

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

---

---

### Номер 6, 2017

---

---

Состояние и перспективные направления развития горного дела в России  
(доклад на девятнадцатых “Сергеевских чтениях”, 5–6 апреля 2017 г.)

*К.Н. Трубецкой*

3.

---

#### ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Нефтегенез как одно из проявлений экологических функций абиотических сфер Земли

*М.А. Лурье*

8

---

#### ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

Ароматические соединения в бугристых торфяниках криолитозоны

*Д.Н. Габов, Р.С. Василевич, Е.В. Яковлева, О.М. Зуева*

15

Формирование подземных вод неогеновых долин системы Палео-Белой в Южном Предуралье

*Р.Ф. Абдрахманов, В.Г. Попов*

30

---

#### ГРУНТОВЕДЕНИЕ

Реологические свойства глинистых грунтов

*В.И. Осипов, Ф.С. Карпенко, Р.Г. Кальбергенов, В.Н. Кутергин, Н.А. Румянцева*

41

---

#### МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Численное моделирование естественной гидрогеохимической зональности в районе шахтного поля

БКПРУ-1 Верхнекамского месторождения калийных солей

*А.А. Потапов, П.К. Коносовский, С.Э. Макашов*

52

Математические модели количественной оценки экологического риска при использовании  
подземных вод

*А.В. Ошкадер, Л.Е. Подлипенская*

66

Мониторинг миграции нефтепродукта в лабораторных условиях с использованием методики  
электромиграции

*П.А. Рязанцев, М.В. Нилова, Д.М. Белохвостик*

83

---

Авторский указатель статей за 2017 г.

95

---

---

## CONTENTS

---

---

### № 6, 2017

---

---

State-of-art and promising trends in mining development in Russia

*K.N. Trubetzkoj*

3

---

#### FUNCTIONING OF NATURAL AND NATURAL ANTHROPOGENIC SYSTEMS

Oil genesis as a manifestation of ecological functions in abiotic spheres of the Earth

*M.A. Lur'e*

8

---

#### NATURAL AND HUMAN-INDUCED PROCESSES

Aromatic compounds in tuberous peatlands of the permafrost area

*D.N. Gabov, R.S. Vasilevich, E.V. Yakovleva, O.M. Zueva*

15

**SOIL AND ROCK ENGINEERING**

Rheological properties of the clay soils

V.I. Osipov, F.S. Karpenko, R.G. Kalbergenov, V.N. Kutergin, N.A. Rummyantseva

41

**RESEARCH METHODS AND TECHNIQUES**

Numerical modeling of natural hydrogeochemical zonation in the area of BKPRU-1 mine field at Verkhnekamskoe potash-magnesium salt deposit

A.A. Potapov, P.K. Konosavsky, S.E. Makashov

52

Mathematical models for quantitative assessment of ecological risk in groundwater use

A.V. Oshkader, L.E. Podlipenskaya

66

Monitoring of oil product migration in the laboratory using electrical resistivity tomography

P.A. Ryazantsev, M.V. Nilova, D.M. Belokhvostik

83

**Авторский указатель статей за 2017 г.**

95

УДК 622.013

**СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ  
ГОРНОГО ДЕЛА В РОССИИ**

(доклад на девятнадцатых “Сергеевских чтениях”, 5–6 апреля 2017 г.)

© 2017 г. **К.Н. Трубецкой***Институт проблем комплексного освоения недр РАН (ИПКОН РАН),  
Крюковский тупик, д. 4, г. Москва, 111020 Россия. E-mail: trubetsk@ipkonran.ru*  
Поступила в редакцию 11.05.2017 г.

Ежегодная добыча из недр Земли миллиардов тонн различных руд, горючих ископаемых и строительных материалов приводит к изменению природной среды и накоплению на поверхности Земли большого объема различных отходов, что обуславливает деградацию биосферы и обостряет экологические проблемы. В то же время, сегодня и в обозримом будущем добыча и использование различных ископаемых как жизнеобеспечивающих ресурсов для человека являются безальтернативной необходимостью. В этих условиях повышение экологической безопасности может быть достигнуто за счет совершенствования горнодобывающих технологий и более рационального ведения разработки и эксплуатации месторождений. Первостепенное значение приобретает внедрение ресурсосберегающих, малоотходных и ресурсовоспроизводящих технологий.

