

## ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАДАЧИ ГЕОЭКОЛОГИИ — МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД

В.С. Бригида<sup>1</sup>, Х.Х. Кожиев<sup>2</sup>, А.А. Сарян<sup>1</sup>, А.К. Джиеова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия, e-mail: 1z011@inbox.ru

<sup>2</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт, Владикавказ, Россия

**Аннотация:** Устойчивого развития регионов при техногенной трансформации геосреды невозможно достигнуть без рационального использования природных ресурсов. Сокращение негативного воздействия шахтного метана на окружающую среду является одной из ключевых геоэкологических проблем. Большинство проблем являются междисциплинарными, поэтому развитие методологических подходов для их разрешения позволяет распространить полученный опыт в смежных областях знаний. Например, при рассмотрении временных рядов данных с наличием совместного действия нескольких факторов. Данная особенность позволяет использовать полученный опыт решения пространственно-временных задач путем сглаживания неполной выборки рассеянных экспериментальных данных (с использованием метода LOESS) и последующей интерполяции полученных значений непараметрическими методами. В результате работы получена поверхность динамики метановыделения в подземные дегазационные скважины. Ее особенность заключается в возможности оценки параметров цикличности и амплитуд волн метанодинамики при соответствующей удаленности от линии очистного забоя. Анализ результатов моделирования позволяет учитывать влияние формирования породных консолей на нелинейные изменения концентрации метана в подрабатываемых дегазационных скважинах. Использование предложенного подхода при решении геоэкологических задач гидрометеорологии обеспечит выявление новых зависимостей пространственно-временных изменений высот волн от синоптических периодов и региональных особенностей моря.

**Ключевые слова:** метановыделение, режим волнения, нелинейная динамика, цикличность, полиномиальная регрессия, подземная дегазация, туристский поток.

**Для цитирования:** Бригида В. С., Кожиев Х. Х., Сарян А. А., Джиеова А. К. Пространственно-временные задачи геоэкологии — междисциплинарный подход // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2020. — № 4. — С. 20–32. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32.

### Time-space problems in geocology: An inter-disciplinary approach

V.S. Brigida<sup>1</sup>, Kh.Kh. Kozhiev<sup>2</sup>, A.A. Saryan<sup>1</sup>, A.K. Dzhiyeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sochi Research Center of Russian Academy of Sciences, Sochi, Russia, e-mail: 1z011@inbox.ru

<sup>2</sup> North Caucasian Mining and Metallurgical Institute, Vladikavkaz, Russia

**Abstract:** Sustainable development under conditions of manmade transformation of the geoenvironment is impossible without rational use of natural resources. Abatement of the aggravating influence exerted by coal mine methane on the environment is one of the key problems in geocology. Generally, the problems are inter-disciplinary, and methodological approaches

© В.С. Бригида, Х.Х. Кожиев, А.А. Сарян, А.К. Джиеова. 2020.

to the solution of such problems enable extending the gained experience to the related fields of knowledge. For example, consideration of time-series data under the joint action of a number of factors. This property allows using the experience of the time-space problem solution by means of smoothing an incomplete sample of scattered experimental data (LOESS method) with subsequent interpolation of the obtained values using the nonparametric methods. As a result of the accomplished research, the surface of methane release dynamics in the in-mine drainage boreholes has been obtained. Its peculiarity consists in the estimability of the cycling parameter and wave amplitudes of methane dynamics at a distance from longwall face. The modeling takes into account the influence of forming overhangs on the nonlinear variations in concentrations of methane in undermined drainage boreholes. The use of the proposed approach in solving geoeological problems in hydrometeorology can allow identification of new space-time changes of wave heights versus synoptic periods and regional features of seas.

**Key words:** methane release, wave climate, nonlinear dynamics, cycling, polynomial regression, in-situ gas drainage, tourist flow.

**For citation:** Brigida V. S., Kozhiev Kh. Kh., Saryan A. A., Dzhioeva A. K. Time-space problems in geoeology: An inter-disciplinary approach. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(4):20-32. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-4-0-20-32.

---

## Введение

Большинство современных геоэкологических вопросов так или иначе являются междисциплинарными. В связи с этим развитие общих подходов и методов позволит эффективно использовать их при решении подобных задач в смежных областях знаний. Это, в свою очередь, может способствовать более рациональному использованию природных ресурсов при техногенной трансформации геосреды для обеспечения устойчивого социально-экономического развития регионов Российской Федерации.

Общие тенденции политики большинства стран мира направлены на сокращение негативного воздействия на изменение климата. Геоэкологические вопросы, связанные с проблемой шахтного метана, являются одними из ключевых при разработке мероприятий по снижению эмиссии парниковых газов в атмосферу. Один из наиболее действенных способов — использование подземной дегазации рассредоточенных источников метановыделения. К сожалению, существующий уровень технологий подземной дегазации шахт отстает от все

более усложняющихся условий отработки глубокозалегающих высокогазорносных угольных пластов. При этом назрела необходимость в модернизации общих представлений о механизме протекания взаимообусловленных геомеханических и аэрогазовых процессов при высоких скоростях подвигания механизированных лав.

Наиболее представительной из отечественных исследований, по нашему мнению, является схема метановыделения, приведенная в работах [1–2]. Авторами указывается, что дренирование метана характеризуется периодическими колебаниями как по чистому расходу, так и по концентрации газа в извлекаемой смеси. Это обусловлено подработкой вышележащего массива при управлении кровлей полным обрушением.

