

---

---

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ  
И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

---

---

УДК 550. 84

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ  
ОПАСНЫХ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ ЛИКВИДИРОВАННОЙ  
ШАХТЫ КАПИТАЛЬНОЙ ТАВРИЧАНСКОГО  
УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

© 2018 г. А.И. Гресов, А.В. Яцук, Н.С. Сырбу

*Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, ул. Балтийская 43,  
г. Владивосток, 690048 Россия. E-mail: gresov@poi.dvo.ru*

Поступила в редакцию 17.03.2017 г.

Обобщены и проанализированы результаты многолетних эколого-газовых исследований распределения метана в грунтах поля шахты Капитальной Тавричанского угольного месторождения. Установлено семь основных пространственно-временных закономерностей формирования опасных газогеохимических полей, связанных с процессами ликвидации шахты. Охарактеризованы геологические и техногенные факторы, влияющие на распределение опасных концентраций метана в почво-грунтах шахтного поля и поселка Тавричанка.

**Ключевые слова:** *подпочвенный слой, грунт, метан, генезис, миграция, газогеохимическое поле, закономерность, факторы, шахта, ликвидация, газоопасность*

DOI: 10.7868/S0869780318020023

## ВВЕДЕНИЕ

Тавричанское бурогольное месторождение расположено на территории Надеждинского муниципального района Приморского края. Площадь месторождения на юге ограничена побережьем Амурского залива, севере и востоке – долинами рек Раздольная и Шмидтовка. Площадь месторождения представляет холмистую поверхность с типичными эрозионными формами. Максимальные отметки поверхности 40–80 м, минимальные – 0–5 м на берегу лагуны Тихой и Амурского залива. Месторождение обрабатывалось шахтами Капитальная и № 5, в пределах горных отводов которых расположены пос. Тавричанка и с. Давыдовка с населением около 10 тыс. человек.

Характерная особенность месторождения – высокая метанонасыщенность продуктивной угленосной свиты. Относительная метанообильность горных выработок шахт достигала 100–114 м<sup>3</sup>/т.с.д (тонна суточной добычи) при показателях метанонасыщенности угольных пластов 7–13 м<sup>3</sup>/т на глубинах отработки 350–620 м. Перспективные для извлечения ресурсы угольного метана угловской свиты на шахтовых полях составляли 4.9 млрд м<sup>3</sup>, в том числе 1 млрд м<sup>3</sup> – в отработанных пространствах шахт [2, 6]. Исходя из указанных показателей, очевидно,

что ликвидация шахт затоплением будет связана с активным выделением метана на поверхности. Особую опасность по газовыделению представляет ликвидированная в 1996 г. шахта Капитальная, на площади отработки угольных пластов которой расположен пос. Тавричанка. В контуре отработки угля шахты № 5 – здания жилой и административной застройки отсутствуют (рис. 1). Целевой объект настоящей работы – заселенная территория горного отвода шахты Капитальной, на которой, начиная с 1998 г., отмечается формирование опасных газогеохимических полей с содержаниями метана в грунтах до 55%, сопровождаемое в ряде случаев его возгоранием с негативными социальными последствиями.

В отличие от других регионов России, где по прогнозу формирования опасных газогеохимических полей и защите населенных пунктов от выхода шахтовых газов накоплен некоторый опыт, на Дальнем Востоке и в Приморье данная проблема остается малоизученной. Сравнительный анализ имеющегося материала, выявление пространственно-временных закономерностей формирования опасных газогеохимических полей, позволяет не только приблизиться к пониманию природы их образования, но и к прогнозу их развития и разработке мероприятий по инженерной газовой защите заселенных

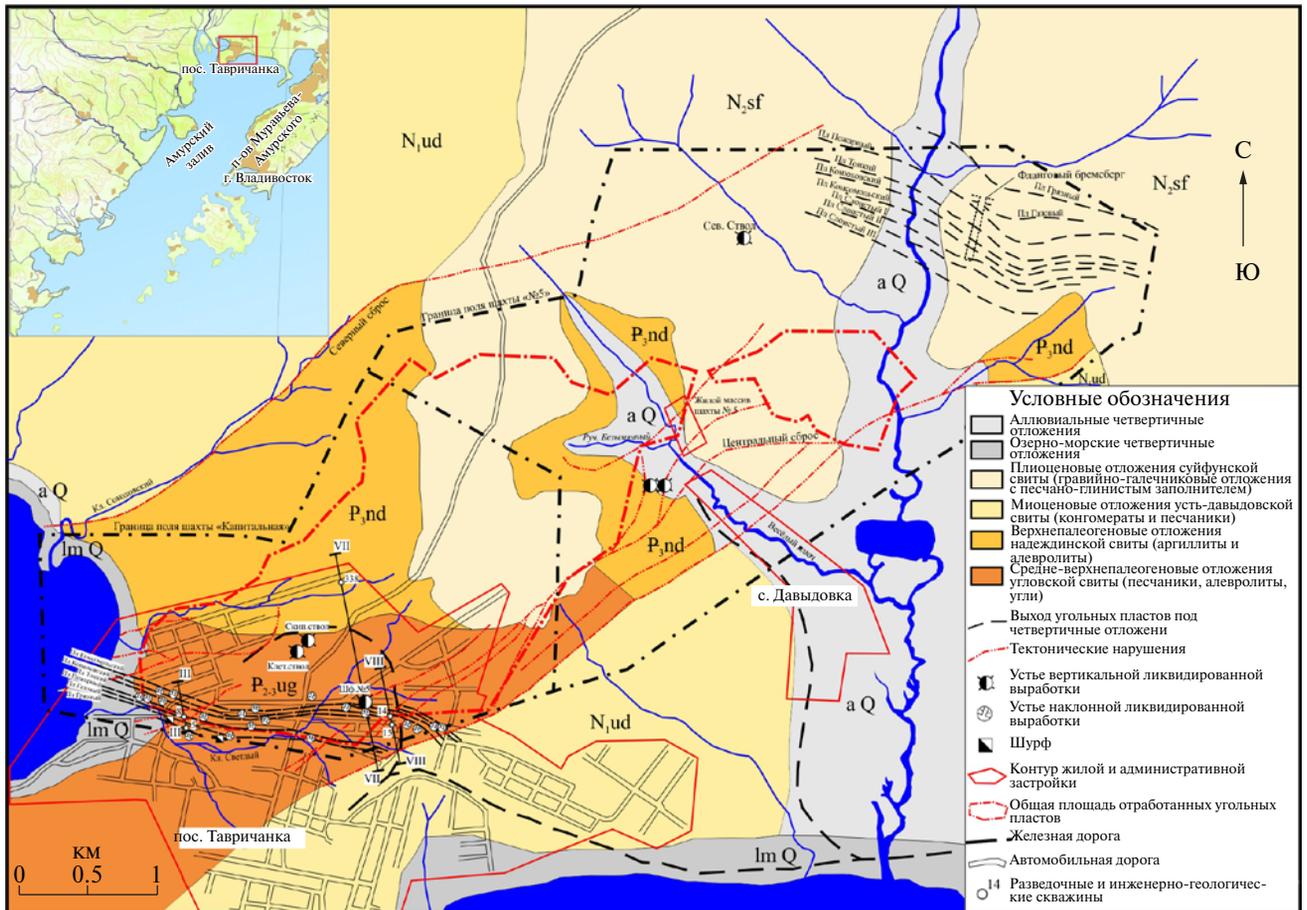


Рис. 1. Схематическая геологическая карта полей шахт Капитальная и № 5 Тавричанского угольного месторождения. На врезке – расположение месторождения.

территорий. Освещению этих актуальных геоэкологических и социальных проблем посвящена настоящая работа.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Газогеохимическое обследование грунтов осуществлялось методом почвенно-газовой съемки в соответствии с ГОСТ Р 53239–2008<sup>1</sup> и методических рекомендаций, изложенных в работе [9]. Пробы газа отбирались из шпуров (глубиной 0,7–1,0 м) и мелких скважин (1,5–2,0 м). Отбор проб газа осуществлялся «мокрым» способом с применением консерванта (перенасыщенного солевого раствора) в стеклянные емкости объемом 125 мл. Анализ газа производился в сертифицированных газовых лабораториях ООО «Дальвостуглеразведка» и ТОИ ДВО

РАН на хроматографах ЛХМ-8МД и Кристалл 9000 в соответствии с ГОСТ 23781–87<sup>2</sup> и ГОСТ 31371.3–2008<sup>3</sup>. В процессе исследований к опасным зонам относились площади с концентрациями метана в подпочвенном слое и грунтах более 0,06% и угрожаемым – 0,03–0,06%<sup>4</sup>. Изучение изотопного состава углерода ( $\delta^{13}\text{C}$  V-PDB) метана выполнялось в сертифицированных лабораториях стабильных изотопов Московского геологоразведочного института и Дальневосточного геологического института ДВО РАН на масс-спектрометрах Finnigan MAT-350 и Deltaplus XL.

<sup>2</sup>ГОСТ 23781–87. Газы горючие природные. Хроматографический метод определения компонентного состава. М.: Госстандарт, 1987. 12 с.