**Ключевые слова:** *твердые полезные ископаемые, горнодобывающая промышленность, отходы, экологическая безопасность, деградация биосферы, ресурсосберегающие природоподобные технологии.*

**STATE-OF-ART AND PROMISING TRENDS IN MINING  
DEVELOPMENT IN RUSSIA****K.N. Trubetskoy***Research Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources (IPKON RAS),  
Kryukovskii tupik 4, Moscow, 111020 Russia. e-mail: trubetsk@ipkonran.ru*

The annual extraction from the Earth's bowels billions of tons of various ores, fossil fuel and building stones transforms the natural environment and results in the accumulation of huge amount of various waste on the Earth surface. This gives birth to ecological problems and the biosphere degradation. At the same time, the extraction and use of different mineral

resources as the means of life support appears to be of no alternative necessity. Under these conditions, ecological safety may be raised by improving mining technologies and more rational development of mineral deposits. Introduction of resource-saving, low-waste and resource-resuming technologies acquires the utmost importance.

**Key words:** *solid mineral resources, mining waste, ecological safety, the biosphere degradation, resource-saving nature-like technologies.*

---

УДК 55; 504; 524

## НЕФТЕГЕНЕЗ КАК ОДНО ИЗ ПРОЯВЛЕНИЙ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ АБИОТИЧЕСКИХ СФЕР ЗЕМЛИ

© 2017 г. М. А. Лурье

*Институт нефте- и углехимического синтеза Иркутского государственного университета,  
ул. Лермонтова, д. 126, Иркутск, 664033 Россия. E-mail: miklur@rambler.ru*

Поступила в редакцию 16.11.2016 г.

После исправления 14.02.2017 г.

На основе представлений о составах глубинных высокотемпературных флюидов и реакционном потенциале содержащихся в них компонентов рассмотрена возможность абиотического образования нефтяного вещества. Основной углеродсодержащий компонент таких флюидов и исходный материал для образования углеводородов нефти – метан, претерпевающий в процессе эволюции глубинных потоков и их движения к поверхности Земли полимеризационные преобразования в нефтяные углеводороды различных типов и молекулярных весов. Эти процессы происходят благодаря тому, что глубинные флюиды содержат в своем составе компоненты, обладающие необходимыми для подобных преобразований каталитическими свойствами. Одним из них является элементарная сера ( $S_0$ ). В результате преобразований метана под каталитическим воздействием  $S_0$  могут образовываться различного типа и молекулярного веса углеводороды, асфальто-смолистые и сераорганические компоненты нефтей. Другими компонентами, способными оказывать каталитическое полимеризационное воздействие на углеводороды, могут быть металлы – “мантийные метки”, входящие в состав глубинных флюидов. Участие металлов в нефтегенезе может сопровождаться их включением в состав нефтяных систем. Таким металлом является ванадий (V), преобладающий в металлосодержащей части большинства нефтей. Тяжелые высоковязкие нефти и битумы являются концентраторами ванадия и сырьем для его промышленного извлечения. Различное соотношение компонентов в глубинных флюидах приводит к образованию нефтей различного геохимического типа. Преобразование глубинного метана в нефтяные компоненты способствует уменьшению его выноса в верхние слои Земли и атмосферу. Учитывая сильный парниковый эффект метана и отравляющее воздействие серы на биологические системы, вовлечение этих компонентов глубинных флюидов в нефтегенез способствует формированию благоприятной экологической обстановки на Земле. Таким образом, абиотический нефтегенез не только обеспечивает энергетические и ресурсные потребности жизнедеятельности, но и выполняет экологическую функцию.

### Ключевые

**слова:** *глубинные флюиды, летучие компоненты, метан, каталитические полимеризационные преобразования, абиогенный нефтегенез, экологическая функция.*

---

## OIL GENESIS AS A MANIFESTATION OF ECOLOGICAL FUNCTIONS IN ABIOTIC SPHERES OF THE EARTH

M. A. Lur'e

*Institute of oil- and carbon chemical synthesis, Irkutsk state university,  
ul. Lermontova, 126, Irkutsk, 664033 Russia. E-mail: miklur@rambler.ru*