Известно, что обрушения основной и непосредственной кровли возникают с определенной периодичностью во времени, что определяет непостоянство характера («общую цикличность») метанообильности выемочного участка [3]. Исходя из схемы сдвижения вышележащей толщи пород, представленной в

[4], можно утверждать, что перемещение горных пород по напластованию и заполнение выработанного пространства способствует резкому всплеску объемов газа на сопряжении с лавой и последующей его эмиссией в атмосферу с исходящей струей через вентиляционный ствол шахты. Совокупность существующих представлений в большинстве случаев не позволяет достаточно надежно описать во времени общий механизм метановыделения в дегазационные скважины. Неточности в постановке задачи и ограниченность общего подхода к ее решению приводит к сложностям представления трехмерного пространства на плоскости, что существенно сужает спектр решения подобных задач. Существующие подходы и методы расчета газовыделения в подземные выработки нуждаются в развитии, так как не полностью учитывают пространственно-временные особенности влияния лавы при отработке глубокозалегающих газоносных угольных пластов. Ограниченность методологических подходов к ее разрешению не позволяет раскрыть потенциал экологизации и повышения эффективности подземных геотехнологий при комплексном использовании недр.

Таким образом, формирование подхода к отображению взаимодействия пространственно-временного фактора и динамики аэрогазового режима подземных дегазационных скважин является фундаментальной научной задачей для снижения вклада эмиссии шахтного метана в глобальные процессы изменения климата. Ее решение позволит преодолеть сложности при рассмотрении временных рядов данных с наличием совместного действия нескольких факторов.

Цель работы — исследование подходов к решению геоэкологических пространственно-временных задач на примере моделирования динамики аэрогазового режима (в трехмерной постановке)

подземных скважин. Для достижения цели необходимо:

- выявить существующие в смежных областях знаний подходы к решению нелинейных пространственно-временных задач;
- проанализировать применяемые подходы к моделированию дренажа метана из дегазируемого углепородного массива;
- предложить новый метод трехмерного отображения динамики метановыделения.

### Методы

Планируемый подход к решению задачи исследования заключался в том, чтобы на основании принципа «совокупного действия факторов» и за счет реализации метода «функции отклика» сформировать поперечность динамики концентрации метана в зависимости от положения лавы и спроектировать ее на плоскости ( $\text{CH}_4$ -t). Подразумевая, что:  $\text{CH}_4$  — значение концентрации в подземных дегазационных скважинах, пробуренных в подрабатываемый углепородный массив;  $L$  — удаление от линии очистного забоя лавы до устьев скважин;  $t$  — время проведения замера относительно начала отработки выемочного столба. Для реализации авторского подхода предложен комплексный метод исследований, заключающийся в сглаживании неполной выборки рассеянных экспериментальных данных (по методу LOESS) и последующей интерполяции полученных значений непараметрическими методами.

### Подходы к решению нелинейных пространственно-временных задач в области гидрометеорологии, экологии, туризма и горного дела

Отдельные аспекты в решении основной задачи исследования присут-

ствуют в большинстве вопросов повышения эффективности горного производства: моделировании (в трехмерной постановке) состояния горных выработок [5–7], совершенствовании буровзрывных работ, оптимизации систем разработки рудных месторождений, экологизации горного производства и нормировании выбросов вредных веществ [8–11]. Например, в работе [9] приведена классификация способов предотвращения опасных геоэкологических явлений и предложен комплекс мероприятий по предотвращению их последствий различной периодизации. Кроме того, на основании критериев региональной экологической оценки влияния добычи руд обоснована концепция ресурсосбережения в процессе добычи минералов из техногенных массивов.

Одним из схожих вопросов является моделирование и прогноз распространения поллютантов в атмосфере под действием разных метеорологических параметров среды. В работе [12] использовали метод «каскадной нейросети с прямым распространением сигнала» (реализованный на программном пакете «Deductor»), имеющий возможность «обучаться» на основании оперативно обновляющейся базе данных. Результаты моделирования в виде изолиний концентрации вредных выбросов проецировали на карту в области влияния стационарного источника загрязнений (без привязки к топографическим данным). Недостатком его реализации является отсутствие достоверной привязки к местности, что существенно снижает достоверность практического применения полученных изолиний. В отличие от возможностей большинства геоинформационных систем, результаты работы ограничено применимы для зонирования района вокруг стационарного источника по степени вреда для человека.

В области гидрометеорологии наиболее интересным является класс задач сценарного прогнозирования опасных волновых явлений, а также динамики ледового покрова [13–16]. Их решение особенно актуально для предотвращения деградации прибрежных экосистем и сохранения аридности прибрежных территорий рекреационно-туристского назначения.

Сложности при оценке формирования неблагоприятных и природных опасностей заключаются во взаимном учете двух и более явлений, которые обуславливают кумулятивный эффект, усиливающий их совокупное воздействие на окружающую природную среду. Как и в задачах динамики метановыделения, для этой области знаний присутствуют схожие проблемы анализа временных рядов при изменении высоты волн. Решение задач определения режима волнения [13] осложнено отсутствием фактических замеров по всей протяженности прибрежных акваторий за довольно длительный промежуток времени (около тридцати лет).

Для преодоления этих ограничений в качестве первичной информации о ветровом волнении используют данные спектрального гидродинамического моделирования, основанием для которого служат ветровые параметры из реанализа. Результатами моделирования являются спектры волнения в узлах пространственно-временной сетки привязанной к конкретной акватории моря. При отличии значений реанализа от фактических данных модель корректируют с помощью метода регрессии.