<sup>3</sup>ГОСТ 31371.3–2008. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. М.: Стандартинформ, 2009. 16 с.

<sup>4</sup>РД 05–313–99. Инструкция о порядке контроля за выделением газов на земную поверхность при ликвидации (консервации) угольных шахт. Кемерово: ВНИМИ, 1999. 26 с.

<sup>1</sup>ГОСТ Р 53239–2008. Хранилища природных газов подземные. Правила мониторинга при создании и эксплуатации. М.: Стандартинформ, 2009. 19 с.

ГОРНОГЕОЛОГИЧЕСКАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА

Поля шахты Капитальной расположено в западной части Тавричанского месторождения Угловского бурогоугольного бассейна в пределах одноименной приразломной наложенной впадины, выполненной кайнозойскими отложениями, залегающими на породах сложнодислоцированного мезозойского фундамента.

**Стратиграфии и литология.** Складчатый фундамент шахтового поля сложен верхнетриасовыми и нижнемеловыми осадочными отложениями. Образованиям верхнего триаса, представленными переслаиванием песчаников, алевролитов, аргиллитов с прослоями и пластами каменных углей *норийского* ( $T_3n$ ) яруса, принадлежит основная роль в строении фундамента. В отложениях яруса установлено до 30 прослоев и пластов каменного угля мощностью от 0.05 до 5.0 м. Нижнемеловые отложения *сучанской серии*, сложенные песчаниками, алевролитами, аргиллитами с пропластками каменных углей (от 1 до 3, мощностью до 0.4 м), выходят на поверхность на южной границе шахтного поля [1, 6, 10]. Кайнозойский чехол шахтного поля представлен несколькими свитами палеоген-неогенового возраста и четвертичными отложениями.

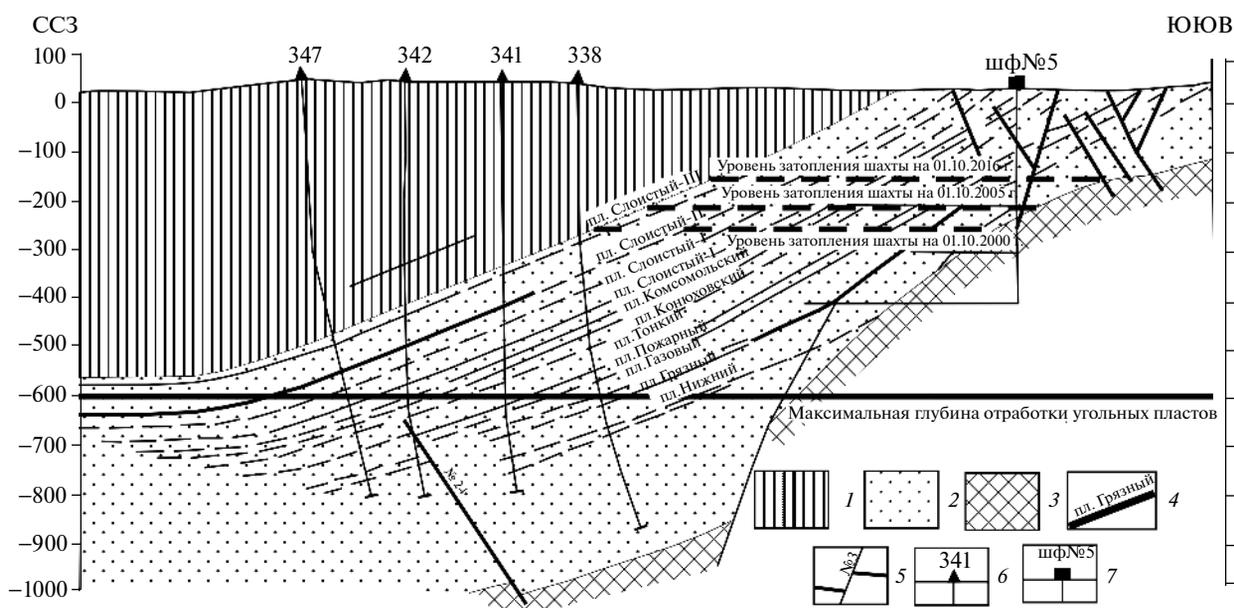
*Угловская свита* ( $P_{2-3ug}$ ) мощностью 300–650 м залегает на породах фундамента и сложена в ос-

новном мелкозернистыми песчаниками. В основании свиты выделен горизонт конгломератов мощностью 275 м в центральной части шахтного поля (скв. 347, 353), выклинивающийся на его юго-восточном фланге. Выше залегают угленосные отложения, в которых установлено до 33-х пропластков и пластов угля марочного состава 3Б-БД мощностью 0.1–20.2 м, 12 из них имеют промышленное значение.

*Надеждинская свита* ( $P_3nd$ ) залегает согласно на отложениях угловской свиты и представляет собой монотонную толщу глинистых пород с редкими линзами и прослоями бурых углей. Мощность свиты в северной части поля шахты Капитальной достигает 500–550 м (рис. 2).

*Усть-давыдовская свита* ( $N_{1us}$ ) залегает на отложениях надеждинской свиты. В свите выделяются песчано-глинистая и лигнитовая подсвиты, представленные мелкозернистыми песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями лигнитов в верхней части разреза миоценового возраста. Мощность свиты не превышает первых десятков метров. *Суйфунская свита* ( $N_{2sf}$ ) представлена галечниками, гравийниками и песками с линзами глин, пепловых туфов и туффитов. Мощность отложений свиты достигает 130 м.

*Четвертичные отложения* представлены аллювиальными и элювиально-делювиальными отложениями мощностью до 4 м, покрывающими



**Рис. 2.** Схематический геологический разрез по линии VII–VII поля шахты Капитальной: 1 – надеждинская свита, 2 – угловская свита, 3 – верхнетриасовый фундамент, 4 – угольный пласт и его название, 5 – тектоническое нарушение и его номер, 6 – скважины и их номер, 7 – шурф № 5.

водораздельные пространства и склоны всхолмленного рельефа. Вдоль морского побережья развиты лагунные и прибрежно-морские отложения. Почвы на низменных участках побережья и приустьевых частях рек представлены дерново-луговыми и болотистыми разновидностями. На возвышенных участках развиты малогумусовые, суглинистые, местами переувлажненные лесные почвы. Мощность почворастительного слоя не превышает 0.5 м. В пределах шахтного поля имеют широкое развитие *техногенные грунты*, представленные щебнем, гравием, золой, строительным мусором и др., мощностью до 2.5 м [1–3, 6, 7, 10].

**Природная метаноносность.** Содержание метана в угольных пластах поля шахты Капитальной достигает 96.8%, вмещающих породах – 90.8, газопроявлениях – 96.5 и подземных водах – 81.3%. Горизонт деметанизации – отсутствует. Содержание  $\text{CH}_4$  до 0.7% установлено в угольных пластах на глубинах 5–9 м. С увеличением глубины залегания угольных пластов средние концентрации  $\text{CH}_4$  возрастают от 1.8% на глубинах 25–50 м до 80% на 150–200 м. В угленосной толще выделяются две газовые зоны: газового выветривания и метановых газов. Первая – подразделяется на две подзоны – метано-азотных ( $\text{CH}_4 < 50\%$ ) и азотно-метановых ( $\text{CH}_4 - 50 - 80\%$ ) газов. Верхняя граница зоны метановых ( $\text{CH}_4 > 80\%$ ) газов фиксируется на глубинах 150–200 м. В угленосных отложениях присутствуют как минимум 3 генетических типа метана. Первый – *углеметаморфогенный* (сингенетичный угловской свите) с показателями изотопного состава углерода метана  $\delta\text{C}^{13}$  от –40.2 до –58.4‰, второй – *биогеогенный* (от –64.0 до –72.8) и третий – *миграционный*, поступающий в угленосную толщу из мезозойского фундамента в процессе диффузии и миграции по зонам тектонических нарушений (от –32.2 до –42.4‰) [2–6].

Метаноносность угольных пластов угловской свиты зависит от глубины их залегания и закономерно возрастает от 0.3 до 14  $\text{м}^3/\text{т}$  в интервале 50–720 м. Метаноносность песчаников (в  $\text{м}^3/\text{т}$ ) не превышает 1.3; алевролитов и аргиллитов – 2.4, углистых аргиллитов – 4.0. Метанонасыщенность подземных вод глубоких горизонтов достигает 0.1  $\text{м}^3/\text{м}^3$ . Перспективные для извлечения ресурсы свободного и сорбированного метана угловской свиты на полях шахт Капитальной и № 5 (по состоянию на 01.01.2009 г.) составляют 4.9 млрд  $\text{м}^3$  при плотности 628 млн  $\text{м}^3/\text{км}^2$ , месторождения – 11.8 млрд  $\text{м}^3$  и 267 млн  $\text{м}^3/\text{км}^2$  соответственно. В соответствии с классификацией масштабности

залежей углеводородов, применяемой в России, Тавричанское месторождение по метаноресурсному потенциалу соответствует среднему газовому месторождению (10–100 млрд  $\text{м}^3$ ) [6].