The possibility of abiotic formation of oils is analyzed based on the data on composition of deep hightemperature fluids and reactivity of the mixtures of components contained in these fluids. Methane is the main carbon-containing component in such fluids and the starting material for the formation of oil hydrocarbons. Methane, in the course of deep flows' evolution and their motion towards the Earth's surface, undergoes polymerization transformations to oil hydrocarbons of various types and molecular weights. These processes occur owing to the fact that the deep fluids contain, apart from methane, the components possessing catalytic properties, necessary for similar transformations. Among such components of the fluids is, above all, elemental sulfur. Polymerization transformations of methane under the catalytic action of sulfur can lead to the formation of various (in terms of structure and molecular weight) hydrocarbons, asphalt-resinous and organosulfur components of oils. The degree of sulfur content of real oils and characteristics of their quality often agrees well with a character of sulfur effect on hydrocarbon system. In other words, the weight of oils increases with the growth

in its sulfur content. Other components, which are capable of exerting the catalytic polymerization effect on hydrocarbons, are metals, "mantle labels" which are contained in high-temperature deep fluids. Participation of metals in oil genesis can also be accompanied by their introduction into composition of oil systems. Vanadium belongs to such metals, which exerts polymerization action on hydrocarbons. It is prevailing in a metallic part of oils. Due to the effect of vanadium on hydrocarbon system, heavy high-viscosity oils and bitumen become concentrators of vanadium and raw materials for its industrial extraction. Various ratios of the components in the deep fluids lead to the formation of oils of various geochemical types. Transformation of deep methane to oil components promotes reduction of its carrying out in the upper layers of the Earth and the atmosphere. Owing to such transformations, the transfer of CH<sub>4</sub> and sulfur in the top layers of Earth and the atmosphere should decrease. Taking into account a strong greenhouse effect of methane and the poisoning influence of sulfur on biological objects, involvement of these components of deep fluids in oil genesis promotes forming a favorable ecological situation on the Earth. Thus abiogenic oil genesis not only ensures energy and resource demands of life activity, but also performs ecological function.

**Key words:** *composition of deep fluids, volatile components, catalytic polymerization transformations of methane, abiogenic oil genesis, ecological function.*

---

УДК 543.635.62;631.423.4

## АРОМАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В БУГРИСТЫХ ТОРФЯНИКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

© 2017 г. Д. Н. Габов, Р. С. Василевич, Е. В. Яковлева, О. М. Зуева

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук,  
ул. Коммунистическая, 28, Сыктывкар, Республика Коми, 167982 Россия. E-mail: gabov@ib.komisc.ru*

Поступила в редакцию 02.11.2016 г.

По профилям в тундровых бугристых торфяниках идентифицирован качественный и количественный состав фенола, полициклических ароматических углеводородов, выявлены особенности их распределения. В сезонно-оттаивающих горизонтах накопление фенола и полиаренов объясняется как изменением степени разложения растительности, так и ее видовым составом, а также следствием криогенных процессов. В слоях многолетней мерзлоты торфяников исследуемые соединения связаны с определенными группами растительных остатков. Обнаружена тесная взаимосвязь накопления 5,6-ядерных полиаренов с составом фульвокислот в стратифицированных слоях торфа. Информация о накоплении ароматических соединений в комплексе с палеоботаническим анализом торфяников может быть использована как для индикации растительности по периодам торфообразования в голоцене, так и быть точкой отсчета фонового содержания исследуемых компонентов для оценки воздействия на почвы и почвенный покров в зонах загрязнения в различных типах ландшафтов при проведении локального мониторинга.

**Ключевые слова:** *фенол, полициклические ароматические углеводороды, гумусовые вещества, лесотундра, бугристые торфяники, индикаторы.*

---

## AROMATIC COMPOUNDS IN TUBEROUS PEATLANDS OF THE PERMAFROST AREA

D. N. Gabov, R. S. Vasilevich, E. V. Yakovleva, O. M. Zueva

*Institute of Biology, Komi Scientific Centre, Ural Branch, Russian Academy of Sciences  
ul. Kommunisticheskaya 28, Syktyvkar, Komi Republic, 167982 Russia. E-mail: gabov@ib.komisc.ru*

Qualitative and quantitative composition of phenol and polycyclic aromatic hydrocarbons was identified. Features of phenol and PAH distribution profiles in tundra tuberous peatlands were revealed. Accumulation of phenol and PAH in seasonally thawing horizons depends on vegetation decomposition level and species composition as well as on cryoturbation processes. In the permafrost horizons, the studied compounds are apparently related to the certain groups of plant residues. We found close relation between 5,6-nuclear PAH accumulation and composition of fulvic acids in the stratified peat layers. The data on PAH accumulation in conjunction with peatland paleobotanical analysis can be used to indicate vegetation using the Holocene peat formation periods. It also can be the starting point for the control content of the studied compounds to assess the changes in soils and vegetation in different types of landscapes during the local monitoring.