В результате, при сравнении значений реанализов (NCEP/NCAR Reanalysis 1 [14]) с фактическими значениями гидрометеостанций («Махачкала», «Форт-Шевченко», «Туркменбаши» и др.) могут быть установлены зависимости следующего вида [13]:

$$y = ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx$$

где  $x$  — оценки скорости ветра измерениями на ГМС;  $y$  — скорость ветра по данным реанализа;  $a, b, c, d$  — эмпирические коэффициенты.

Наличие совокупности параметров регрессионных моделей (значения коэффициентов  $a, b, c, d$ ) позволяют уточнить расчеты ветрового поля, их сезонные изменения, особенности штормовых ситуаций, а также осуществить районирование акватории Каспийского моря по типам ветровых условий.

В задачах определения волновых характеристик (высоты, длины и периодов волн) используют гидродинамические модели другого рода — позволяющие рассчитывать частотно-направленный спектр волн в пространстве и различные синоптические периоды. Например, в работе [15] для условий Каспийского моря применялась спектральная модель береговых волн SWAN (Simulating Waves Nearshore Model). Данная модель при заданной о скорости и направлении ветра (батиметрии и др.), а также данных о параметрах береговой линии позволяет получать достаточно надежные результаты (рис. 1).

Таким образом, использование SWAN в совокупности с привязкой к рельефу дна моря позволяет решать задачи прог-

нозирования пространственно-обусловленных режимов волнения в акваториях различных морей. Из анализа рис. 1 следует, что в большинстве случаев графики представляются в двумерном виде (различных кривых в плоскости  $XU$ ), что существенно ограничивает представительность полученных результатов. Например, не отображается значительный временной диапазон данных, составленный из фрагментов кривых (с заданной протяженностью).

Индустрия туризма, в свою очередь очень уязвима к внешним воздействиям (изменение климата, экологические кризисы, опасные гидрометеорологические последствия), а восстановление туристского потока по-разному протекает во времени. В связи с этим довольно сложно прогнозировать спрос при наличии многих альтернативных направлений.

Например, одной из актуальных является задача об установлении влияния неценовых факторов на динамику спроса на туризм и туристский поток на региональном уровне. Для ее решения важно установить, как разного рода события (положительно сказывающиеся — Олимпийские игры, или отрицательно — разного рода кризисы и антропогенное влияние на природную среду) меняют динамику региональных

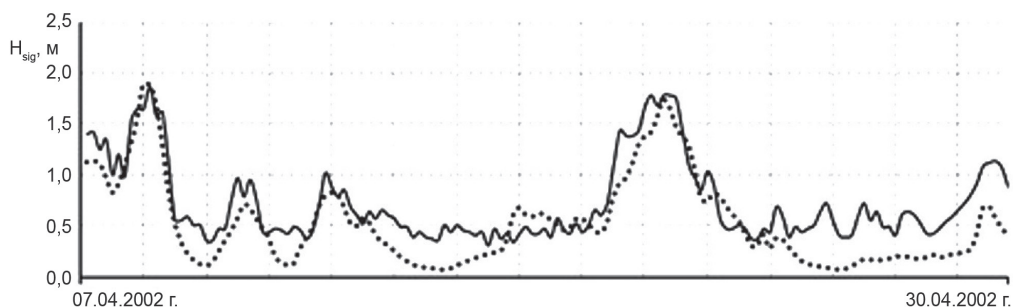


Рис. 1. Динамика высоты волн Каспийского моря по результатам SWAN (пунктирная линия) и натурных данных (сплошная линия) с учетом диссипации из-за забурунивания [15]

Fig. 1. Dynamics of the Caspian Sea wave height based on the results of SWAN (dotted line) and full-scale data (solid line), taking into account dissipation due to foaming [15]

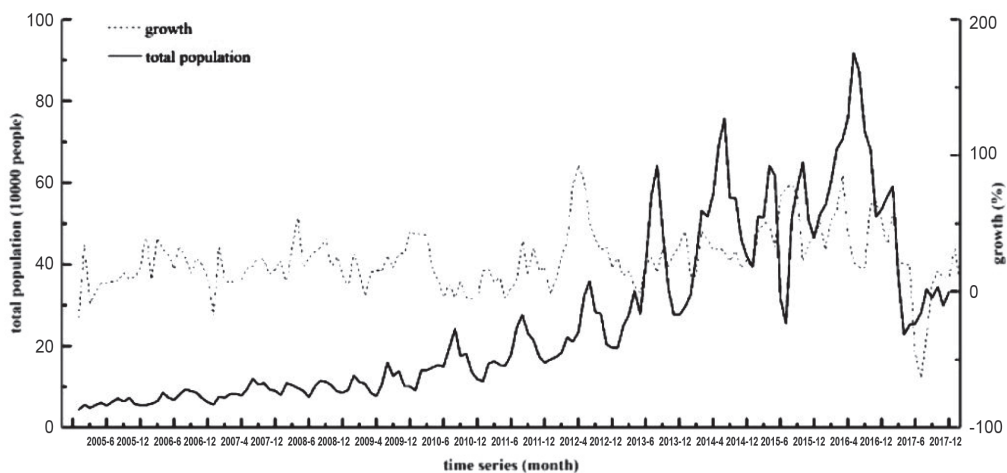


Рис. 2. Динамика и темпы роста выездного китайского турпотока в Корею [18]: пунктирная линия — темп роста, %; сплошная линия — число китайских выездных туристов, 10 000 чел.

