токсикантов. Универсальность этого метода обуславливает его широкое применение в разных странах, в связи с чем продолжаются теоретические и практические исследования по его дальнейшему совершенствованию и обоснованию промышленных технологий на его основе. Весьма перспективным направлением является комплексирование электрокинетического метода с другими воздействиями на грунты. Это направление исследований в мире развивается наиболее интенсивно. В частности, активно разрабатываются различные варианты биоэлектрокинетической очистки грунтов, шламов и сточных вод, основанные на совместном действии на грунт электрического поля и различных культур микро- и макроорганизмов. Таким образом, область применения электрокинетических технологий для решения экологических задач постоянно расширяется, наряду с грунтами в нее вовлекается очистка сточных вод, промышленных отходов и др. объектов. В России аналогичные работы пока ведутся на уровне лабораторных исследований, а не промышленных технологий. Отечественные исследования в этой области находятся на мировом уровне.

Ключевые слова: электрокинетическая очистка грунта; загрязнение; токсикант; тяжелые металлы; органические загрязнители

Ссылка для цитирования: Королёв, В.А., Нестеров, Д.С., 2017. Электрокинетическая очистка грунтов от загрязнений: итоги международной конференции EREM-2017. Инженерные изыскания, № 10, с. 14–22, DOI 10.25296/1997-8650-2017-10-14-22.

RESULTS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE EREM-2017 — ELECTROKINETIC CLEARING OF SOILS FROM POLLUTION

KOROLEV V.A.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, va-korolev@bk.ru

NESTEROV D.S.

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, dsnesterovmsu@gmail.com

Annotation: the paper presents analytical review of modern researches in the field of electrokinetical technologies of soil and groundwater decontamination from various pollutants and their practical application by the materials of the Electrokinetic Remediation (EREM-2017) International Symposium taken place at Concordia University (Montreal, Canada). The results of studies of the electrokinetic method for cleaning soils from heavy metals, organic pollutants, bioelectrokinetic technologies, as well as industrial implementation of projects are considered. It is shown that electrokinetic methods are effective for cleaning soils from a wide range of toxicants. The universality of this method determines its wide application in different countries, in connection with which theoretical and practical studies continue on its further improvement and substantiation of industrial technologies based on it. A very promising direction is the integration of the electrokinetic method with other effects on soils. This direction of research in the world is developing most intensively. In particular, various variants of bioelectrokinetic cleaning of soils, sludges and wastewater are actively being developed, based on the joint action of electric field and various cultures of micro- and macroorganisms on the soil. Thus, the field of application of electrokinetic technologies for solving environmental problems is constantly expanding, along with soils, wastewater treatment, industrial wastes and other objects are involved. In Russia, similar work is still conducted at the level of laboratory research, rather than industrial technology. However, the level of domestic research in this area is not inferior to the world one.

Key words: electrokinetic decontamination of soils; pollution; toxicants; heavy metals; organic pollutants

For citation: Korolev, V.A., Nesterov, D.S., 2017. Electrokinetic clearing of soils from pollution: to the results of the international conference EREM-2017. *Engineering Surveys*, no. 10, pp. 14–22, DOI 10.25296/1997-8650-2017-10-14-22.

Введение

Вопросы электрокинетической очистки грунтов от загрязнений являются весьма актуальными в условиях современного обострения экологического кризиса и всё возрастающего загрязнения окружающей среды. Электрокинетические методы позволяют удалять из грунтов различные токсиканты: тяжелые металлы, органические загрязнители, углеводороды, радионуклиды и др., в связи с чем они входят в арсенал современных технологий управления состоянием эколого-геологических систем. Актуальные исследования обсуждаются на международных конференциях по электрокинетической очистке грунтов EREM (Electrokinetic Remediation). Очередная, 17-я конференция EREM-2017, в которой приняли участие авторы [9], состоялась с 6 по 8 августа 2017 года в университете Конкордия в Монреале (Канада).

Председателем Организационного комитета EREM-2017 стала профессор университета Конкордия — Мария Электорович — известный канадский специалист в области электрокинетики (рис. 1). Члены комитета — крупные исследователи электрокинетической

очистки грунтов: А. Альшвабке (США), К. Баек (Южная Корея), П. Дрогул (Канада), Г. Лох (Нидерланды), Я. Олешкевич (Канада), Л. Оттозен (Дания), С. Памуку (США), К. Редди (США), А.Б. Рибейро (Португалия).