**Key words:** *phenol, polycyclic aromatic hydrocarbons, humic substances, forest-tundra, peatlands, indicators.*

---

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НЕОГЕНОВЫХ ДОЛИН СИСТЕМЫ ПАЛЕО-БЕЛОЙ В ЮЖНОМ ПРЕДУРАЛЬЕ

© 2017 г. Р. Ф. Абдрахманов, В. Г. Попов

*Институт геологии Уфимского научного центра РАН, ул. К. Маркса, 16/2, Уфа, 450077 Россия.  
E-mail: hydro@ufaras.ru*

Поступила в редакцию 21.10.2016 г.  
После исправления 10.03.2017 г.

В статье обсуждаются геологические и гидрогеологические последствия тектонических событий, произошедших на востоке Русской плиты и Урале на рубеже миоцена и плиоцена, вызвавшие интенсивную донную эрозию и формирование переуглубленных речных долин системы Палео-Волги. Речная сеть Южного Предуралья была представлена Палео-Белой с разветвленной сетью притоков – Палео-Камой, Палео-Уфой, Палео-Демой и др., глубоко врезаемых в различные стратиграфические комплексы палеозоя (от каменноугольного до верхнепермского включительно). Показано, что в разрезе палеодолин, выполненных, главным образом, глинистыми осадками кинельского надгоризонта мощностью до 150–200 м, наиболее важное гидрогеологическое значение принадлежит базальным песчано-галечниковым осадкам. Вследствие довольно высоких фильтрационно-емкостных свойств они аккумулируют подземный сток, разгружающийся из гипсов, карбонатных и терригенных пород, слагающих склоны и русла палеодолин. Дренарующей роли их способствуют интенсивная трещиноватость и закарстованность пород в прибортовых зонах, высокие градиенты напора и скорости движения подземных вод. Не менее важна и экранирующая роль палеодолин. Трещинно-карстовые воды при встрече с заполненными глинами палеодолинами изменяют направление движения с латерального на вертикальное, что вызывает их разгрузку на поверхности в виде крупных карстовых источников (Красный Ключ и др.). Активизация процессов растворения и экстракции солей из пород вдоль бортов палеодолин ведет к образованию подземных и поверхностных карстовых (карстово-суффозионных) форм, сильно осложняющих хозяйственное освоение территорий. Рассмотрено влияние неогеновых и четвертичных долин на развитие карста в нижнепермских гипсах на территории Уфимской промышленно-урбанизированной агломерации. Изложены результаты гидрогеохимических исследований неогеновых долин. Установлена геохимическая зональность подземных вод, заключающаяся в последовательной смене вниз по долине Палео-Белой гидрокарбонатных кальциевых вод сульфатными кальциевыми, сульфатными натриевыми и сульфатно-хлоридными натриевыми. Приведены представления авторов, касающиеся процессов формирования ионно-солевого состава подземных вод.

**Ключевые слова:** *неогеновые долины, р. Палео-Белая, подземные воды, гидрогеохимия, гидрогеодинамика.*

---

## GROUNDWATER FORMATION IN THE PALEO-BELAYA RIVER VALLEY SYSTEM IN NEOGENE IN THE SOUTHERN CIS-URALS

R. F. Abdrakhmanov, V. G. Popov

*Institute of Geology, Ufa Scientific Center, Russian Academy of Sciences, ul. K. Marksa 16/2, Ufa, 450077 Russia.  
E-mail: hydro@ufaras.ru*

The article discusses the geological and hydrogeological consequences of tectonic events that occurred in the east of the Russian Platform and the Urals at the turn of the Miocene and Pliocene. They cause intense erosion of the bottom and the formation of the Paleo-Belaya river valley system deeply incised (up to 200–300 m) at different stratigraphic Paleozoic complexes (from the Lower Carboniferous to Upper Permian). It is shown that the basis they are draining sands and gravels, lying at the base of Kinel superhorizon, is composed mainly of clay sediments. Due to the specific conditions of occurrence and the permeability and porosity of the basal aquifer, it accumulates underground drainage discharged from the gypsum, carbonate and clastic rocks that form the slopes and bottoms paleovalleys. The attention is focused on enhancing the processes of dissolution and leaching riverain paleovalley areas, which lead to the formation of surface and underground karst (karst-suffusion) forms greatly complicating the economic development of karst areas. The results of hydrogeochemical research in the Neogene regional valleys reveal the lateral geochemical zoning of groundwater, which consists in the succession of the downstream river Paleo-Belaya water: calcium bicarbonate replacing first by calcium sulfate, next sodium sulfate and sodium sulfate-chloride. The authors share their ideas on the basic processes responsible for the formation of ion-salt composition of groundwater.