Fig. 2. Dynamics and growth rates of outbound Chinese tourist flow to Korea [18]: dotted line — growth rate, %; solid line — number of Chinese outbound tourists, 10,000 people

туристических потоков. Отечественные исследования в данной области весьма ограничены, что сказывается на качестве стратегического планирования в туризме [17] и ведет к невозможности поддерживать экономический рост при возникновении геоэкологических проблем.

В работах зарубежных исследований данные вопросы более разработаны. Например, в [18] исследовалось влияние кризисных событий на китайский выездной туристический поток (рис. 2). Для геоэкологических исследований предложенное решение является актуальным при разработке мероприятий по приведению турпотока в соответствие с экологической емкостью туристских дестинаций.

Прогнозирование спроса на туризм при действии различных детерминант решается с использованием эконометрического моделирования — моделей туристского спроса.

В данной работе данные временных рядов из рис. 2 подвергли «пост-событийному анализу» с применением вариаций авторегрессионных интегрированных моделей скользящего сред-

него (Autoregressive Integrated Moving Average time-series model или ARIMA). Пропущенные значения регрессионного анализа дополняли методом TRAMO, а последующее извлечение сигналов — методом Signal Extraction in ARIMA Time Series (SEATS). В результате устанавливалась взаимосвязь кризисных (политических и экологических) событий на туристические потоки из Китая в Японию и Южную Корею в период 2005—2017 гг. Основным из недостатков использования данного подхода является невозможность выделить последствия нескольких кризисных явлений при их взаимной, последовательной или параллельной реализации.

Другой подход был применен в работе [19] для оценки пространственно-временного поведения туристов в порту Палермо (Сицилия, Италия). Предварительно опрошенным пассажирам был предоставлен GPS-регистратор (Global-sat DG-200 и Mobile Action IgotU data logger). Датчики отслеживали их местоположение через определенные временные интервалы с погрешностью не более 5—10 м. Для оценки влияния сти-



мулов (дисконтные карты и скидки на посещение музея) на пространственно-временное поведение пассажиров круизных судов использовали пространственные диаграммы (с геоинформационными системами, например ArcGIS) и логистические регрессионные модели. Это позволило с достаточной достоверностью произвести трассировку движения круизных пассажиров в пунктах назначения, а также прогнозировать поведение туристов и измерять эффективность действия стимулов по его корректировке. Дальнейшее развитие данного метода позволит выработать стимулы по мотивации посетителей особо охраняемых природных территорий к экологическому поведению.

### **Моделирование трехмерного дренажа газа (в пространстве-времени) из дегазированного углепородного массива**

Наиболее представительными зарубежными исследованиями в рассматриваемом вопросе являются работы G. Hua, Y. Liang, S. Baotang [20–21], которые использовали численные методы для моделирования геомеханических и аэрогазовых процессов и прогнозирования динамики метановыделения из подрабатываемого углепородного массива. В результате было выявлено, что опорное давление может распространяться в 300 м впереди очистного забоя. Активизация сдвижений вышележащих пород кровли обуславливает расслоение и трещинообразование в пределах 170 м позади лавы, а высота этого техногенного коллектора газа может достигать до 145 м (в высоту). В этой области концентрация напряжений гораздо ниже, чем в опорной зоне, что приводит к росту газовой выделению в подземные скважины.

Большинство зарубежных и отечественных исследований отражают ре-

зультаты натурных исследований динамики метановыделения в двухмерной постановке следующим образом: различными аналитическими методами [22–24] в зависимости от времени проведения замеров, расстояния до забоя лавы, протяженности выемочного столба [25–26] или их комбинациях [27–28]. Общим недостатком указанных работ является отсутствие взаимного учета факторов времени и ситуационных геомеханических условий отработки запасов, что не позволяет выявить нелинейную составляющую деформационных и аэрогазовых процессов.

Для реализации предлагаемого подхода в качестве входной информации использовались данные концентрации метана из работы [24] по «анализу устойчивости дегазационных скважин подверженных влиянию очистной выемки» глубокозалегающих и высокогазоносных угольных пластов Донбасса.

Из анализа способов обработки экспериментальных данных был выбран метод Loess. LOESS (локальное сглаживание рассеянных данных) — наиболее распространенный метод локальной полиномиальной регрессии, который основывается на методе «наименьших квадратов». Преимущество «сглаживания» (выявления аппроксимирующей функции) с использованием алгоритма Loess заключается в возможности его использования для любого объекта, содержащего параметры XYZ [29]. Это наиболее эффективный тип сглаживания «ближайших соседних значений» (nearest neighbor) при наличии неполной выборки или «рассеянных данных» (так называемые «scattered data» — набор точек, которые не имеют общей структуры). В таких условиях применение альтернативных процедур, например NURBS (неоднородных рациональных B-сплайнов), имеет серьезные ограничения либо вообще не применимо.