Главные темы обсуждаемой проблемы рассматривались на пяти секциях конференции: 1) теоретические вопросы электрокинетической очистки грунтов; 2) электрокинетическая очистка грунтов от тяжелых металлов; 3) электрокинетическая очистка грунтов от органических загрязнений; 4) биоэлектрокинетическая очистка грунтов; 5) промышленные технологии электрокинетической очистки грунтов.

Основные итоги конференции EREM-2017, характеризующие современное состояние теоретических и практических работ по электрокинетической очистке грунтов от различных загрязнений, излагаются в настоящей статье.

Теоретические вопросы электрокинетической очистки грунтов

Многие доклады на конференции были посвящены теоретическим аспектам и моделированию процессов электроки-



Рис. 1. Профессор Мария Электорович

нетической миграции загрязнений в грунтах. Например, в докладе А. Аллреда и др. [1] рассматривался теоретический и методологический подход по объединению областей знаний об электрокинетических явлениях и гидродинамике в единое поле знаний — электрокинетическую гидродинамику, что позволит успешнее моделировать протекание электрокинетических процессов в грунтах.

М. Маци, А. Цессарини, Р. Ианнелли [12] представили результаты моделирования электрокинетической очистки осадка в рамках проекта SEKRET (Италия), по итогам которого авторами были предложены оптимальные параметры

системы очистки шламов в полевых условиях при различных физико-химических характеристиках осадка для снижения стоимости работ (рис. 2). Кроме того, М. Маси и др. [13] была показана необходимость учёта при моделировании процессов электрокинетической очистки грунтов протекания «медленных» реакций между разными фазами (например, растворение кальцита). Приведенные указанными исследователями данные моделирования и полевых экспериментов показывают хорошую сходимость.

Теоретические вопросы влияния различных анионов и катионов на процесс электрокинетической очистки и осушения грунта были рассмотрены Л. Ху, Л. Чжэнг, Х. Ву [6]. Ими было установлено, что в глинистом грунте анионы слабо влияют на протекание электрокинетических явлений. Решающее влияние оказывает состав катионов порового раствора: присутствие Na^+ увеличивает эффективность осушения и очистки по сравнению с дистиллированной водой, а Cu^{2+} — наоборот, снижает.

А. Лобс и др. [11] продемонстрировали проведение очистных мероприятий на всех стадиях: разработка системы очистки, лабораторные тесты по очистке грунта рассматриваемой территории и непосредственное проведение очистки в поле (рис. 3). При полевых испытаниях ими была достигнута степень извлечения тяжёлых металлов (Cu, Cd, Zn, Ni, Cr, Pb) от 60% (Cr, Ni) до 90% (Zn). Кроме того, показано, что одним из решающих факторов, определяющих расход реагентов при очистке грунтов, является положение грунтовых вод.

Также в описываемой секции был представлен доклад авторов [9], в котором рассматривалась возможность применения глинистых грунтов в качестве материала для электрокинетического реакционного барьера путем регулирования заряда глинистых частиц. Авторами показано, что для эффективного использования глин в качестве экрана против конкретного загрязнителя необходимо знать их характеристики точек нулевого заряда, при которых происходит перезарядка частиц и коренное изменение защитных свойств глин.

Электрокинетическая очистка грунтов от тяжелых металлов

Подавляющее число докладов на конференции EREM-2017 было посвящено электрокинетическому удалению из грунтов и подземных вод тяжелых металлов и неорганических загряз-

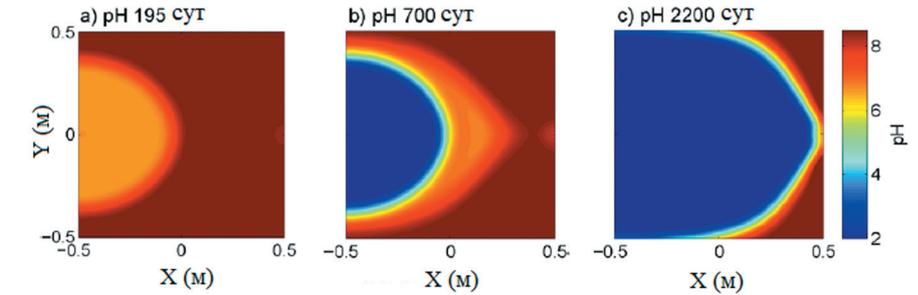


Рис. 2. Результаты расчетов плоской модели: (а–с) — распределение pH в грунте через 195, 700 и 2200 сут. электрокинетической обработки (с изменениями) [12]

нений. Многочисленные исследования показывают, что этим методом можно удалять из грунтов подавляющее число различных тяжелых и иных металлов, таких как: цинк [8, 14], свинец [2, 8, 17], кадмий [8], марганец [14], селен, литий, железо [8, 17], мышьяк [8], хром [8], медь [8] и др.