Метаноносность угольных пластов каменного угля, подстилающих угловскую свиту верхнетриасовых отложений, не превышает 16–17  $\text{м}^3/\text{т}$ , вмещающих пород – 3.2  $\text{м}^3/\text{т}$ . Содержание метана и его гомологов (в сумме до  $\text{C}_5$ ) достигает 98.0 и 5.1% [6]. В целом отложения фундамента являются природным источником, восполняющим потери метана угловской угленосной свиты вследствие процессов ее природной и техногенной дегазации. Основные пути газопереноса – зоны разломов и тектонических нарушений, секущих породы фундамента и продуктивной свиты. Данными обстоятельствами, по-видимому, объясняются высокая метаноносность пластов бурого угля угловской свиты и аномальная метанообильность горных выработок шахты Капитальной [2, 3, 6].

В составе природного газа поля шахты Капитальной, кроме метана, установлены его гомологи (от этана до пентана включительно и их непредельные аналоги) в суммарных концентрациях до 5.12% (до 0.11  $\text{м}^3/\text{т}$ ), углекислый газ – до 46.04 (2.4  $\text{м}^3/\text{т}$ ), водород – до 7.20 (0.12  $\text{м}^3/\text{т}$ ), а также гелий – до 0.12%, аргон – до 0.64% и азот – до 94.2% [2–6, 10].

**Тектоника.** В структурном отношении месторождение представляет асимметричную синклиналиную структуру с погружением оси на северо-запад, осложненную антиклинальным меридиональным перегибом в юго-западной части поля шахты № 5. Структура асимметричная – с крутым южным крылом и пологим северным. Поле шахты Капитальной, расположенное на западном фланге месторождения, ограничено с северо-запада Северным сбросом с вертикальной амплитудой смещения более 1000 м, с юго-востока – сбросо-сдвигом Большим с вертикальной и горизонтальной амплитудой смещения 600 и 800 м соответственно. Оперяющий его сброс Центральный и его апофизы представляют собой мощную зону сбросо-сдвиговых дислокаций северо-восточного простирания, шириной 100–300 м с амплитудами вертикального смещения от 5 до 140 м. В пределах поля шахты Капитальной выявлена общая закономерность приуроченности дизъюнктивных нарушений типа сбросо-сдвигов с опущенным блоком и простиранием, совпадающим с простиранием “Большого сброса” и угольных пластов. Характерная особенность сбросо-сдвиговых дислокаций – многократное

превышение сдвиговой составляющей над вертикальной, что указывает на *доминирование процессов сжатия* при их формировании. На площадях их развития отмечается чередование зон с показателями газопроницаемости угленосных массивов 0.001–0.5, 0.5–1, 1–5, 5–15 и более мД. На границах зон с резко отличающимися параметрами газопроницаемости создаются благоприятные условия для формирования залежей свободного газа [2, 3, 6, 10].

**Гидрогеологические условия** поля шахты Капитальной – простые. Шахтовый водоотлив влияния на подземные воды кайнозойских отложений не оказывал [10]. В гидрогеологическом отношении важны следующие обстоятельства:

- угольные пласты залегают в пределах угольного водоносного комплекса (УВК) угловской свиты, представляющего собой слабопроницаемую гидравлически единую сложную слоистую толщу с затрудненным водообменом;

- на шахтном поле выше УВК залегают глинистые породы надеждинской свиты (регионального газоводоупора), практически исключающие проникновение поверхностных и подземных вод в горные выработки и выделение шахтовых газов на площади их развития.

С данными обстоятельствами, по-видимому, связана относительно низкая динамика затопления шахты и отсутствие опасных и угрожаемых газогеохимических полей на площадях распространения отложений надеждинской свиты.

**Горнотехническая характеристика.** Первые сведения о добыче угля на поле шахты Капитальной относятся к 1868 г. В 1912–1914 гг. были заложены наклонные шахты 1, 1-бис и № 2. Начиная с 1925 г. добыча угля ведется наклонной шахтой № 4. В 1931 г. была заложена шахта Капитальная производственной мощностью 300 тыс. т угля в год; в 1957 году ее реконструировали на добычу в 450 тыс.т. Вскрытие шахтного поля было осуществлено двумя вертикальными стволами, вентиляционным шурфом № 5 и наклонным стволом шахты № 4. Главный ствол пройден на 65 м ниже гор.—445 м, вспомогательный ствол и шурф № 5 – до гор. 445 м. На наклонный ствол шахты № 4 выходили вентиляционные выработки пластов Газового, Пожарного, Конюховского и Комсомольского; на вскрывающие вертикальные стволы – все четыре горизонта. Шурф № 5 сбивался с квершлагами с выработками горизонтов –245,–345 и –445 м. Подготовительные работы осуществлялись с главных откаточных выработок, пройденных по породе.

Главная водоотливная установка, оборудованная двумя насосами ЦНС 105–490, размещалась в околоствольном дворе гор.—445 м. По вспомогательному стволу были проложены два нагнетательных трубопровода диаметром 150 мм. Поступающая из шахты вода после очистки сбрасывалась в руч. Светлый и далее в лагуну Тихую.

Способ проветривания шахты – всасывающий, схема вентиляции – фланговая. Свежий воздух поступал в шахту по клетьевому стволу, подавался в горные выработки гор.—445 м и удалялся в атмосферу вентиляторными установками, установленными на шурфе № 5 и ходке наклонного ствола шахты № 4, на который выходили вентиляционные выработки для выдачи исходящей струи при отработке пластов Газовый и Пожарный (верхняя абсолютная отметка –135 м по примыкающему западному блоку и –152 м – по восточному), Конюховский и Комсомольский (–76 м и –92 м соответственно). Шахта Капитальная являлась сверхкатегорной по метану и углекислому газу. Относительная метанообильность и углекислотообильность горных выработок достигали 114 и 43 м<sup>3</sup>/т.с.д. (тонна суточной добычи) соответственно. Вентиляционными струями шахты ежегодно выбрасывалось в атмосферу до 36–40 млн м<sup>3</sup> метана. Давление газа в природных и техногенных ловушках изменялось от 0.4 МПа (4 кгс/см<sup>2</sup>) на глубинах 195–300 м до 5.6 МПа – на 305–520 м. В процессе горных и геологоразведочных работ зафиксировано около 200 свободных газопроявлений, суфляров и выбросов газа с дебитом до 50 м<sup>3</sup>/мин и концентрацией метана до 92%, связанных с вскрытием газовых ловушек. В горных выработках шахты Капитальной также зарегистрировано 10 выбросов угля и газа, что является уникальным фактом в мировой практике отработки пластов бурого угля. В связи с газодинамической опасностью на шахте осуществлялась подземная дегазация. Дебит метана в дегазационных трубопроводах составлял 10–36 тыс. м<sup>3</sup>/сут, содержание СН<sub>4</sub> 32–94%. Суммарный общешахтовый выброс метана в атмосферу с дегазацией достигал 40–50 млн м<sup>3</sup>/год [2, 3, 6].

За время эксплуатации шахты основные запасы угля пластов Конюховский, Комсомольский, Слоистый-I и Слоистый-III были практически отработаны. В последний период шахта отрабатывала пласты Пожарный, Газовый и Грязный: гор.—345 м,—445 м и ниже – до глубины 625 м. Ранее действующие горизонты –245 м и –145 м были изолированы. В результате горных работ в отработанных пространствах (техногенных коллекторах) шахты сформировались залежи свободного

метана в объемах более 0.5 млрд м<sup>3</sup>, представляющие серьезную геозекологическую угрозу заселенным территориям поселка Тавричанка [2, 6, 7].

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЗОГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

Первые сведения существования природных аномальных газогеохимических полей на поле шахты Капитальной получены в процессе буровых работ. При бурении четвертичных отложений в скважинах на отдельных площадях отмечалось активное пробулькивание газа через промывочную жидкость. Данные газопроявления зафиксированы на побережье лагуны Тихой, а также на площадях выходов тектонических нарушений и угольных пластов под наносы в западной и восточной частях шахтного поля вне контура горных работ<sup>5</sup>. Основную опасность для заселенной территории пос. Тавричанка представляют газогеохимические поля, образованные в почво-грунтах в результате ликвидации шахты Капитальной, с начала затопления которой авторами выделяются три основных этапа их формирования.