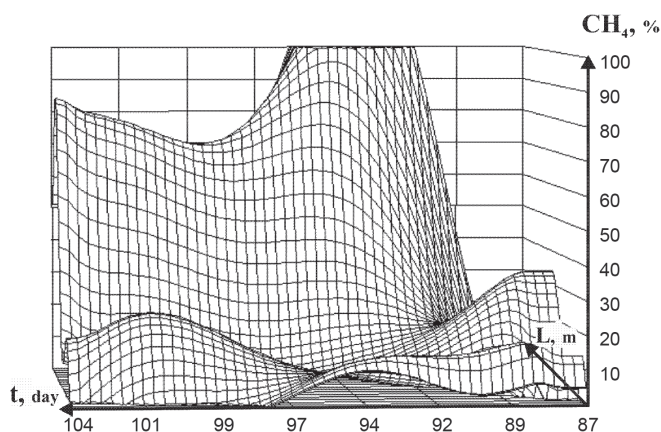


Рис. 3. Динамика концентрации метана (для скважин №3) в зависимости от времени отработки запасов выемочного участка и расстояния до лавы ( $CH_4-L-t$ ): пунктирная область — плоскость, в которой забой находился в створе с устьями подрабатываемых скважин (отрицательные значения  $L$  — положение лавы перед устьями скважин, положительные — протяженность выработанного пространства в каждый момент времени  $t$ );  $ABC$  — точки локальных максимумов

Fig. 3. Methane concentration dynamics of (for wells N 3) depending on the time of mining reserves of the excavation site and distance to face ( $CH_4-L-t$ ): dotted area — the plane in which the face was in alignment with the undermined wellheads (negative values  $L$  — the position of the face before the wellheads, positive — the length of the worked out space at each moment of time  $t$ );  $ABC$  — points of local maxima

После применения Loess сглаженные данные используются в качестве узлов для последующей интерполяции непараметрическими методами. Например, стандартной триангуляционной процедурой Роберта Ренки (проф. R.J. Renka) [30]. Результаты реализации предложенного подхода представлены на рис. 3.

Из анализа рис. 3 следует, что в представленной модели для любой точки поверхности значения по осям  $t$  и  $CH_4$  указывают на параметры цикличности и амплитуды волн метанодинамики. Отличительной особенностью применения способа является возможность установить дополнительные значения  $L$  для каждой пары  $t-CH_4$ . Это позволяет учитывать фактор пространственного взаимодействия стволов скважин с размерами формирующейся консоли пород кровли.

### Заключение

Различным областям знаний присущи специфические подходы к решению

пространственно-временных задач: на начальном этапе осуществляют моделирование численными методами («каскадной нейросети», SWAN, TRAMO/SEATS); после чего осуществляют верификацию полученной модели путем частичного сравнения с экспериментальными данными (методом регрессии); реже, результирующие изолинии данных накладывают на рельеф местности с использованием ГИС (ArcGIS).

Общий недостаток вышеуказанных подходов — определение зависимостей влияния фактора времени на исследуемый показатель в отрыве от влияющего фактора (двумерное представление результатов). В связи с этим существенно ограничивается практическая значимость устанавливаемых закономерностей на основании полученных результатов.

Предложенный подход к моделированию динамики метановыделения в подземные скважины заключается в пространственно-временной постановке за-



дачи, в соответствии с которой впервые в плоскости  $t$ - $S$  динамики концентрации метана вводят параметр удаления от лавы ( $L$ ), что позволяет сформировать модель функции исследуемого процесса в виде функции  $CH_4$  от  $t-L$ . В связи с этим, применение предлагаемого ме-

тода, например в области гидрометеорологии, позволит установить новые закономерности изменения волнения в «ключевых участках» Каспийского моря в зависимости от внутригодовой периодичности и протяженности реперных точек.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков А. Ю., Качурин Н. М., Сенкус Вал. В. Физическая модель и математическое описание переноса метана в горном массиве сорбирующих пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 5. — С. 81–88. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-81-88.
2. Стась Г. В., Качурин Н. М. Динамика метановыделения в очистной забой при отработке мощных пологих угольных пластов с выпуском подкровельной пачки // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 4. — С. 170–179.
3. Пак Г. А., Дрижд Н. А., Долгонос В. Н. Взаимосвязь обрушений основной кровли с газодинамическими явлениями на угольных шахтах // Уголь. — 2014. — № 1. — С. 56–58.
4. Шубина Е. А., Лукьянов В. Г. Проблемные вопросы расчета газовыделения в выемочный участок с учетом геомеханических и газодинамических процессов и методы их решения // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2015. — Т. 326. — № 3. — С. 13–18.
5. Do N. A., Dias D., Dinh V. D., Tran T. T., Dao C. D., Dao V. D., Nguyen P. N. Behavior of noncircular tunnels excavated in stratified rock masses — Case of underground coal mines // Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 2019, Vol. 11, no 1, Pp. 99–110. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.05.005.
6. Do N. A., Dias D. A comparison of 2D and 3D numerical simulations of tunnelling in soft soils // Environmental Earth Sciences, 2019, Vol. 76, no 3, pp. 1–12. DOI: 10.1007/s12665-017-6425-z.
7. Do N. A., Dias D., Oreste P., Djeran-Maigre I. Wave three-dimensional numerical simulation for mechanized tunnelling in soft ground: the influence of the joint pattern // Acta Geotechnica, 2014, Vol. 9, no 4, pp 673–694. DOI: 10.1007/s11440-013-0279-7.
8. Комащенко В. И., Атрушкевич В. А., Качурин Н. М., Стась Г. В. Повышение эффективности действия скважинных зарядов при разрушении горных пород взрывом // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 2(40). — С. 191–198. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-191-198.
9. Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З., Кожиев Х. Х. Минимизация влияния горного производства на окружающую среду // Экология и промышленность России. — 2018. — Т. 22. — № 6. — С. 26–29. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-6-26-29.
10. Атрушкевич В. А., Пепелев Р. Г. Оптимизация параметров системы подэтажного обрушения при наличии наклонного контакта руды с породами // Устойчивое развитие горных территорий. — 2019. — Т. 11. — № 3(41). — С. 341–346. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-341-346.
11. Голик В. И., Разоренов Ю. И., Лукьянов В. Г. Эколого-экономические аспекты ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. — 2017. — Т. 328. — № 6. — С. 18–27.
12. Коньшин Б. Ф., Юсков В. С. Повышение эффективности предупреждения нарушений норм выбросов вредных веществ с помощью прогнозирования искусственной нейронной сетью // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 1. — С. 105–111. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-105-111.