К. Редди, О. Карака, К. Камеселле [17] представили результаты исследований по удалению Fe и Pb из хвостов шахтных дренажей и осадков кислотных озёр в районе г. Канаккале (Турция). При проведении электрокинетической очистки за девять дней было удалено 20 % тяжёлых металлов из осадка. Авторы доклада показали экономическую неэффективность электрокинетических методов для очистки такой крупной территории и рекомендовали в качестве альтернативного метода фиторемедиацию (создание растительного покрова).

Возможность совместного использования улучшенной электрокинетической обработки с замкнутым циклом циркуляции электролита и фиторемедиации была представлена Дж.-Х. Чэнг и Ш.-Й. Шен [2]. Ими установлено, что при очистке пылеватого суглинка от свинцового загрязнения применение комплексной схемы «электрокинетическая очистка — фиторемедиация — электрокинетическая очистка» позволяет удалить до 60% Pb за четыре месяца. Применение фиторемедиации позволяет перевести часть адсорбированного на карбонатах и оксидах свинца в растворимое состояние, что повышает эффективность повторной очистки.

Г. Киркелунд и др. [8] провели сравнение эффективности электродиалитической очистки широко спектра грунтов (от озерного осадка до золы уноса) от тяжелых металлов (Zn, Cd, Pb) при использовании двух и трех отсековых электродиалитических ячеек. Авторы доклада показали, что использование ячеек определенного типа для эффективной очистки зависит от особен-



Рис. 3. Полевая установка для электрокинетической очистки территории от тяжелых металлов: система катодов (синие оголовки) и анодов (белые) [11]

ностей очищаемого грунта. Так, ячейка с двумя отсеками позволяет эффективно и экономически менее затратно очищать грунты, в которых металлы находятся в растворенном состоянии; для всех других грунтов эффективнее использовать ячейку с тремя отсеками. Правильный выбор способа очистки в лаборатории помогает разработать эффективную систему очистки в полевых условиях.

Совместное удаление из шахтных хвостов Mn и Zn в течение пяти–семи дней очистки по разным схемам (различные сила тока и затраты кислоты) рассмотрено авторским коллективом Р. Ортиз и др. [14]. Авторами установлено, что степень удаления марганца не зависит от приложенной силы тока, в то время как значительная степень очистки грунта от цинка достигается при напряженности электрического тока $E > 1$ В/см. В связи с этим авторы предложили для уменьшения экономических затрат использовать последовательную схему удаления подобных загрязнений: сначала удаляется Mn при малой напряженности электрического тока, затем грунт очищается от Zn в более сильном электрическом поле.

В докладах ряда авторов (С.Ф. Пена, Х. Хансен, Ф.Ф. Пуйол Посо и др.) рассмотрено применение метода электрокоагуляции для очистки осадков от металлов и др. веществ.

Электрокинетическая очистка грунтов от органических загрязнений

Значительное число работ участников конференции касалось вопросов электрокинетической очистки грунтов, подземных и сточных вод от углеводородов и высокотоксичных органических загрязнителей, в том числе бифенилов. В докладе Л. Раджик и др. [16] освещался вопрос удаления трихлорэтилена из подземных вод путем разложения с помощью биполярных электродов, создающих в грунте локальные зоны окисления или восстановления. Достигнутая авторами степень удаления трихлорэтилена составила 70 %.

Г.С.С. Янг и Й.-Ш. Джен представили результаты очистки речных осадков от полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) с помощью комбинированной электрокинетической технологии [19]. Предложенный ими метод очистки заключается в совместном применении электрокинетического процесса и «Фентон-подобной реакции» (окисления углеводородов с помощью реактива, содержащего H_2O_2). Максимальная степень очистки речного осадка от 16 разновидностей ПАУ, достигнутая авторами через 30 дней эксперимента, составила 95%, что говорит о высокой перспективности этого способа.