**Keywords:** *Neogene valley, Paleo-Belaya River, groundwater, hydrogeochemistry, hydrogeodynamics.*

---

## РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ

© 2017 г. В.И. Осипов, Ф.С. Карпенко, Р.Г. Кальбергенов, В.Н. Кутергин, Н.А. Румянцева

*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН,  
Уланский пер., д.13, стр. 2., Москва, 101000 Россия. E-mail: osipov@geoenv.ru*

Поступила в редакцию 14.12.2016 г.

После исправления 22.04.2017 г.

Рассматриваются реологические свойства глинистых грунтов. На основе экспериментальных исследований выявлены закономерности проявления реологических свойств в зависимости от консистенции глинистых грунтов. Механизм проявления реологических свойств при реализации ползучести грунтов и релаксации напряжений рассмотрен с позиций теории контактных взаимодействий. Показана зависимость реологических свойств от свойств гидратных пленок минеральных частиц, микроструктурного строения грунта и его изменения при переориентации частиц грунта при длительном воздействии нагрузок.

**Ключевые слова:** *реологические свойства, ползучесть, релаксация напряжений, микроструктура, переходные, ближние и дальние коагуляционные контакты; адсорбционный, диффузный слой; гидратные пленки, показатель текучести.*

---

## RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THE CLAY SOILS

V.I. Osipov, F.S. Karpenko, R.G. Kalbergenov, V.N. Kutergin, N.A. Rummyantseva

*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Science,  
Ulanskii per. 13, bld. 2, Moscow, 101000 Russia. E-mail: [osipov@geoenv.ru](mailto:osipov@geoenv.ru)*

The rheological properties of clays are considered in the article. Peculiarities of the rheological properties, namely, the creep and stress relaxation mechanisms, were experimentally studied. The results obtained are discussed from the viewpoint of structural-contact theory. Loss in strength, cohesion, above all, upon the rheological processes is typical to all clay varieties. The intensity of rheological processes depends on the quantity of clay particles in the soil, and consequently the quantity of contacts between the mineral particles, which is reducing in the row: clay – silty clay – silt. It also depends on the liquidity of clay characterized by the liquidity index (IL). The intensity of rheological properties manifestation in clays falls with the increasing water content; and they are not evident at  $IL > 0.5$ .

The intensity of rheological processes depends on soil microstructure. They are most clearly manifested in the soils, with the structure involving mainly transitional and near coagulation contacts (very stiff and stiff clay). The properties of such soils are mostly determined by the influence of an adsorption layer of hydrated films of mineral particles. The intensity of rheological processes is reduced with the increase of moisture content and thickness of the diffusive layer of hydrated films (in firm–stiff clay soil). Rheological properties are not pronounced in soft and very soft clay soils with liquidity index  $(IL) > 0.5$  and prolonged stress action results in the flowing process development. Far coagulation contacts prevail in the microstructure of these soils and their properties are mainly controlled by the diffusive layer of hydrated films.

Rheological processes may be manifested in clay soils through the creep and stress relaxation mechanisms. Realization of each of these mechanisms leads to similar results as described above. Study of rheological properties of clays may be based on the method of creep in shear tests and the method of stress relaxation in triaxial compression tests depending on the stress that soils undergo either in natural or technogenic conditions. The methodology of such studies was developed and adopted in the IEG RAS.