13. Лопатухин Л. И., Яицкая Н. А. Данные реанализа полей ветра над Каспийским морем для расчета режима ветрового волнения // Водные ресурсы. — 2019. — Т. 46. — № 6. — С. 598–604. DOI: 10.31857/S0321-0596466598-604.

14. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bulletin of the American Meteorological Society, 1996, Vol. 77, no 3, pp. 437–470.

15. Lopatoukhin L. I., Yaitskaya N. A. Wave climate of the caspian sea, input wind data for hydrodynamic modeling, and some calculation results // Oceanology, 2019, Vol. 59, no 1, pp. 7–16. DOI: 10.1134/S0001437019010120.

16. Lopatoukhin L. I., Yaitskaya N. A. Peculiarities of the approach to calculation of wind waves in the caspian sea // Russian Meteorology and Hydrology, 2018, Vol. 43, no 4, pp. 245–250. DOI: 10.3103/S1068373918040052.

17. Сорокин Д. Е., Шарафутдинов В. Н., Онищенко Е. В. О проблемах стратегирования развития туризма в регионах России (на примере Краснодарского края и города-курорта Сочи) // Экономика региона. — 2017. — Т. 13. — № 3. — С. 764–776. DOI: 10.17059/2017-3-10.

18. Jina X., Qu M., Bao J. Impact of crisis events on Chinese outbound tourist flow. A framework for post-events growth // Tourism Management, 2019, Vol. 74, pp. 334–344. DOI: 10.1016/j.tourman.2019.04.011.

19. Shoval N., Kahani A., Cantis S., Ferrante M. Impact of incentives on tourist activity in space-time // Annals of Tourism Research, 2020, Vol. 80, 102846. DOI: 10.1016/j.annals.2019.102846.

20. Li Y., Wu S., Nie B., Ma Y. A new pattern of underground space-time Tridimensional gas drainage. A case study in Yuwu coal mine, China // Energy Science and Engineering, 2019, no 7, pp. 399–410.

21. Hua G., Liang Y., Baotang Sh., Qingdong Q., Junhua X. Mining-induced strata stress changes, fractures and gas flow dynamics in multi-seam longwall mining // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2012, no 54, pp. 129–139.

22. Павленко М. В., Хайдина М. П., Кузиев Д. А., Пихторинский Д., Муратов А. З. Факторы воздействия комбайна при добыче угля на увеличение метаноотдачи массива в рабочем пространстве лавы // Уголь. — 2019. — № 4(1117). — С. 8–11. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-8-11.

23. Павленко М. В., Скопинцева О. В. О роли капиллярных сил при вибровоздействии на гидравлически обработанный газонасыщенный угольный массив // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2019. — № 3. — С. 43–50. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

24. Бригида В. С., Голик В. И., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З. Обеспечение устойчивости подрабатываемых наклонных дегазационных скважин при интенсивной разработке свит газоносных угольных пластов // Записки Горного института. — 2019. — Т. 239. — С. 497–501. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.497.

25. Cun Zh., Shihao T., Qingsheng B., Guanyu Y., Lei Zh. Evaluating pressure-relief mining performances based on surface gas venthole extraction data in longwall coal mines // Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, no 24, pp. 431–440.


26. Brigida V. S., Zinchenko N. N. Methane release in drainage holes ahead of coal face // Journal of Mining Science, 2014, Vol. 50, no 5, pp. 994–1000. DOI: 10.1134/S1062739114010098.

27. Qingdong Q., Jialin X., Renlun W., Wei Q., Guozhong H. Three-zone characterization of coupled strata and gas behavior in multi-seam mining // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 2015, no 78, pp. 91–98.

28. Бригида В. С., Дмитрак Ю. В., Габараев О. З., Голик В. И. Использование разгрузочного бурения для обеспечения безопасности отработки газоносных угольных пластов

Донбасса // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 3(747). – С. 7–11. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-3-7-11.

29. William S. C. Visualizing Data. Summit: Hobart Press, 1993. 360 p.

30. Renka R. J., Renka R. L., Cline A. K. A triangle-based  $c^1$  interpolation method // Rocky Mountain Journal of Mathematics, 1984, Vol. 14, no 1, pp. 223–237. 

## REFERENCES

1. Ermakov A. Yu., Kachurin N. M., Senkus Val. V. Physical model and mathematical description of methane transfer in gas-adsorbing rock mass. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2018, no 5, pp. 81–88. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-5-0-81-88.

2. Stas' G. V., Kachurin N. M. Dynamics of methane emission into production face by mining thick flat-lying coal seams with free-flow outlet of upper layer. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta, Nauki o zemle*. 2017, no 4, pp. 170–179. [In Russ].