Возможность удаления из глинистого грунта высокотоксичного и труднорастворимого в воде антиоксиданта бифенила-А рассмотрена В.-П. Лиаоа и П.-Ч. Лаи [10]. Данные авторы провели лабораторные эксперименты по удалению из модельного образца (1:1 по массе каолинит: кварцевый песок) бифенила-А с добавлением двух различных сурфактантов, а также NaOH (рис. 4). Максимальная степень удаления бифенила-А при использовании сурфактантов достигла 57 %, а при добавлении NaOH — 92%. Высокая степень очистки грунта при использовании NaOH обусловлена диссоциацией поверхностных групп бифенила-А при реагировании со щёлочью, из-за чего частицы бифенила-А приобретают отрицательный заряд и интенсивно переносятся к катоду.

И. Кариминежад и М. Электорович привели данные по использованию электрокинетических технологий для фазового разделения нефтяных

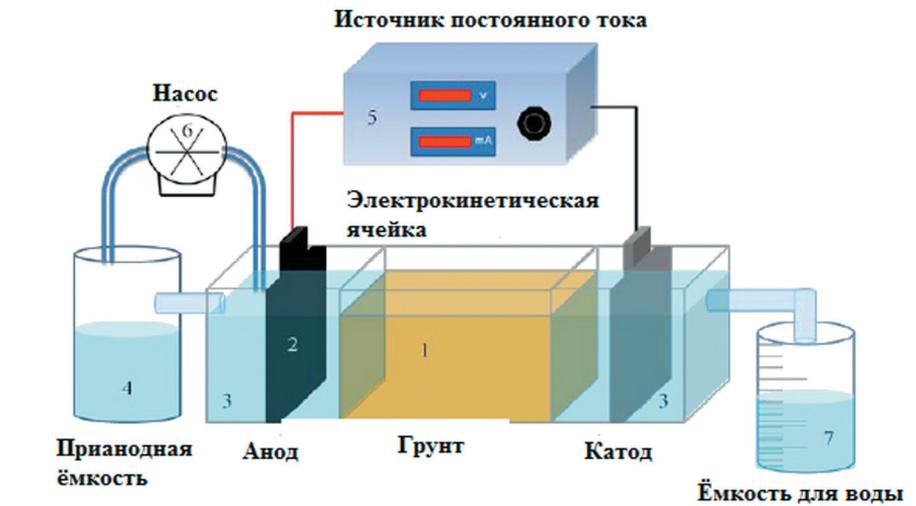


Рис. 4. Схема электрокинетического оборудования для удаления бифенила-А из грунта (с изменениями) [9]

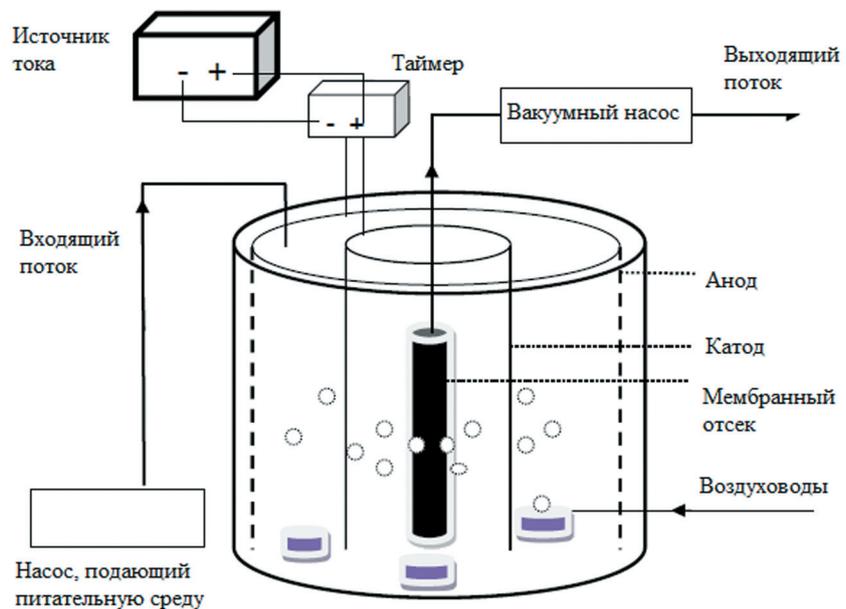


Рис. 5. Схема пилотного погружного мембранного электробиореактора (SMEBR) (с изменениями) [7]

шламов. Ими установлено, что применение различных режимов тока (постоянного, переменного, импульсного и др.) позволяет подобрать оптимальные условия для фазового разделения шлам на составляющие: воду, летучие и нелетучие углеводороды и твердые компоненты. При этом основными процессами разделения являются электроосмос, электрофорез, электроэмульсификация и электроседimentация (электрокоагулирование).