**Первый этап** относится к периоду 1996–2000 гг. С остановкой водоотлива во II квартале 1996 г. началось активное затопление горных выработок нижних горизонтов шахты. Закрепленное пространство выработок горизонтов –445 м и –345 м, действовавших на момент остановки шахты, благоприятствовало процессам ее интенсивного затопления до горизонта –245 м (см. рис. 2). Выдавливание подземными водами метана из выработанных пространств шахты привело к его активной миграции к поверхности. Основными путями миграции СН<sub>4</sub> являлись действовавшие на момент ликвидации *вертикальные выработки* скипового, клетьевого ствола и шурфа № 5, ликвидированные засыпкой на полную глубину. В период 1998–2000 гг. содержание СН<sub>4</sub> из газоотводных труб скипового ствола изменялось от 0.01 до 2.1%, шурфа № 5 – 0.02 – 5.0% и клетьевого ствола – от 0.03 до 55.0%. Дебиты газа из газоотводных труб в начальный период их эксплуатации достигали 1.1 м<sup>3</sup>/мин. В пределах околоствольного двора концентрации метана из газодренажных трубок водяного става достигали 54.3%, калориферной установки – 32.0% и дегазационных трубопроводов – 56.1%. В результате исследований установлено, что в процессе бокового

рассеивания (диффузии газа) вокруг газоотводных труб и газодренажных трубок в грунтах околоствольного двора шахты образовались динамически развивающиеся во времени и пространстве локальные ореолы рассеивания метана, в результате объединения которых сформировалось опасное газогеохимическое поле с содержаниями СН<sub>4</sub> от 0.06 до 56.2% с показателями изотопного состава углерода δC<sup>13</sup> СН<sub>4</sub> от –51.4 до –62.0‰ (в среднем –56.7‰). Аналогичное опасное поле с содержаниями метана до 0.5% сформировалось в пределах шурфа № 5 (рис. 3).

В этот же период из газоотводных труб наклонной шахты 4 и шурфа № 2, засыпанных на расчетную безопасную глубину, наблюдались выделения метана в концентрациях от 0.1 до 9.6% и формирование в районах ул. Водопроводной и Шахтерской локальных газогеохимических полей с содержанием СН<sub>4</sub> от 0.03 до 0.7%. Подобная ситуация сложилась в центральной и западной части поселка в районах выходов ранее ликвидированных выработок и кустарных шахт: наклонных шурфов 3, 4, 5, 6, Ремизова, Задворного, наклонных шахт 1, 1-бис и ул. Интернациональной, Пионерской, Партизанской и Горького, где сформировались опасные газогеохимические поля в пределах изолинии отработки верхнего угольного пласта 60 м (высота зоны водопроводящих трещин, установленная горными работами) с содержанием СН<sub>4</sub> в почво-грунтах до 0.8%. Угрожаемые концентрации СН<sub>4</sub> до 0.04% установлены также в зонах выходов тектонических нарушений 37 и 38 в пределах ул. Пушкина и Овражной (см. рис. 3).

Установлено, что в первый период формирования газогеохимических полей в опасные зоны по выходу шахтовых газов (занимающие 10% заселенной территории горного отвода шахты) попадали 25 жилых и 26 нежилых объектов пос. Тавричанка, в угрожаемые зоны – 73 и 160 соответственно. Следует отметить, что в пределах околоствольного двора и наклонной шахты № 4 произошло несколько случаев воспламенения метана, сопровождавшихся травмами жителей поселка, в одном – трагическими последствиями<sup>6</sup>).

В целом локальное распределение и приуроченность опасных концентраций подпочвенного метана к выходам, действующих на момент

<sup>5</sup>Разработка принципов прогнозирования внезапных выделений метана на шахтных полях Дальнего Востока: отчет о НИР/ Гресов А.И. М.: ВГГФ, Гос. рег. № 25–93–25/3, 1996).

<sup>6</sup>Комплексная оценка и прогноз экологических последствий закрытия шахт ШУ «Тавричанское» и разработка схемы инженерной защиты поселка Тавричанка: отчет о НИР / Елисафенко Т.Н., Гресов А.И. Владивосток: ДальвостНИИпроектуголь, гос. рег. № 25–99–16, 2000.

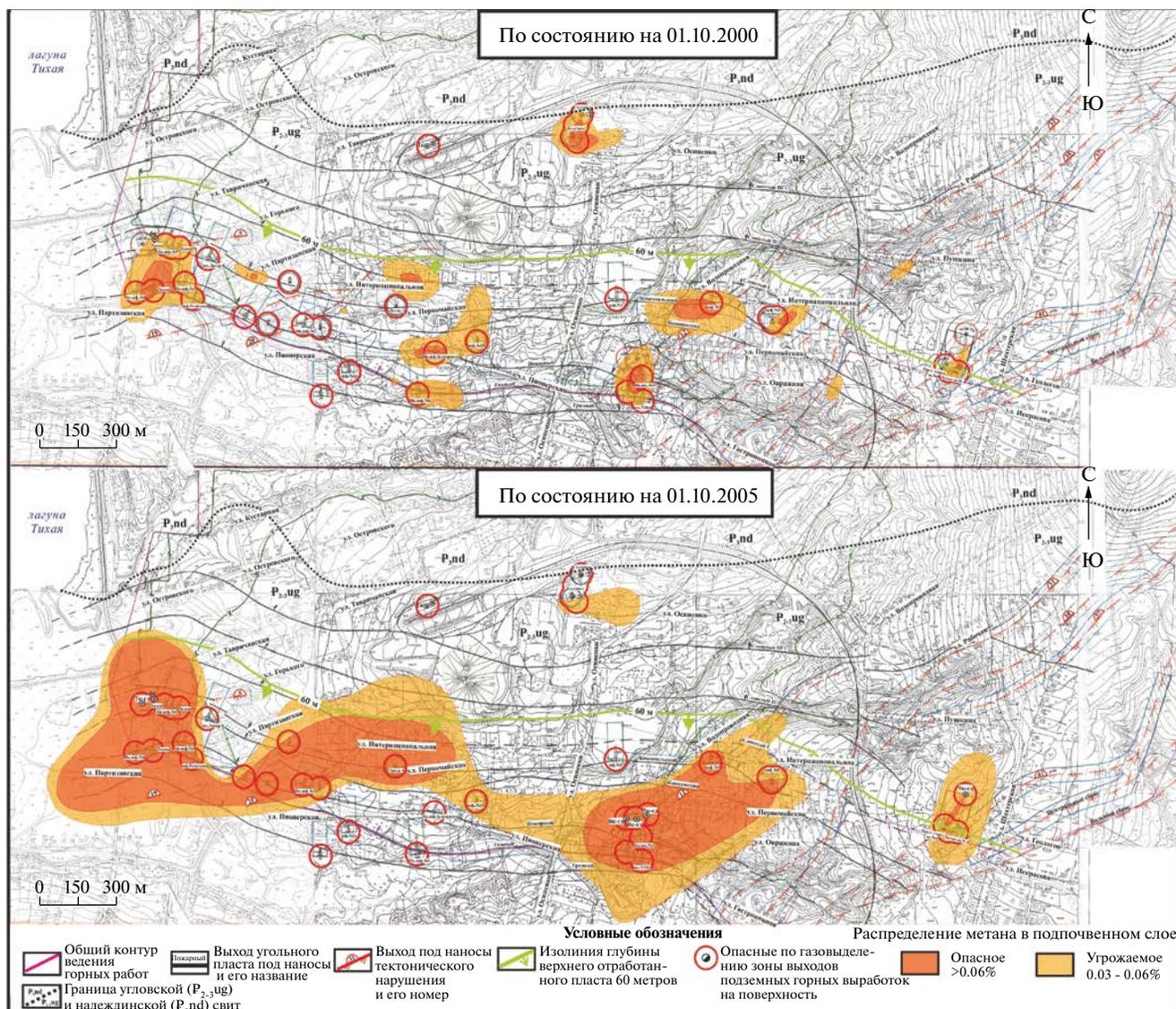


Рис. 3. Схематическая карта распределения опасных и угрожаемых газогеохимических полей в первый и второй периоды их формирования.

ликвидации вертикальных и наклонных горных выработок, а также ранее ликвидированных шурфов и кустарных шахт, в пределах изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м, – *первая пространственно-временная закономерность* формирования газогеохимических полей.

**Второй этап** формирования опасных газогеохимических полей, относящийся к периоду 2001–2005 гг., характеризуется резко изменившимся газогидродинамическим режимом затопления шахты и поступления шахтовых газов к поверхности. Изменение режима связано с тем, что уровень затопления шахты достиг зоны перехода пород фундамента, угольных пластов и горных

выработок от крутого залегания к наклонному и пологому в области развития сбросо-сдвиговых дислокаций выше горизонта –245 м (см. рис. 1–3). В результате градиент затопления шахты уменьшился до 10 м/год (уровень подземных вод на 01.10.2005 г. на отметке –196 м), и сформировалась мощная залежь свободного газа в приконтактных зонах тектонических нарушений. Под напором подземных вод в залежи свободного газа формировалось избыточное газовое давление, достаточное для прорыва газов и активной их миграции к поверхности по зонам тектонических нарушений и газоводопроводящих трещин кровли верхнего отработанного угольного пласта. Кроме того, данные процессы обусловили также

активное поступление шахтовых газов к поверхности в пределах ранее ликвидированных наклонных выработок и кустарных шахт. В целом в период 2001–2005 гг. было отмечено увеличение площадей опасных газогеохимических полей, их объединение в западной и центральной части поселка и формирование в восточной. Важная особенность этого периода – формирование в грунтах угрожаемых содержаний метана за границей изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м (см. рис. 3). Указанные процессы сопровождались возрастанием концентраций метана в грунтах в центральной части поселка до 28.0%, западной – 9.8 и восточной – 2.0% [7].