3. Pak G. A., Drizhd N. A., Dolgonosov V. N. Main roof breakdown – gas-dynamic phenomena relation in coal mines. *Ugol'*. 2014, no 1, pp. 56–58. [In Russ].

4. Shubina E. A., Luk'yanov V. G. Problems in calculating gas-make in the operating panels in view of geomechanical and gas-dynamic processes, and methods to resolve them. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2015. Vol. 326, no 3, pp. 13–18. [In Russ].

5. Do N. A., Dias D., Dinh V. D., Tran T. T., Dao C. D., Dao V. D., Nguyen P. N. Behavior of noncircular tunnels excavated in stratified rock masses – Case of underground coal mines. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 2019, Vol. 11, no 1, Pp. 99–110. DOI: 10.1016/j.jrmge.2018.05.005.

6. Do N. A., Dias D. A comparison of 2D and 3D numerical simulations of tunnelling in soft soils. *Environmental Earth Sciences*, 2019, Vol. 76, no 3, pp. 1–12. DOI: 10.1007/s12665-017-6425-z.

7. Do N. A., Dias D., Oreste P., Djeran-Maigre I. Wave three-dimensional numerical simulation for mechanized tunnelling in soft ground: the influence of the joint pattern. *Acta Geotechnica*, 2014, Vol. 9, no 4, pp 673–694. DOI: 10.1007/s11440-013-0279-7.

8. Komashchenko V. I., Atrushkevich V. A., Kachurin N. M., Stas' G. V. The effectiveness of borehole charges in the destruction of rocks by explosion. *Ustoychivoe razvitie gornykh territoriy*. 2019. Vol. 11, no 2(40), pp. 191–198. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-2-191-198. [In Russ].

9. Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Gabaraev O. Z., Kozhiev Kh. Kh. Minimizing the impact of mining on the environment. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018. Vol. 22, no 6, pp. 26–29. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-6-26-29. [In Russ].

10. Atrushkevich V. A., Pepelev R. G. Parameter's optimization of the sub-floor destruction system in the presence of an inclined ore contact with breeds. *Ustoychivoe razvitie gornykh territoriy*. 2019. Vol. 11, no 3(41), pp. 341–346. DOI: 10.21177/1998-4502-2019-11-3-341-346. [In Russ].

11. Golik V. I., Razorenov Yu. I., Luk'yanov V. G. Environmental and economic aspects of resource saving in mining. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*. 2017. Vol. 328, no 6, pp. 18–27. [In Russ].

12. Kon'shin B. F., Yuskov V. S. Improvement of efficiency in violation control of harmful emission standards by means of prediction using artificial neural network. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019, no 1, pp. 105 – 111. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-105-111.

13. Lopatukhin L. I., YAitskaya N. A. Data of wind field reanalysis over the caspian sea for calculating the regime of wind waves. *Vodnye resursy*. 2019. Vol. 46, no 6, pp. 598–604. [In Russ]. DOI: 10.31857/S0321-0596466598-604.

14. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R., Collins W., Deaven D., Gandin L., Iredell M., Saha S., White G., Woollen J., Zhu Y., Chelliah M., Ebisuzaki W., Higgins W., Janowiak J., Mo K. C., Ropelewski C., Wang J., Leetmaa A., Reynolds R., Jenne R., Joseph D. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1996, Vol. 77, no 3, pp. 437–470.

15. Lopatoukhin L. I., Yaitskaya N.A. Wave climate of the caspian sea, input wind data for hydrodynamic modeling, and some calculation results. *Oceanology*, 2019, Vol. 59, no 1, pp. 7–16. DOI: 10.1134/S0001437019010120.

16. Lopatoukhin L. I., Yaitskaya N.A. Peculiarities of the approach to calculation of wind waves in the caspian sea. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2018, Vol. 43, no 4, pp. 245–250. DOI: 10.3103/S1068373918040052.

17. Sorokin D. E., SHarafutdinov V.N., Onishchenko E. V. On the problems of strategic development of tourism in the regions of russia (case of the Krasnodar region and the resort city of Sochi). *Ekonomika regiona*. 2017. Vol. 13, no 3, pp. 764–776. DOI: 10.17059/2017-3-10.

18. Jina X., Qu M., Bao J. Impact of crisis events on Chinese outbound tourist flow. A framework for post-events growth. *Tourism Management*, 2019, Vol. 74, pp. 334–344. DOI: 10.1016/j.tourman.2019.04.011.

19. Shoval N., Kahani A., Cantis S., Ferrante M. Impact of incentives on tourist activity in space-time. *Annals of Tourism Research*, 2020, Vol. 80, 102846. DOI: 10.1016/j.annals.2019.102846.

20. Li Y., Wu S., Nie B., Ma Y. A new pattern of underground space-time Tridimensional gas drainage. A case study in Yuwu coal mine, China. *Energy Science and Engineering*, 2019, no 7, pp. 399–410.

21. Hua G., Liang Y., Baotang Sh., Qingdong Q., Junhua X. Mining-induced strata stress changes, fractures and gas flow dynamics in multi-seam longwall mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2012, no 54, pp. 129–139.

22. Pavlenko M.V., KHaydina M.P., Kuziev D.A., Pikhtorinskiy D., Muratov A.Z. Impacts of the combine harvester in the production of coal to increase methane recovery array in the workspace lava. *Ugol'*. 2019, no 4(1117), pp. 8–11. [In Russ]. DOI: 10.18796/0041-5790-2019-4-8-11.