Биоэлектрокинетическая очистка грунтов

Конференция EREM-2017 показала, что в настоящее время в разных странах активно развиваются технологии био-

электрокинетической очистки грунтов от загрязнений. Они основаны на совместном действии электрокинетических процессов и живых организмов (микроорганизмов или растений) на токсиканты. При этом электрическое поле может повышать (или регулировать) активность организмов, и тем самым повышать эффективность биоремедиации, создавать оптимальные условия для развития полезных микроорганизмов и т.п.

Несколько докладов касались такой важной темы как биоэлектрокинетическая очистка грунтов или сточных вод. Так, Ш. Ибеид и др. [7] представили доклад об использовании погружного мембранного электробиореактора (SMEBR)

для удаления соединений азота и фосфора из сточных вод (рис. 5). Авторами была достигнута степень удаления соединений N и P около 90% в течение 95 дней при использовании электробиореактора с добавлением питательной среды для аммоний-окисляющих бактерий, а без использования — 70%. Таким образом, они показали, что электробиореактор можно эффективно использовать для обработки сточных вод с целью предотвращения эвтрофикации водоемов.

Н. ЭлНакер и др. [4] представили результаты своего исследования, посвященного влиянию электрического поля на метаболизм бактерий и рост клеток в электробиореакторе (рис. 6). Авторами установлено, что максимальное положительное влияние электрического тока на жизнедеятельность организмов достигается при плотности тока 10 A/m^2 ; при этом степень удаления соединений P за счет метаболизма бактерий возрастает с 40 до 99 %, а степень удаления аммонийных соединений с 65 до 99 % по сравнению с биореактором без приложения электрического поля. Более высокая степень очистки достигалась за счет совместного действия электрокоагуляции частиц в сточных водах и стимуляции процесса биоразложения бактериями за счет действия электрического поля.

М. Электорович и др. [3] рассмотрели возможность повышения эффективности очистки сточных вод путем последовательной смены биохимических обстановок в электробиореакторе. Так, последовательная очистка по схеме «бескислородное окисление аммония (Anammox) — мембранный электробиореактор (MEBR) — погружной мембранный электробиореактор (SMEBR) — SMEBR+Anammox» позволяет добиться 99%-ной степени удаления соединений азота и фосфора из сточных вод, что имеет большое экологическое значение.

Также А. Адам и М. Электорович привели данные по применению электробиореакторов для очистки ила и сточных вод в условиях низкотемпературного климата и морозных условий, что весьма актуально для северных стран.

Кроме того, рядом авторов (Г. Акоста-Сантойя, Х. Карденас, С. Планк, Э. Бустос и др.) показаны интересные результаты исследований по биоочистке почв, используемых в сельском хозяйстве, от углеводородных загрязнений и тяжелых металлов с помощью воздействия электрического поля. Ими было