В условиях создавшейся газоопасной ситуации, на территории пос. Тавричанка в 2003 г. были пробурены газодренажные скважины 5к-гд, 6к-гд, 7к-гд, 8к-гд и 9к-гд. В начальный период их эксплуатации дебит газа достигал 6.5 м<sup>3</sup>/мин, концентрации СН<sub>4</sub>–73%. Скважина 6к-гд, из-за технологического брака, имела низкодебитные характеристики с содержаниями СН<sub>4</sub>, не превышающими 7%. В дальнейшем, газовыделения из скважин имели резко изменчивый во временном отношении *пульсационный* характер дебита газа от 0.1 до 2.5 м<sup>3</sup>/мин и содержаний метана от 24 до 78%, обусловленный обрушениями породных массивов и резким падением уровня подземных вод от 3 до 20 м, связанным с затоплением новообразованных коллекторов и прорывами вод в заперемыченное пространство погашенных выработок шахты [7, 8]. Катализатором этих процессов, по-видимому, являлось геомеханическое воздействие природных и техногенных землетрясений. По данным [10], Тавричанское месторождение расположено в 6-бальной зоне сейсмической опасности. В период 2001–2005 гг. на месторождении и прилегающих к нему территориях зарегистрировано 22 землетрясения с магнитудами 3.8–4.6 балла [11], а также 3 техногенных землетрясения (горных удара) с мощностью 2.5–3.0 балла (данные Приморского центра экологического мониторинга (ПримЦЭМ) Государственного управления по реструктуризации шахт Российской Федерации).

В период 2003–2005 гг. газодренажными скважинами без применения вакуумной дегазации было удалено более 6 млн м<sup>3</sup> метана с показателями изотопного состава углерода δС<sup>13</sup> СН<sub>4</sub> от –48.2 до –62.4‰ (10 определений, в среднем –57.4‰), указывающими на паритетный характер распределения в выработанном пространстве шахты углеметаморфогенного и биогенного метана. Показатели изотопного состава δС<sup>13</sup> почвенного

метана, в среднем составляющие –58.0‰ (6 определений), указывают на аналогичный генетический характер его распределения и в грунтах<sup>7</sup>.

В процессе исследований 2003–2005 гг. установлен факт отсутствия опасных концентраций метана в грунтах околовольного двора шахты Капитальной (см. рис. 3). Содержание метана, выделяющегося из газоотводных труб скипового, клетьевого ствола и шурфа № 5, дегазировавших горизонты шахты –445 м и –345 м снизились до 0.01–0.6%. Данное обстоятельство связано с установлением газогидродинамического равновесия в выработанном пространстве затопленных нижних горизонтов и технологической изоляцией горизонта –245 м в пределах указанных выработок. Следствием этого процесса стало уменьшение содержания СН<sub>4</sub> в грунтах околовольного двора и шурфа № 5 до 0.01–0.05%.

В целом установлено, что по состоянию на 01.10.2005 г. (см. рис. 3) к опасной и угрожаемой по выделению метана зонам относилось 40% заселенной территории горного отвода шахты Капитальной (см. сноску 7).

Таким образом, увеличение площади и объединение опасных газогеохимических полей, связанное с активной миграцией газов в условиях достижения уровня затопления шахты области изменения залегания пород фундамента, угольных пластов, горных выработок и сбросо-сдвиговых дислокаций – *вторая пространственно-временная закономерность* второго периода их формирования; а пульсационное поступление шахтовых газов к поверхности и в почво-грунты – *третья*.

**Третий этап**, относящийся к периоду 2006–2016 гг., характеризуется разделением ранее существовавшей газоопасной площади в центральной и западной части поселка и формированием двух опасных газогеохимических полей – в восточной. При этом площади опасных и угрожаемых газогеохимических полей в центральной части поселка резко уменьшились и значительно увеличились в западной и восточной, т.е. за границей изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м (см. рис. 3, рис. 4) при снижении значений градиента затопления шахты до 5 м/год (уровень подземных вод по состоянию на 01.10.2016 г. достиг горизонта –145 м). В процессе исследований установлено 11 опасных и угрожаемых

<sup>7</sup>Результаты экологического обследования поля шахты «Капитальная» Тавричанского бурогольного месторождения: отчет о НИР/ Гресов А.И. Владивосток: ПримЦЭМ, 2005.

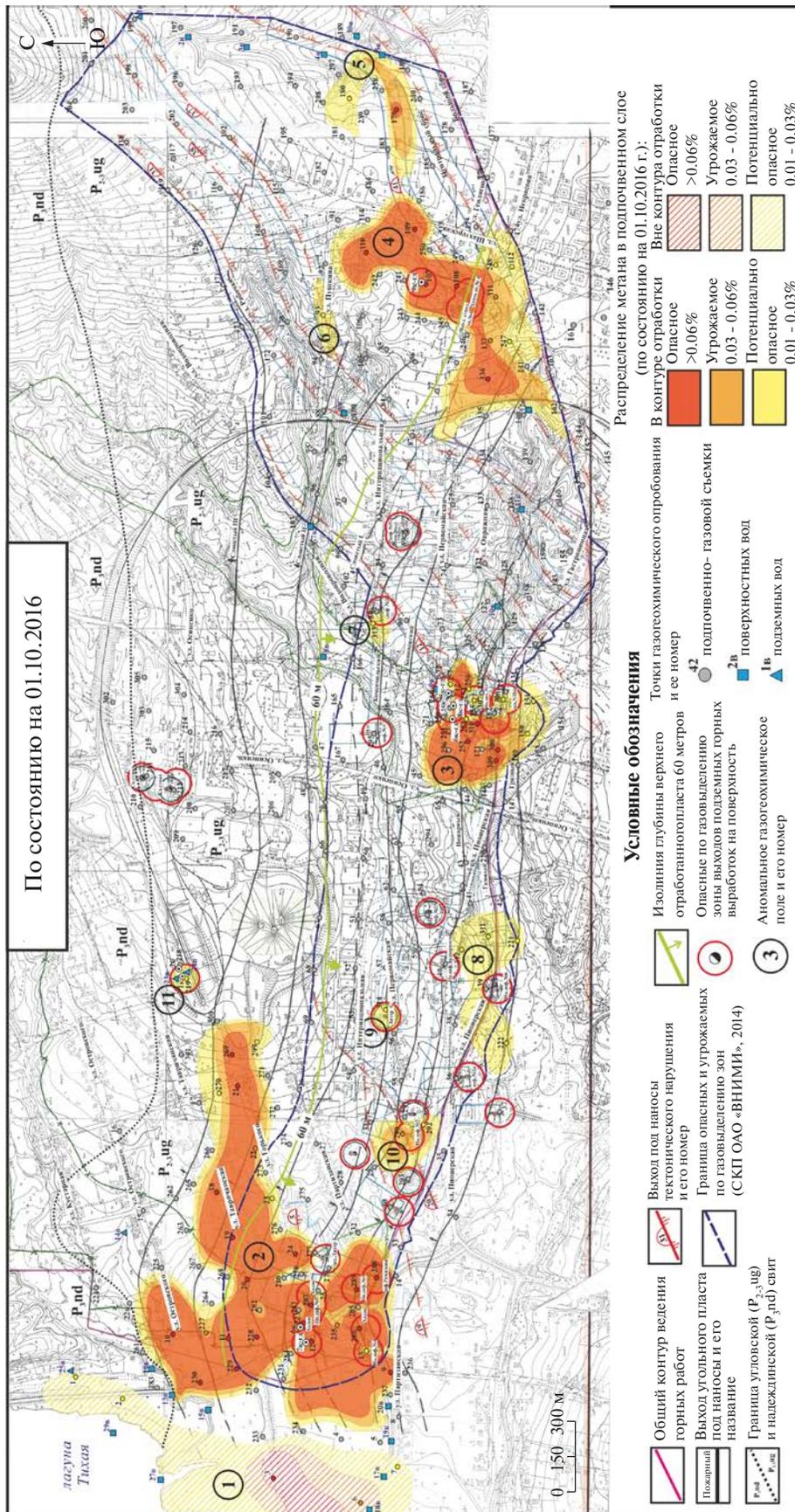


Рис. 4. Схематическая карта распределения опасных, угрожаемых и потенциально опасных газогеохимических полей в третий период их формирования.