**Key words:** *rheological properties, creep, stress relaxation, microstructure, transition contacts, near and far coagulation contacts, adsorption layer and diffuse layer of hydrated films, liquidity index.*

---

УДК 556.332.72, 556.3.013

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ В РАЙОНЕ ШАХТНОГО ПОЛЯ БКРУ-1 ВЕРХНЕКАМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ

© 2017 г. А. А. Потапов\*, П. К. Коносавский\*, С. Э. Макашов\*\*,\*\*

*\* Санкт-Петербургский государственный Университет (Институт наук о Земле),  
пер. Декабристов, 16, Санкт-Петербург, 199155 Россия. E-mail: [potapov@dhsppb.ru](mailto:potapov@dhsppb.ru), [konosavsky@dhsppb.ru](mailto:konosavsky@dhsppb.ru)*

Поступила в редакцию 25.01.2017 г.

На примере территории шахтного поля 1-го Березниковского калийного рудоуправления (БКПРУ-1) показана возможность использования 3-мерных численных моделей потоков подземных вод переменной плотности для имитации формирования естественной гидрогеохимической зональности и, в частности, природных хлоридных натриевых рассолов выщелачивания с учетом пространственной изменчивости кровли подстилающего растворяющегося регионального водоупора – “покровной” каменной соли. Оценена длительность формирования современного естественного равновесного трехмерного поля распределения растворенного NaCl в подземных водах, составляющая порядка 10 тыс. лет. Установлена необходимость учета наличия плотностного градиента при решении задач формирования и миграции природных рассолов. Показано, что скорость деградации (растворения) соляной водозащитной толщи, отделяющей подземные горные выработки от подошвы водонасыщенных пород надсолевого комплекса, в ходе ее естественного растворения подземными водами при современном ненарушенном гидродинамическом режиме не превышает 0.06 мм в год.

**Ключевые слова:** *Верхнекамское месторождение, растворение, численное моделирование, миграция рассолов, плотностной градиент, гидрогеохимическая зональность, засоление подземных вод*

---

## **NUMERICAL MODELING OF NATURAL HYDROGEOCHEMICAL ZONATION IN THE AREA OF BKPRU-1 MINE FIELD AT VERKHNKAMSKOE POTASH-MAGNESIUM SALT DEPOSIT**

**A. A. Potapov\*, P. K. Konosavsky\*, S. E. Makashov\*,\*\***

*\* St. Petersburg State University (Institute of Earth Sciences), per. Dekabristov, 16, St. Petersburg, 199155, Russia.  
E-mail: potapov@dhsppb.ru, konosavsky@dhsppb.ru*

*\*\* St. Petersburg Department, Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences.  
Sredniy av., V.O., 41, off. 519, St. Petersburg, 199004 Russia, E-mail: makseduar@ya.ru*

Flooding caused by groundwater inrush at BKPRU-1 potash mine lasted from October 2006 through the end of 2008. As a result hydraulic connection between the flooded salt mine workings at depth of 260–380 m and aquifers in the oversalt rock formation occurred within the zone of fracturing in the salt-bearing water-protection stratum. To predict the groundwater quality change caused by the following saline mine waters reflux into the oversalt aquifers, current natural vertical hydrochemical zonation was taken into account. The latter comprises natural saline waters underlain by chloride sodium concentrated brines with a mineralization of 320 g/l. The brines were formed by natural dissolution of the covering salt layer in the top of salt-bearing formation as the result of infiltration water action. BKPRU-1 mine case study discussed in the article provides the example of 3D numerical variable-density groundwater flow model application to simulation of natural hydrogeochemical zonation formation. In particular, natural chloride sodium concentrated brines formation is studied with due account to alternation in spatial distribution of the top of underlining regional aquiclude being subject to dissolution, i.e. “covering” salt layer. The formation duration of current 3D equilibrium distribution of dissolved NaCl in groundwater has been estimated to be as long as 10000 years. The necessity of taking into account the density gradient in solving the problems related to natural brines formation and transport is found. It is shown that the rate of degradation (dissolution) of the salt water-protection stratum separating underground mines from the oversalt aquifer system due natural dissolution of the salt does not exceed 0.06 mm/year under current undisturbed hydrodynamic conditions. The estimated rate of salt discharge into surface water bodies at sites of groundwater contamination in the vicinity of mine brines storage capacities is considerably lower than that caused by the discharge of natural concentrated brines.