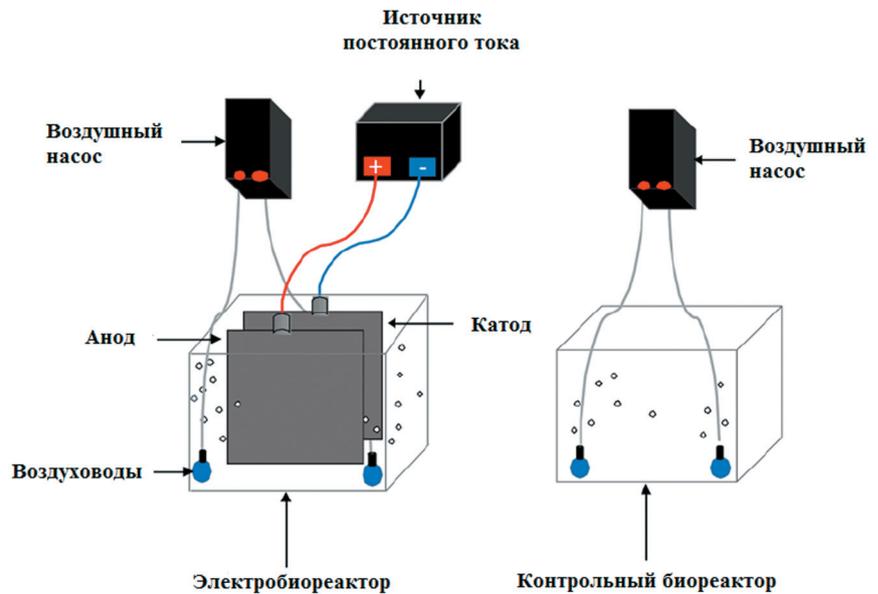


Рис. 6. Схема экспериментальной установки, состоящей из электробиореактора и контрольного биореактора (с изменениями) [4]



Рис. 7. Закладка загрязненного осадка в бассейн-накопитель (a) и процесс его электрокинетической очистки (b) [12]: 1 — пленочное покрытие; 2 — электроды; 3 — электрический кабель; 4 — грунт

показано, что воздействие электрического тока повышает эффективность фиторемедиации почв от этих токсикантов.

М. Электорович и Э. Сафеи с коллегами привели результаты исследований по обеззараживанию патогенных шла-

мов с помощью электрокинетических технологий.

Промышленные технологии электрокинетической очистки грунтов

В отдельной секции были рассмотрены вопросы промышленной очистки грунтов и сточных вод электрокинетическими методами. Эти работы активно развиваются в Нидерландах, Дании, Италии, Китае и др. странах, однако всё ещё не нашли широкого практического применения. Причинами сложившейся ситуации являются не научно-технологические проблемы, а в основном — недостаток средств, выделяемых на проведение работ по реабилитации загрязнённых территорий.

В работе [12] были представлены результаты применения промышленной технологии для электрокинетической очистки загрязнённых осадков в бассейне-накопителе большого объема (рис. 7).

Влияние конструкции промышленной электродиалитической установки на эффективность удаления и разложения трех основных фармацевтических загрязнителей в сточных водах освещено А. Феррейрой и др. [5]. Наибольшая степень разложения загрязнителя была достигнута в оригинальной одноотсековой ячейке, не содержащей ионоселективных мембран.

Л. Оттосен и др. [15] проведен ряд опытов по электродиалитическому уда-

лению соединений фосфора из пепловых осадков отстойного бассейна-накопителя. Указанными авторами обнаружено, что наибольшая эффективность очистки достигается при длительности электрокинетической обработки шесть дней, так как в дальнейшем становится значительным влияние реакций комплексообразования соединений фосфора с ионами Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , которые снижают эффективность. При этом было показано, что вместо постоянного перемешивания суспензии можно использовать периодическое (четыре раза по одному часу в день) для экономии энергии без снижения степени извлечения Р.

В. Вей и др. [18] рассмотрели применение при очистке сточных вод свиноферм двухстадийной улучшенной электроиницированной реакции Фентона — реакции выделения радикалов $\bullet\text{OH}$ за счет взаимодействия Fe^{3+} с H_2O_2 . В ходе первой стадии при $\text{pH} \approx 3$ проводилось электроразложение органических загрязнителей (достигалась степень удаления 85 %), затем на второй стадии создавалась слабощелочная среда и происходило удаление соединений фосфора (до 99 %).

Заключение

Конференция EREM-2017 подтвердила, что электрокинетические методы являются эффективными для очистки грунтов от широкого спектра токсикантов: тяжелых металлов, органических и

комплексных загрязнителей. Универсальность этого метода обуславливает его широкое применение в разных странах, в связи с чем продолжаются теоретические и практические исследования по его дальнейшему совершенствованию и обоснованию промышленных технологий на его основе.

Весьма перспективным направлением является комплексирование электрокинетического метода с другими воздействиями на грунты. В мире это направление исследований развивается наиболее интенсивно. В частности, активно разрабатываются различные варианты биоэлектрокинетической очистки грунтов, шламов и сточных вод, основанные на совместном действии на грунт электрического поля и различных культур микро- и макроорганизмов.

Таким образом, область применения электрокинетических технологий для решения экологических задач постоянно расширяется, наряду с грунтами в нее вовлекается очистка сточных вод, промышленных отходов и др. объектов. К сожалению, в России подобные работы в основном пока ведутся на уровне лабораторных исследований, а не промышленных технологий. В то же время уровень отечественных исследований в этой области соответствует мировому.

Очередная конференция EREM-2018 состоится в университете Канаккале (Турция). 