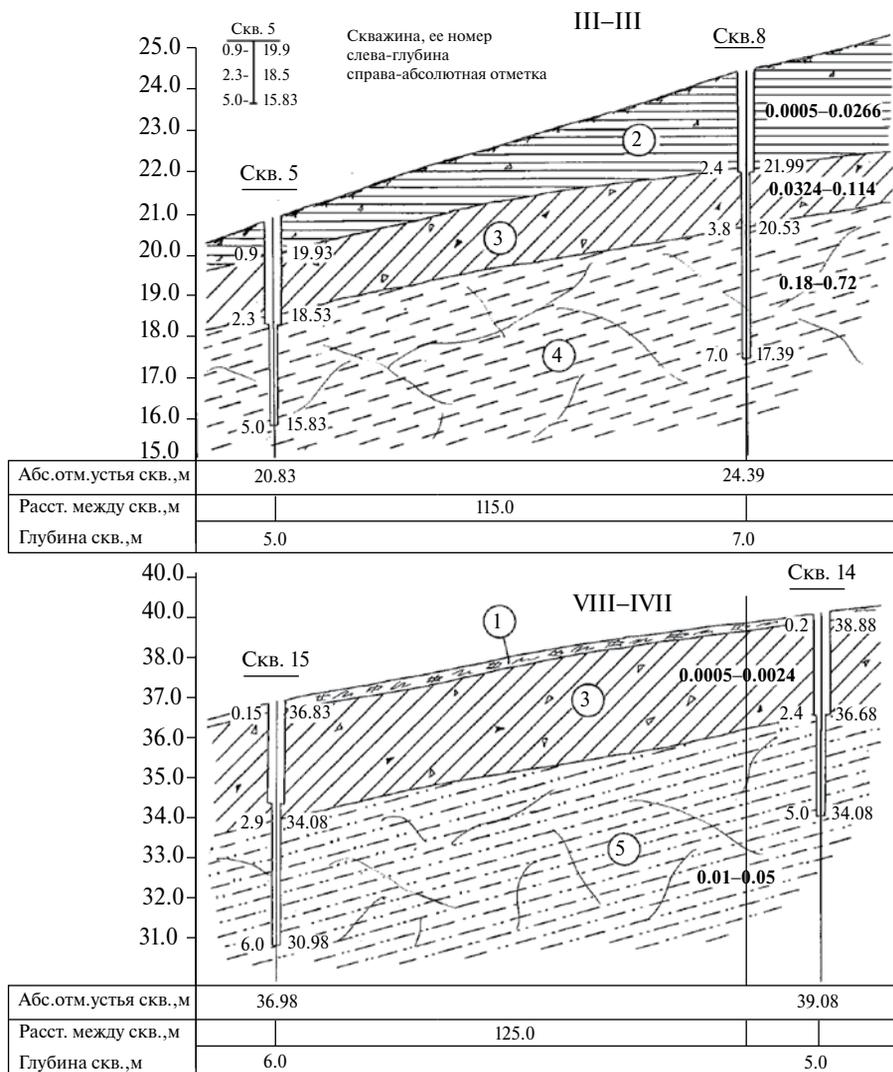
газогеохимических полей с различными содержаниями метана и других газов. В силу формирования опасных газогеохимических полей за границей изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м, на площади исследований (в целях прогноза их дальнейшего развития) в почво-грунтах выделялись зоны потенциально опасных концентраций  $\text{CH}_4$ —0.01—0.03%.

Выделенное впервые опасное *газогеохимическое поле № 1* находится в западной самой низкой части поселка на побережье лагуны Тихой. В период дождей и ливней болотистая часть поля полностью заливается водой; прибрежная — затопливается приливными водами. Концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  в почво-грунтах по данным подпочвенной газовой съемки 2016 г. достигают 0.2 и 9.5%. Генезис  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  связан с биохимическими процессами, торфообразованием и деятельностью бактерий. Данный вывод подтверждается изотопным составом углерода  $\delta\text{C}^{13}$   $\text{CH}_4$  (от  $-69.0$  до  $-70.2\%$ ) и  $\text{CO}_2$  (от  $-51.4$  до  $-52.6\%$ ). По этим показателям данный тип газов соответствует понятию «болотных газов». Кроме того, газогеохимическое поле расположено на значительном удалении от контура отработки угольных пластов, что исключает выделение шахтовых газов на этой площади и позволяет авторам отнести его происхождение к природному. Следует отметить, что содержащиеся в почво-грунтах концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  представляют достаточно серьезную опасность для подвалов и домов на ул. Партизанская (см. рис. 4).

*Газогеохимическое поле № 2*, расположенное в пределах западной части горного отвода шахты, — наиболее опасная зона по выделению шахтовых газов, интенсивно развивающаяся в пространственно-временном отношении за пределами изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м. Концентрации подпочвенного метана и его гомологов (в сумме до  $\text{C}_4$  включительно) достигают 30.7 и 3.3%,  $\text{CO}_2$  — до 6.3%. По данным работ 1998—2005 гг. указанные показатели на этой площади не превышали 9.8, 0.1 и 4.2% соответственно. Изменения в концентрациях и составе газа указывают на значительный подток из недр к поверхности газов различного происхождения. Изотопными исследованиями установлено 3 генетических типа подпочвенного метана, характерные для: 1) углеметаморфогенного газа с показателями  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CH}_4$  от  $-51.4$  до  $-55.4\%$  (точки 19, 287, 288, см. рис. 4); 2) газонасыщенных пород мезозойского фундамента со значениями от  $-25.4$  до  $-36.4\%$  (т. 9, 228); 3) биогенных газов с показателями  $-64.9\%$  (т. 10). В то же

время изотопный состав шахтового метана, выделявшийся из скв. 7к-гд и 1к имел значения от  $-47.2$  до  $-62.6\%$ , характерные для смеси углеметаморфогенных и биогенных газов. Данные различия указывают значительную роль в формировании газогеохимического поля геологических факторов. К основным геологическим факторам, влияющим на формирование поля в границах 2016 г., относятся тектоническая нарушенность, транзитно-проходящая в кайнозойские отложения из фундамента (нарушения № /№ 5, 7, 9 и др.) и благоприятствующая миграции глубинных газов, а также изменение простирания угольных пластов с северо-восточного на северо-западное направление, сопровождающееся формированием зон различной газопроницаемости. В северной части поля залегают глинистые породы надеждинской свиты, исключаящие проникновение шахтовых газов за границу ее распространения (см. рис. 1—4). Экранирующими свойствами, способствующими формированию опасных концентраций  $\text{CH}_4$  в четвертичных осадках, также обладают перекрывающие их слои глин. На площадях развития супесей, перекрывающих четвертичные осадки, содержания метана обычно характеризуются угрожаемыми или неопасными показателями (рис. 5).

В горно-технологическом плане формирование опасных концентраций метана в грунтах связано с образованием трещиноватых зон сдвижения горных пород на участках совместной отработки пяти и более угольных пластов в северной части газогеохимического поля. Данные процессы сопровождаются формированием зон интенсивной экзогенной трещиноватости пород угловской свиты и локальными оседаниями земной поверхности глубиной 0.1—0.5 м. Концентрации  $\text{CH}_4$  и  $\text{CO}_2$  газа в зонах оседаний в пределах ул. Островского, Тавричанская и Горького достигают 4.9 и 4.0% соответственно. Немаловажную роль при этом, по-видимому, играет повышение сейсмоактивности района исследований в период 2006—2016 гг. В это время на месторождении и прилегающих к нему территориях зарегистрировано 57 землетрясений с магнитудами 3.8—5.4 баллов [11] и 5 горных ударов (данные ПримЦЭМ). По сравнению с предыдущим периодом максимальная мощность землетрясений увеличилась с 4.6 до 5.4 баллов, частота их проявлений с 4 до 6 в год. Периоды активизации сейсмичности сопровождались (по данным скв. 1к) резкими падениями уровня подземных вод до 80 м (в 2001—2005 гг. до 30 м), обусловленными обрушениями пород и затоплением новообразованных коллекторов.



**Рис. 5.** Литологические разрезы и изменение концентраций метана в четвертичных осадках поля шахты Капитальная по линиям III–III и VIII–VIII (расположение, см. рис. 1). Условные обозначения: 1 – почвенно-растительный слой, 2 – глина с галькой и щебнем, 3 – супеси и суглинки с включением гальки или щебня, 4 – трещиноватые аргиллиты, 5 – трещиноватые алевролиты. 0.01–0.05% – изменение концентраций метана в различных литотипах в период 2000–2016 гг.

Установлено, что основную роль в динамическом развитии газогеохимического поля играет существующая технологическая система дегазации. Если в центральной части поселка удаление метана из выработанных пространств шахты осуществляется газоотводными трубами шурфов 2, 5 и скв. 5к-гд, 6к-гд, 8к-гд, то в западной – только скв. 7к-гд и 6к (см. рис. 4), что явно недостаточно для дегазации этой площади.

Газогеохимическое поле № 3, представленное ранее самой опасной по газовыделению площадью в центральной части поселка, сократилось в размерах до обособленной локальной зоны (см. рис. 4). Уменьшение площади поля связано с дегазацией

выработанного пространства шахты в этом районе кустом газодренажных скважин и газоотводных труб шурфов. В период 2006–2016 гг. дебит газа из скважин был на уровне от 0.05 до 1.5 м<sup>3</sup>/мин, а концентрация метана от 14.5 до 89.9%. Газовыделения из газоотводной трубы шурфа № 2 варьировали в пределах 0.03–0.5 м<sup>3</sup>/мин, содержания метана – 8.5–61.0%. В процессе исследований также установлено, что пульсационный газодинамический режим и изменчивость концентраций метана, помимо горнодинамических процессов (обрушений породных массивов), зависят и от климатических условий. Максимальные показатели дебита газа и концентрации CH<sub>4</sub>

наблюдаются в весенне-летний период с максимумом газовыделения в условиях низкого атмосферного давления. С увеличением атмосферного давления отмечается снижение этих показателей, вплоть до реверсирования атмосферных газов в низкодебитных газоотводных трубах и скважинах. Усиление скорости ветра приводит к возрастанию дебита газа и концентраций  $\text{CH}_4$ . В комплексе указанные факторы влияют на формирование непрерывно-прерывистого режима выделения шахтовых газов из скважин и пульсационного характера их поступления к поверхности и в грунты.