**Keywords:** *Verkhnekamskoe deposit, dissolution, numerical modeling, brines migration, density gradient, hydrogeochemical zonation, groundwater salinization.*

---

УДК 502.171:556.3:005.334

## **МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД**

© 2017 г. А.В. Ошкадер\*, Л.Е. Подлипенская\*\*

\*Керченский государственный морской технологический университет,  
ул. Орджоникидзе, 82, г. Керчь, Республика Крым, 298309 Россия. E-mail: anna\_oshkader@mail.ru

\*\*ГОУ ВПО ЛНР «Донбасский государственный технический университет», пр. Ленина, 16, г. Алчевск, ЛНР.  
E-mail: lida.podlipensky@gmail.com

Поступила в редакцию 11.08.2016 г.

Статья посвящена разработке подхода к количественной оценке экологических рисков территорий при использовании подземных источников водоснабжения (на примере Керченского полуострова). Процесс оценивания рисков включает пять этапов: вычисление экологических показателей, унификация показателей степени опасности, интеграция показателей степени опасности, оценка возможности проявления опасностей и оценка экологических рисков. Ключевой этап выполнения оценки – унификация разнородных частных показателей с применением нелинейных шкалирующих функций, которая дает возможность сформировать систему экологических индикаторов с безразмерной шкалой оценок в интервале от 0 до 1. Основное преимущество предложенного подхода заключается в возможности его расширения за счет как увеличения числа экологических показателей в каждой отдельной группе, так и введения новых критериев, характеризующих определенные экологические условия с учетом региональных особенностей. Методология может быть адаптирована к оценке экологических ситуаций на территориях не только при условии использования подземных вод для водоснабжения, но и при других значимых для региона экологических проблемах.

**Ключевые слова:** экологический риск, подземные воды, Керченский полуостров, модель оценки, дефицит воды, качество воды, техногенная нагрузка, плотность населения, гидрогеоэкологический риск, унификация, интеграция.

---

---

## MATHEMATICAL MODELS FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISK IN GROUNDWATER USE

A.V. Oshkader\*, L.E. Podlipenskaya\*\*

\*Kerch State Maritime Technological University, ul. Ordzhonikidze 82, Kerch, Republic of Crimea, 298309 Russia.  
E-mail: anna\_oshkader@mail.ru.

\*\*Donbass State Technical University, pr. Lenina 16, Alchevsk, 94206 LPR. E-mail: lida.podlipensky@gmail.com

The article is devoted to the development of approach to the quantitative assessment of ecological risks in the areas, where groundwater sources are used for water supply (by the example of the Kerch Peninsula). The authors have analyzed the current situation in water supply in the region, they have highlighted the main problems and have revealed the strategic role of groundwater sources. The authors have substantiated the necessity to assess ecological risks associated with the use of groundwater as a source of water supply. The process of risks estimation involved five steps: calculation of ecological indicators, harmonization of hazard degree indicators, integration of hazard degree indicators, assessment of hazard manifestation possibility and the assessment of ecological risks. The ecological situation in the context of groundwater use was assessed according to the essential and the most common (in terms of regional features) criteria. They involve the characteristics of human living conditions, i.e., the quality and availability (scarcity) of water, the level of anthropogenic impact, and population density.

A key step in the assessment was to unify the dissimilar particular indicators using the non-linear functions, which enabled us to create a system of ecological indicators with a dimensionless scale estimates in the range from 0 to 1. The subsequent integration of ecological indicators using non-linear weighting coefficients calculated by exponential sigmoid allowed us to take into account the significance of individual components in the final risk assessment on the extent of their respective ecological hazards. The proposed method is a tool to the geoecological assessment of situation in different areas that use groundwater as a water supply source. The main advantage of this approach is its possible expansion both by increasing the number of ecological indicators in each group and by introducing new criteria for defining the particular environmental conditions taking into account the regional specifics. In addition, this methodology can be adapted to evaluate ecological situation in the territories facing other ecological problems.

**Key words:** ecological risk, groundwater, Kerch Peninsula, model evaluation, water shortage, water quality, the level of anthropogenic impact, population density, hydrogeoecological risk, unification, integration

---

---

УДК 550.837.3; 550.8.014; 504.064.3

**МОНИТОРИНГ МИГРАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТА В ЛАБОРАТОРНЫХ**



# УСЛОВИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДИКИ ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ

© 2017 г. П. А. Рязанцев\*,\*\*, М. В. Нилова\*, Д. М. Белохвостик\*\*

*\*Институт геологии Карельского научного центра РАН, лаборатория геофизики,  
ул. Пушкинская, д.11, Петрозаводск, 185910 Россия. E-mail: chthonian@yandex.ru*

*\*\*Петрозаводский государственный университет, кафедра геологии и геофизики,  
пр-т Ленина, д.33, Петрозаводск, 185910 Россия.*

Поступила в редакцию 06.05.2016 г.