Список литературы

- Allred, A.N., Blanton, S.M., Sanders, J.R., Arce, P.E., 2017. Electrokinetics-Hydrodynamics (EKHD): an efficient framework for cleaning electrokinetics. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 40–50.
- Chang, J.-H., Shen, S.-Y., 2017. The lead contaminated land treated by the circulation-enhanced electrokinetics and phytoremediation. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 98–109.
- Elektorowicz, M., Hosseini, S., Ibeid, S., 2017. Innovative SMEBR-Anammox system. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 126–128.
- ElNaker, N.A., Hasan, S.W., Yousef, A.F., 2017. Impact of electric field on the function and microbial community structure in electro-bioreactors. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 129–148.
- Ferreira, A.R., Guedes, P., Mateus, E.P., Couto, N., Ribeiro, A.B., 2017. Cell design in electrokinetic process: influence on PPCPs removal from slurry soil. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, p. 149.
- Hu, L., Zhang, L., Wu, H., 2017. Consolidation and remediation of clay with different ions through electrokinetic technique. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 259–270.
- Ibeid, S., Elektorowicz, M., Oleszkiewicz, J.A., 2017. Building up Anammox bacteria using electro-bioreactor. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 190–196.

8. Kirkelund, G.M., Jensen, P.E., Pedersen, K.B., Ottosen, L.M., 2017. Comparison of two- and three-compartment cells for electro-dialytic removal of heavy metals from contaminated material suspensions. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 229–238.
9. Korolev, V.A., Nesterov, D.S., 2017. Regulation of clay particles charge for design of protective electrokinetic barriers. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 239–248.
10. Liaoa, W.-P., Lai, P.-C., 2017. Effect of surfactant and sodium hydroxide on remediation of Biphenyl-A contaminated soil by electrokinetic process. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 249–258.
11. Lobs, A., Coremans, M., Xue, F., Cai, Q., Bao, C., 2017. Electrokinetic reclamation demonstration project in China. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 271–282.
12. Masi, M., Cessarini, A., Iannelli, R., 2017. Model-based optimization of field-scale electrokinetic remediation of marine sediments. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 292–300.
13. Masi, M., Paz-Garcia, J.M., Gomez-Lahoz, C., Villen-Gusman, M., Cessarini, A., Iannelli, R., 2017. Influence of chemical reaction kinetics on electrokinetic remediation modeling results. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 284–291.
14. Ortiz, R., Leala, D., Gutierrez, C., Aracena, A., Rojo, A., Hansena, H.K., 2017. Electrokinetic remediation of manganese and zinc in copper mine tailings. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 307–319.
15. Ottosen, L.M., Crespo, C.S.V., Jensen, P.E., Kirkelund, G.M. & Ribeiro, A.B., 2017. Electro-dialytic phosphorus recovery from suspended sewage sludge ash – continuous or periodical stirring. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 320–327.
16. Rajic, L., Fallahpour, N., Nazari, R., Alshawabkeh, A.N., 2017. Electrochemical degradation of trichloroethylene in aqueous solution by bipolar graphite electrodes. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 345–347.
17. Reddy, K.R., Karaca, O., Cameselle, C., 2017. Electrokinetic treatment of acid lake sediments and mine tailings: characterization and remediation possibilities. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 348–356.
18. Wei, V., Devlin, T., Zhang, X., Oleszkiewicz, J., 2017. Removal of Phosphorus and COD from hog manure by enhanced electro-Fenton process. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 411–413.
19. Yang, G.C.C., Jen, Y.-S., 2017. Remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediment by novel Fenton-like process coupled with electrokinetic process. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, p. 440.

References

1. Allred, A.N., Blanton, S.M., Sanders, J.R., Arce, P.E., 2017. Electrokinetics-Hydrodynamics (EKHD): an efficient framework for cleaning electrokinetics. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 40–50.
2. Chang, J.-H., Shen, S.-Y., 2017. The lead contaminated land treated by the circulation-enhanced electrokinetics and phytoremediation. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 98–109.
3. Elektorowicz, M., Hosseini, S., Ibeid, S., 2017. Innovative SMEBR-Anammox system. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 126–128.
4. ElNaker, N.A., Hasan, S.W., Yousef, A.F., 2017. Impact of electric field on the function and microbial community structure in electro-bioreactors. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 129–148.
5. Ferreira, A.R., Guedes, P., Mateus, E.P., Couto, N., Ribeiro, A.B., 2017. Cell design in electrokinetic process: influence on PPCPs removal from slurry soil. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, p. 149.