В период 2006–2008 гг. содержание метана в почво-грунтах дачных участков и поселкового рынка достигало 29%, 2012–2013 гг. – 38 и 2016 г. – 32%. Следует отметить, что показатели изотопного состава  $\delta^{13}\text{C}$  подпочвенного метана, изменяющиеся от  $-25.8$  до  $-61.8\%$ , указывают на его полигенезисное происхождение. Поступление глубинного метана (см. рис. 4: точки 252, 308, 309,  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CH}_4$  – от  $-25.4$  до  $-25.9\%$ ), по-видимому, связано с его подтоком из фундамента по зоне крупного нарушения № 12. Косвенное подтверждение подтока – присутствие в грунтах этой зоны  $\text{He}$  и  $\text{H}_2$  в концентрациях до 0.005 и 0.015%, в 10 раз превышающих их фоновые содержания, и аномальной объемной активности радона (ОАР) – до 7400–12400 Бк/м<sup>3</sup> в условиях отсутствия источников радиоактивности в кайнозойских отложениях [6, 7, 11]. В это же время изотопный состав шахтового метана, выделяющегося из газодренажных скв. 5к-гд, 8к-гд и газоотводной трубы шурфа 2, имел показатели  $\delta^{13}\text{C}$   $\text{CH}_4$  от  $-58.9$  до  $-66.0\%$ , характерные для смеси биогенных и углеметаморфогенных газов. Данные различия указывают значительную роль тектонического фактора в формировании опасных концентраций метана в почво-грунтах газогеохимического поля № 3<sup>8</sup>.

*Газогеохимическое поле № 4*, расположенное в районе наклонного ствола бывшей шахты № 4, представлявшее в 2001–2005 гг. локальную угрожаемую площадь с единичными опасными концентрациями метана, в 2016 г. приобрело значительную площадь распространения с содержаниями  $\text{CH}_4$  в почво-грунтах от 0.01 до 3.3%, а за границами

изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м – 0.16–3.26% с изотопным составом углерода  $\text{CH}_4$  от  $-54.3$  до  $-55.9\%$  (точки 107, 108). Изотопный состав углерода метана, выделяющегося из скв. 9к-гд и газоотводной трубы ходка наклонной шахты 4 изменялся от  $-48.9$  до  $-63.0\%$ , что указывает на углеметаморфогенный состав шахтового  $\text{CH}_4$  со значительной примесью его биогенной составляющей, образованной в процессе разложения деревянных стоек подготовительных и очистных выработок, оставленных при отработке угольных пластов шахты № 4 в период 1940–1970 гг. Следует отметить роль тектонических нарушений 40 и 41 (см. рис. 4), как путей миграции и газопереноса шахтовых газов к поверхности, а также формирования опасных концентраций метана в почво-грунтах за границами изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м (см. сноску 8).

*Газогеохимические поля № 5 и № 6* – новообразованные опасные, угрожаемые и потенциально опасные по газовыделению шахтовых газов зоны в районе ул. Геологов и Пушкина (см. рис. 4), характеризующиеся концентрациями метана 0.01–0.6%, углекислого газа – 0.8–2.0 и гомологов  $\text{CH}_4$  – до 0.0002%. Формирование газогеохимических полей генетически связано с поступлением шахтовых газов по зонам тектонических нарушений № /№ 37, 38, 41 и др., имеющих на этих площадях выходы под наносы.

*Газогеохимические поля № /№ 7–10*, расположенные в пределах ул. Пионерская, Интернациональная и Первомайская, являются «останцами» отдегазированной опасной по газовыделению площади в центральной части поселка с концентрациями  $\text{CH}_4$ –0.01–0.04 и  $\text{CO}_2$ –0.2–1.2%. Формирование *газогеохимического поля № 11* с содержанием метана в подпочвенном слое 0.02 и углекислого газа 1.6% связано с миграцией шахтовых газов по трещиноватым зонам затрубного пространства наблюдательных скв. 1к и 2к (см. рис. 4).

В результате исследований третьего периода установлено, что в опасные зоны по выходу шахтовых газов, занимающие 20% заселенной территории горного отвода шахты, попадают 31 жилой объект и 31 здание и сооружение пос. Тавричанка, в угрожаемые – 225 и 101 соответственно (см. сноску 8).

В процессе работ в 2006–2016 гг. установлено возобновление газовыделения метана из газоотводных труб скипового и клетьевого стволов шахты в концентрациях до 4–6%. Изотопный состав углерода метана, выделяющегося из газоотводных

<sup>8</sup>Газогеохимическое обследование территории поселка Тавричанка, пострадавшей от ведения горных работ шахты Капитальной, с целью разработки рекомендаций и технических мероприятий по дегазации газоопасных зон и площадей: отчет о НИР / Гресов А.И., Яцук А.В., Сырбу Н.С. С.-Петербург: ООО «Институт «Шахтопроект», 2016.

труб, изменяется от  $-24.9$  до  $-25.4\%$ , что указывает на глубинный характер его происхождения.

Анализ результатов изотопных исследований третьего периода формирования опасных газогеохимических полей шахты Капитальная позволил установить, что подпочвенный метан можно характеризовать как газ, образовавшийся в результате как метаморфических ( $42\%$  опробования), так и биохимических процессов ( $49\%$ ). При этом существенная доля метана ( $9\%$  проб) представлена его глубинным аналогом пород газонасыщенного мезозойского фундамента (см. сноску 8).

Следует отметить, что, судя по показателям давления газа в природных и техногенных газовых ловушках от  $0.4-3.2$  МПа на глубинах  $195-300$  м до  $3.4-5.6$  МПа на  $305-520$  м, гидростатическое давление водного столба на горизонте  $-445$  м при уровне подземных вод  $-145$  м (по состоянию на  $01.10.2016$  г.) составляет  $3.0$  МПа, на горизонтах  $-345$  и  $-245$  м соответственно  $2.0$  и  $1.0$  МПа. Данный факт позволяет заключить, что удаление метана из большинства газовых ловушек в процессе затопления шахты Капитальной вызывает большие сомнения.

В процессе исследований установлено, что метанонасыщенность поверхностных вод является важным показателем оценки газоопасности. Восходящие потоки свободного шахтового метана, попадая в поверхностные воды, насыщают их до опасных концентраций. Особенность площади исследований – формирование верховодки в зоне аэрации, возникающей на площадях развития водоупорных слоев. В низинной и прилагунной части поселка формирование верховодки способствует образованию болот и биогенного метана. Воды верховодки, насыщенные метаном, представляют серьезную опасность по его выделению в подземных коммуникациях и подвалах домов поселка, так как являются не только источниками газопереноса, но и формирования опасных по газовыделению площадных зон. В процессе настоящих исследований установлено, что концентрации  $\text{CH}_4$  в поверхностных водах ручьев и верховодки изменяются от  $0.0002$  до  $5.1\%$  ( $0.03-514 \text{ см}^3/\text{м}^3$ ). При этом шесть проб содержат метан в концентрациях  $0.4-5.1\%$  (газоопасные воды), три  $-0.03-0.04$ , семь  $-0.01-0.02$ , остальные девять проб – менее  $0.01\%$ . Местоположение точек газогидрохимического опробования приведено на рис. 4.

Таким образом, наличие опасных концентраций метана в почво-грунтах за границей изолинии глубины отработки верхнего угольного

пласта  $60$  м в условиях повышения горнодинамической и сейсмической активности – *четвертая пространственно-временная закономерность* третьего периода динамики развития газогеохимических полей шахты Капитальная, формирование полигенезисного состава подпочвенного газа и подток к поверхности глубинного метана пород мезозойского фундамента – *пятая*; влияние геологических факторов и климатических условий на газовыделение шахтовых газов из скважин и поступления метана в почво-грунты – *шестая*; высокая метанонасыщенность поверхностных вод и верховодки, влияющая на развитие опасных газогеохимических полей, – *седьмая пространственно-временная закономерность* их формирования.

В целом установленные пространственно-временные закономерности формирования опасных газогеохимических полей шахты Капитальная носят региональный характер, так как они установлены и на ликвидированных шахтах Артёмовского месторождения Угловского угольного бассейна<sup>9</sup>.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе исследований авторами выделены три этапа формирования опасных газогеохимических полей, сопоставимые с начальным, переходным и стабилизационным периодами затопления шахты Капитальная с градиентами подъема подземных вод  $50$ ,  $10$  и  $5$  м/год соответственно.

Для начального периода формирования газогеохимических полей характерны их локальное распределение и приуроченность опасных концентраций подпочвенного метана к выходам на поверхность, действующих на момент ликвидации вертикальных и наклонных горных выработок, а также ранее ликвидированных шурфов и кустарных шахт, в пределах изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта  $60$  м.