После исправления 7.12.2016 г.

В статье приведены результаты лабораторного эксперимента по определению возможностей электротомографии для изучения миграции нефтепродукта в дисперсном грунте. Эксперимент выполнен в модельной ячейке (пластиковый бак размерами 2000 . 700 . 600 мм), заполненной мелкозернистым, однородным песком, в котором заложен наклонный пласт глины (угол наклона 20°). В качестве вещества-загрязнителя использовалось отработанное машинное масло. Установлено, что удельное электрическое сопротивление (УЭС) мелкозернистого песка при изменении влажности от 15 до 30% возрастает при увеличении процентного содержания машинного масла в нем; зависимость носит явно не линейный характер (использовался полином для построения линии тренда). Это объясняется распределением воды и масла в поровом пространстве песка и изменением направления протекания электрического тока. Массоперенос загрязнителя происходил за счет водного потока вдоль глинистого водоупора под действием гравитационных сил. Сбор данных выполнен методикой электротомографии с посуточным интервалом измерений. Всего получено 4 модели, отражающие распределение УЭС среды 1 раз в 24 часа. Измерения выполнялись аппаратурой СКАЛА-48М с использованием электроразведочной установки Шлюмберже, с шагом по профилю 50 мм. Обработка массива данных осуществлялась при помощи *time-lapse* инверсии. Показано, что переотложение нефтепродукта уверенно фиксируется по показателям УЭС. Дополнительно исследовано влияние приповерхностных техногенных помех на информативность получаемых геоэлектрических моделей электротомографии. Обоснована возможность использования методики электротомографии для локализации областей, зараженных нефтепродуктами, и проведения мониторинговых исследований при геоэкологических изысканиях.

**Ключевые слова:** *электротомография, загрязнение, нефтепродукт, удельное электрическое сопротивление, геоэлектрическая модель, миграция, лабораторная ячейка, мониторинг.*

---

## MONITORING OF OIL PRODUCT MIGRATION IN THE LABORATORY USING ELECTRICAL RESISTIVITY TOMOGRAPHY

**P. A. Ryazantsev\*,\*\*, M. V. Nilova\*, D. M. Belokhvoostik\*\***

*\*Institute of Geology, Karelian Scientific Centre, Russian Academy of Sciences,  
ul. Pushkinskaya 11, Petrozavodsk, 185910 Russia. E-mail: chthonian@yandex.ru*

*\*\*Department of Geology and Geophysics, Petrozavodsk State University, pr. Lenina 33, Petrozavodsk, 185910 Russia.*

The results of a laboratory experiment on the possible use of electrical resistivity tomography (ERT) for the study of oil product migration in the disperse ground are reported. The experiment was performed in a model cell representing a plastic tank dimensions 2000x700x600 mm. The cell was filled with fine, homogenous sand, which laid sloping clay layer (angle 20°). Waste oil was used as a pollutant. In the first stage of the work, we investigated the relationship between the indicators of the electrical resistivity and the content of pollutant to the fine sand at change of humidity of 15 to 30%. It was found that the resistivity increases with the increasing the percentage of oil in the sand. This relationship is obviously not linear (a polynomial trend line was constructed in the article). This is due to the processes of water and oil distribution in the pore space of sand, which causes a change of electric current direction. The data acquisition was made through electrical resistivity tomography (ERT) method with a day measurement interval. Four models were obtained, which show the distribution of the environment resistivity every 24 hours. Measurements were carried out using the equipment SKALA-48M with Schlumberger survey array by step of 50 mm along profile. The data sheet were processed using the time-lapse inversion. The simulation showed that the redeposition of oil is reliably registered by the resistivity characteristics. In addition, we investigated the influence of anthropogenic noise generated by local objects (pipe, metal, brick), on the information obtained from ERT geoelectric models. It was shown that these objects operate as are a sort of "collectors" for petroleum products and can increase their concentration in the environment. Proceeding from the laboratory experiment results, the possibility of using ERT for localizing the areas contaminated by oil products, and conducting monitoring studies at the geo-ecological research was demonstrated.

**Key words:** *ERT, pollution, oil product, geoelectrical model, electrical resistivity, migration, cell laboratory, monitoring.*

---