6. Hu, L., Zhang, L., Wu, H., 2017. Consolidation and remediation of clay with different ions through electrokinetic technique. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 259–270.
7. Ibeid, S., Elektorowicz, M., Oleszkiewicz, J.A., 2017. Building up Annamox bacteria using electro-bioreactor. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 190–196.
8. Kirkelund, G.M., Jensen, P.E., Pedersen, K.B., Ottosen, L.M., 2017. Comparison of two- and three-compartment cells for electro-dialytic removal of heavy metals from contaminated material suspensions. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 229–238.
9. Korolev, V.A., Nesterov, D.S., 2017. Regulation of clay particles charge for design of protective electrokinetic barriers. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 239–248.
10. Liaoa, W.-P., Lai, P.-C., 2017. Effect of surfactant and sodium hydroxide on remediation of Biphenyl-A contaminated soil by electrokinetic process. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 249–258.
11. Lobs, A., Coremans, M., Xue, F., Cai, Q., Bao, C., 2017. Electrokinetic reclamation demonstration project in China. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 271–282.
12. Masi, M., Cessarini, A., Iannelli, R., 2017. Model-based optimization of field-scale electrokinetic remediation of marine sediments. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 292–300.
13. Masi, M., Paz-Garcia, J.M., Gomez-Lahoz, C., Villen-Gusman, M., Cessarini, A., Iannelli, R., 2017. Influence of chemical reaction kinetics on electrokinetic remediation modeling results. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 284–291.
14. Ortiz, R., Leala, D., Gutierrez, C., Aracena, A., Rojoa, A., Hansena, H.K., 2017. Electrokinetic remediation of manganese and zinc in copper mine tailings. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 307–319.
15. Ottosen, L.M., Crespo, C.S.V., Jensen, P.E., Kirkelund, G.M. & Ribeiro, A.B., 2017. Electro-dialytic phosphorus recovery from suspended sewage sludge ash – continuous or periodical stirring. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 320–327.
16. Rajic, L., Fallahpour, N., Nazari, R., Alshwabkeh, A.N., 2017. Electrochemical degradation of trichloroethylene in aqueous solution by bipolar graphite electrodes. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 345–347.
17. Reddy, K.R., Karaca, O., Cameselle, C., 2017. Electrokinetic treatment of acid lake sediments and mine tailings: characterization and remediation possibilities. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 348–356.
18. Wei, V., Devlin, T., Zhang, X., Oleszkiewicz, J., 2017. Removal of Phosphorus and COD from hog manure by enhanced electro-Fenton process. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, pp. 411–413.
19. Yang, G.C.C., Jen, Y.-S., 2017. Remediation of polycyclic aromatic hydrocarbons in river sediment by novel Fenton-like process coupled with electrokinetic process. Proceedings of the 15th Symposium on Electrokinetic Remediation (EREM 2017) (ed. Elektorowicz M.). Concordia Univ., Montreal, Canada, p. 440.

Captions to figures

Fig. 1. Professor M. Elektorowicz

Fig. 2. 2D model results: (a–c) pH distribution after 195, 700 and 2200 days [12]

Fig. 3. Anodes and cathodes [11]

Fig. 4. Electrokinetic apparatus for the removal of BP-A in soil [10]

Fig. 5. Schema of the experimental setup of pilot SMEBR [7]

Fig. 6. Schematic diagram of the experimental setup of control bioreactor and electro-bioreactor [4]

Fig. 7. Laying of the contaminated sediment in the storage reservoir (a) and the process of its electrokinetic remediation (b) [12]: 1 — film sheltered; 2 — electrodes; 3 — an electric cable; 4 — soil

Информация об авторах

КОРОЛЁВ В.А.

Профессор кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, Россия

НЕСТЕРОВ Д.С.

Магистрант кафедры инженерной и экологической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Information about the authors

KOROLEV V.A.

Professor of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, Russia

NESTEROV D.S.

Candidate for a master's degree of the Department of Engineering and Ecological Geology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

ГЕОТЕХНИКА

Журнал для изыскателей, проектировщиков и строителей

Цель журнала — ознакомление российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Периодичность в 2017 году:
6 номеров

Стоимость годовой подписки:
3900 рублей
info@geomark.ru