23. Pavlenko M.V., Skopintseva O.V. Role of capillary forces in vibratory action on hydraulically treated gas-saturated coal. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2019;3:43-50. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-43-50.

24. Brigida V. S., Golik V. I., Dmitrak Yu. V., Gabaraev O. Z. Ensuring stability of undermining inclined drainage holes during intensive development of multiple gas-bearing coal layers. *Zapiski Gornogo instituta*. 2019. Vol. 239. pp. 497–501. [In Russ]. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.497.

25. Cun Zh., Shihao T., Qingsheng B., Guanyu Y., Lei Zh. Evaluating pressure-relief mining performances based on surface gas venthole extraction data in longwall coal mines. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 2015, no 24, pp. 431–440.

26. Brigida V. S., Zinchenko N. N. Methane release in drainage holes ahead of coal face. *Journal of Mining Science*, 2014, Vol. 50, no 5, pp. 994–1000. DOI: 10.1134/S1062739114010098.

27. Qingdong Q., Jialin X., RenlunW., Wei Q., Guozhong H. Three-zone characterization of coupled strata and gas behavior in multi-seam mining. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 2015, no 78, pp. 91–98.

28. Brigida V. S., Dmitrak YU. V., Gabaraev O. Z., Golik V. I. Use of destressing drilling to ensure safety of Donbass gas-bearing coal seams extraction. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2019, no 3(747), pp. 7–11. [In Russ]. DOI: 10.24000/0409-2961-2019-3-7-11.

29. William S. C. *Visualizing Data*. Summit: Hobart Press, 1993. 360 p.

30. Renka R.J., Renka R.L., Cline A.K. A triangle-based  $c^1$  interpolation method. *Rocky Mountain Journal of Mathematics*, 1984, Vol. 14, no 1, pp. 223–237. [In Russ].

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Бригада Владимир Сергеевич<sup>1</sup> — канд. техн. наук,

научный сотрудник, e-mail: 1z011@inbox.ru,

Кожиев Хамби Хандзимурзович<sup>2</sup> — д-р техн. наук, профессор,

Сарян Акоп Айгазович<sup>3</sup> — канд. эконом. наук,

ведущий научный сотрудник,

*Джиоева Ада Константиновна*<sup>2</sup> — канд. техн. наук, доцент,

<sup>1</sup> Сочинский научно-исследовательский центр РАН,

<sup>2</sup> Северо-Кавказский горно-металлургический институт  
(государственный технологический университет).

**Для контактов:** Бригида В.С., e-mail: 1z011@inbox.ru.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*V.S. Brigida*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Researcher, e-mail: 1z011@inbox.ru,

*Kh.Kh. Kozhiev*<sup>2</sup>, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

*A.A. Saryan*<sup>1</sup>, Cand. Sci. (Econ.), Leading Researcher,

*A.K. Dzhioeva*<sup>2</sup>, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor,

<sup>1</sup> Sochi Research Center of Russian Academy of Sciences, 354000, Sochi, Russia,

<sup>2</sup> North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University),  
362021, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia.

**Corresponding author:** V.S. Brigida, e-mail: 1z011@inbox.ru.

Получена редакцией 21.01.2020; получена после рецензии 06.02.2020; принята к печати 20.03.2020.

Received by the editors 21.01.2020; received after the review 06.02.2020; accepted for printing 20.03.2020.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

---

### ТЕХНОЛОГИИ ДОБЫЧИ И ПЕРЕРАБОТКИ ТОРФА, ТОРФЯНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ЕГО РЕМОНТ

(2019, № 12, СБ 39, 60 с.)

*Горлов И.В., Рахутин М.Г., Чурюмов В.Ю. и др.*

В сборнике представлены работы ученых Тверского государственного технического университета и их коллег, направления исследований которых тесно связаны с торфяной отраслью. Так, например, рассмотрены новые виды магнитопорошковых уплотнений узлов трения торфяных машин и прогрессивные конструкции инерционных сепараторов, служащих для очистки жидкостей и газов, представлена методика моделирования повреждающего воздействия на режущие элементы торфяного фрезерующего агрегата, приведены результаты испытаний лазерной наплавки износостойкого металлокерамического покрытия на детали торфяных машин и всасывающего факела торфяной пневмооборочной машины. Материалы сборника предназначены для широкого круга специалистов — ученых и инженеров, занятых в области добычи и переработки торфа, эксплуатации и ремонта торфяной техники и создания новых материалов и методов, применение которых позволит повысить надежность технологических процессов торфяной отрасли.

### THE TECHNOLOGY OF EXTRACTION AND PROCESSING OF PEAT, TURF EQUIPMENT AND ITS REPAIR

*Gorlov I.V., Rakhutin M.G., Churyumov V.Yu., etc.*

The collection presents the works of scientists of the Tver state technical University and their colleagues, whose research areas are closely related to the peat industry. For example, we considered new types of magnetic seals friction peat machines and the progressive structure of the inertial separators used for purification of liquids and gases, the method of modeling the damaging effects on peat cutting elements of the milling Assembly, the results of testing of laser cladding wear-resistant ceramic-metal coating on parts of peat machinery and suction torch peat pneumballony machine. The materials of the collection are intended for a wide range of specialists-scientists and engineers engaged in the field of peat extraction and processing, operation and repair of peat equipment and the creation of new materials and methods, the use of which will increase the reliability of technological processes in the peat industry.