Достижение уровня затопления шахты зоны перехода пород фундамента, угольных пластов и горных выработок от крутого залегания к наклонному и пологому в области развития сбросо-сдвиговых дислокаций (природным газоводупором), предопределило формирование залежей свободного газа в приконтактных зонах тектонических нарушений. Под напором поднимающихся

<sup>9</sup>Результаты экологического мониторинга полей шахт Озёрной Амурской, Приморской, Дальневосточной Артёмовского бурогоугольного месторождения: отчет о НИР / Гресов А.И. Владивосток: ПримЦЭМ, 2005.

подземных вод в залежах свободного газа формируется избыточное газовое давление, достаточное для прорыва шахтовых газов и их интенсивной миграции к поверхности по зонам тектонических нарушений и газоводопроводящих трещин кровли верхнего отработанного угольного пласта. Этими же процессами обусловлено активное поступление шахтовых газов на поверхность в пределах ликвидированных наклонных выработок и кустарных шахт. В переходный период наблюдается 5-кратное уменьшение градиента подъема подземных вод, увеличение площади с опасными концентрациями подпочвенного метана, формирование опасных газогеохимических полей в восточной части пос. Тавричанка и их объединение в центральной и западной частях. Формирование газогеохимических полей связано с пульсационным поступлением шахтовых газов (метана) к поверхности, обусловленным горнодинамической и сейсмической активностью переходного периода.

Начиная с 2006 г. и по настоящее время уровень затопления шахты стабилизировался в пределах 5 м/год. Период стабилизации уровня подъема подземных вод характеризовался формированием опасных концентраций метана в почво-грунтах за границей изолинии глубины отработки верхнего угольного пласта 60 м и полигенезисным составом подпочвенного газа в условиях комплексного влияния геологических факторов и климатических условий. Установлено, что глинистые породы надеждинской свиты являются региональным газоводоупором и исключают формирование опасных газогеохимических полей на площади их развития. Характерная особенность стабилизационного периода — подток к поверхности глубинного метана по зонам транзитно-проходящих в кайнозойские отложения тектонических нарушений из газонасыщенных пород фундамента.

Исходя из результатов газогеохимических исследований, рекомендуется бурение трех дополнительных газодренажных скважин глубиной 90–120 м в западной, центральной части пос. Тавричанка с целью проведения совмещенной вакуумной дегазации шахтопластов Газового, Пожарного, Комсомольского и Конюховского, а также применение принудительной дегазации на имеющихся газодренажных скважинах и газотводных трубах.

В целом в период 1996–2016 гг. установлено семь основных пространственно-временных закономерностей формирования опасных газогеохимических полей, связанных с процессами

ликвидации шахты Капитальная Тавричанского угольного месторождения. Указанные закономерности имеют региональный характер и позволяют не только прогнозировать процессы формирования опасных газогеохимических полей на ликвидируемых в Дальневосточном регионе шахтах, но и разработать технические мероприятия по инженерной защите заселенных территорий от выделения шахтовых газов на стадии проектных работ по ликвидации угледобывающих предприятий.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Гранта Президента Российской Федерации для молодых ученых, грант МК-2286.2017.5.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология СССР. Т. XXXII. М.: Недра, 1969. 696 с.
2. Гресов А.И., Курьянов А.В. Геолого-промышленная оценка возможности добычи метана в Угловском угольном бассейне. Владивосток: Дальгеоинформ, 2002. 198 с.
3. Гресов А.И. Геолого-промышленная оценка ресурсов метана угольных бассейнов Приморья: Дис. ... канд. техн. наук. Владивосток: ДВГТУ, 2006. 110 с.
4. Гресов А.И., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б. Ресурсы и перспективы извлечения метана угольных бассейнов юга Дальнего Востока // Вестник ДВО РАН. 2008. № 4. С. 24–31.
5. Гресов А.И., Обжиров А.И., Коровицкая Е.В. и др. Метаноносность и перспективы освоения ресурсов метана угольных пластов бассейнов Дальнего Востока // Тихоокеанская геология. 2009. № 2. С. 106–119.
6. Гресов А.И., Обжиров А.И., Шакиров Р.Б. Метаноресурсная база угольных бассейнов Дальнего Востока и перспективы её промышленного освоения. Углеметановые бассейны Сахалина, Приморья и Хабаровского края. Т. I. Владивосток: Дальнаука, 2009. 247 с.
7. Коровицкая Е.В. Газогеохимические поля и их экологическое значение на угольных шахтах юга Приморья. Дис. ... канд. геол.-минер. наук, Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2009. 172 с.
8. Обжиров А.И., Гресов А.И., Шакиров Р.Б. и др. Метанопроявления и перспективы нефтегазоносности Приморского края. Владивосток: Дальнаука, 2007. 167 с.
9. Соколов В.А. Геохимия природных газов. М.: Недра, 1971. 336 с.
10. Угольная база России. М.: Геоинформмарк, том V, кн. 1. 1997. 371 с.
11. Каталог землетрясений: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>

## REFERENCES

1. *Geologiya SSSR* [Geology of USSR]. Moscow, Nedra Publ., 1969, vol. XXXII, 696 p. (in Russian)
2. Gresov, A.I., Kuryanov, A.V. *Geologo-promyshlennaya otsenka vozmozhnosti dobychi metana v Uglovskom ugol'nom basseine* [Geological and industrial value of methane potential production in the Uglovsky coal basin]. Vladivostok, Dalgeoinform Publ., 2002. 198 p. (in Russian)
3. Gresov, A.I. *Geologo-promyshlennaya otsenka resursov metana ugolnykh basseinov Primor'ya* [Geological and industrial value of methane resources in Primorye coal basins]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Techn.) Diss., Vladivostok, DVG TU, 2006, 110 p. (in Russian)
4. Gresov, A.I., Obzhairov, A.I., Shakirov, R.B. *Resursy i perspektivy izvlecheniya metana ugol'nykh basseinov yuga Dal'nego Vostoka* [Resources and prospects of methane extraction from coal basins of the South of the Far East]. *Vestnik DVO RAN*, 2008, no. 4, pp. 24–31. (in Russian)
5. Gresov, A.I., Obzhairov, A.I., Korovitskaya, E.V., etc. *Metanosit' i perspektivy osvoeniya resursov metana ugol'nykh plastov basseinov Dal'nego Vostoka* [Methane content and prospects of methane resources development of coal layers in the Far East basins]. *Tikhookeanskaya geologiya*, 2009, no. 2, pp. 106–119. (in Russian)
6. Gresov, A.I., Obzhairov, A.I., Shakirov, R.B. *Metanoresursnaya baza ugol'nykh basseinov Dal'nego Vostoka i perspektivy ego promyshlennogo osvoeniya. Uglemetanovye basseiny Sakhalina, Primor'ya i Khabarovskogo kraja* [Methane and resources base of coal basins in the Far East and prospect of its industrial development]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2009. 247 p. (in Russian)
7. Korovitskaya, E.V. *Gazogeochemicheskie polya i ikh ekologicheskoe znachenie na ugol'nykh shakhtakh yuga Primor'ya*. [Gas-geochemical fields and their ecological value in coal mines of the South of Primor'e]. Extended Abstract of Cand. Sci. (Geol. – Min.) Dis., Vladivostok, POI FEB RAS Publ., 2009. 172 p. (in Russian)
8. Obzhairov, A.I., Gresov, A.I., Shakirov, R.B., etc. *Metanoproyavleniya i perspektivy neftegazonosnosti Primorskogo kraja* [Methane shows and prospects of oil-and-gas content of Primorsky Krai]. Vladivostok, Dal'nauka Publ., 2007. 167 p. (in Russian)
9. Sokolov, V.A. *Geokhimiya prirodnikh gazov* [Geochemistry of natural gases]. Moscow, Nedra Publ., 1971. 336 p. (in Russian)
10. *Ugol'naya baza Rossii* [Russia coal base]. Moscow, Geoinformmark, vol. V, book 1. 1997, 371 p. (in Russian)
11. *Katalog zemletryaseni* [Catalog of earthquakes]. Available at: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>.

## REGULARITIES IN THE FORMATION OF DANGEROUS GAS-GEOCHEMICAL FIELDS AT THE LIQUIDATED MINE «KAPITALNAYA» OF THE TAVRICHANSKY COAL-FIELD

Gresov A.I., Yatsuk A.V., Syrbu N.S.

*Pacific Oceanological Institute FEB RAS, Baltiyskaya st. 43,  
Vladivostok, 690048 Russia. E-mail: gresov@poi.dvo.ru*

This paper deals with the results of long-term ecological and gas researches of methane distribution in soil and subsoil layers of the mine «Kapitalnaya» at the Tavrichansky coal field. The seven main spatial-temporal regularities of dangerous gas-geochemical field formation connected with the mine liquidation are determined. Authors define the geological and technogenic factors influencing distribution of dangerous methane concentration in soil of the mine field and Tavrichanka settlement.

**Keywords:** *soil, subsoil layers, methane, genesis, migration, gas-geochemical field, regularities, factors, mine, liquidation, gas hazard.*