



ОТРАЖЕНИЕ ЭПИЦЕНТРОВ ЭНДОГЕННОГО ПОЖАРА УГЛЕЙ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

В статье приводятся результаты геохимических исследований в районе распространения эндогенного пожара на Сангарском угольном месторождении в Якутии. Впервые на поверхности в эпицентрах очагов эндогенного пожара установлены комплексные литохимические аномалии. Положительные литохимические аномалии в почво-грунтах формируются легкомигрирующими к поверхности продуктами сгорания углей: газов CO_2 , NO_x , HCl , SO_2 , HF и паров Hg . В почвенных растворах и надмерзлотных водах пирогенные газы преобразуются в ионы HCO_3^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- . Эпицентры очагов подземного пожара проявляются на поверхности локальными комплексными литохимическими аномалиями: контрастными положительными Hg , соединений азота (NH_4^+ , NO_3^-), HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F , электропроводности и слабыми отрицательными аномалиями редокс-потенциала. Формирование на поверхности геохимических аномалий делает возможным обнаружения эпицентров очагов эндогенного пожара в условиях подземной разработки угольных месторождений литохимическими методами поисков.

Ключевые слова: уголь, эндогенный пожар, геохимия, аномалии, Сангарское месторождение.



Макаров В.Н.
д-р геол.-минер. наук,
профессор
Институт
мерзлотоведения
им. П.И. Мельникова СО РАН
главный научный сотрудник
vnmakarov@mpi.ysn.ru

Пожары углей, воздействуя на окружающую среду, выделяют токсичные газы, взвешенные частицы и другие побочные продукты горения, представляющие серьезную угрозу для здоровья и безопасности, вызывают лесные пожары, проседание ландшафта и поверхностной инфраструктуры, приводят к потере ценного ресурса угля [1]. Пожары в угольных пластах могут продолжаться десятилетиями и даже столетиями, поскольку они горят под землей. Тушение подземных угольных пожаров, температура которых иногда превышает 540°C очень опасно и очень дорого [7].

Пожары в угольных шахтах по всему миру являются глобальной экологической

катастрофой [4, 6]. Для борьбы с эндогенными пожарами применяют различные методы, в основном направленные на прекращением доступа кислорода к участку возгорания.

Прежде чем пытаться потушить пожар в приповерхностном угольном пласте, следует как можно точнее определить его местонахождение и глубину под землей [5]. Помимо изучения географических, геологических и инфраструктурных данных, информацию можно получить путем прямых измерений [3, 8]:

- температуры поверхности земли, в трещинах и скважинах;
- количества и состава выделения пирогенных газов на поверхности;
- геофизических измерений на земле и с воздуха, с самолетов и вертолетов, для определения степени проводимости, электропроводности, магнитных характеристик и др.;
- дистанционного зондирования с самолетов и спутников для получения оптических карт высокого разрешения, тепловизионных изображений и гиперспектральных данных [9,10].

Применяемые методы в большинстве случаев и не всегда способны обнаружить точное местонахождение подземного пожара углей. Основная часть таких пожаров возникает в выработанном пространстве, что затрудняет их обнаружение на ранней стадии развития и определение координат очагов. Из-за отсутствия точных данных о состоянии и местонахождении пожара резко снижается эффективность тушения [10].

В статье приводятся результаты геохимических исследований по обнаружению и оценке эпицентров эндогенных пожаров на территории Сангарского угольного месторождения. Показано, что пирогенные газы и пары ртути, возникающие при горении угля и взаимодействии высоких температур с вмещающими породами и грунтовыми водами, достигают поверхности и формируют в грунтах эпицентров эндогенных пожаров комплексные геохимические аномалии.

Общие сведения о районе

Сангарский угленосный район Ленского угольного бассейна находится на правом берегу среднего течения р. Лены в центральной части Республики Саха (Якутия). Площадь распространения угленосных отложений достигает 30 тыс. км².

Сангарское угольное месторождение расположено в 5 км от поселка Сангар, с населением около 3,5 тыс. жителей (2021 г.), центра Кобяйского района РС(Я).

Сангарское месторождение сложено породами раннемелового возраста. Угленосной является чонгургасская подсистема, вмещающая семь горизонтов угольных пластов общей мощностью в пределах месторождения около 1300 м [1]. Протяженность месторождения по простиранию (вдоль р. Лены) 8,5 км при ширине 3-4 км, общая площадь около 25 км² (рис. 1).

Мощность многолетнемерзлых пород (ММП) в пределах месторождения достигает 200 м. В направлении к р. Лене она уменьшается до 40-60 м, а под руслом реки существует сквозной талик. Вследствие значительной мощности зоны мерзлых пород две трети разведанных запасов угля находятся в благоприятных (сухих) условиях отработки. Породы кровли и почвы угольных пластов, представленные преимущественно песчаниками, устойчивы.

Угли по степени углефикации относятся в основном к газовым и характеризуются высоким содержанием водорода (5,8-6,5%), значитель-

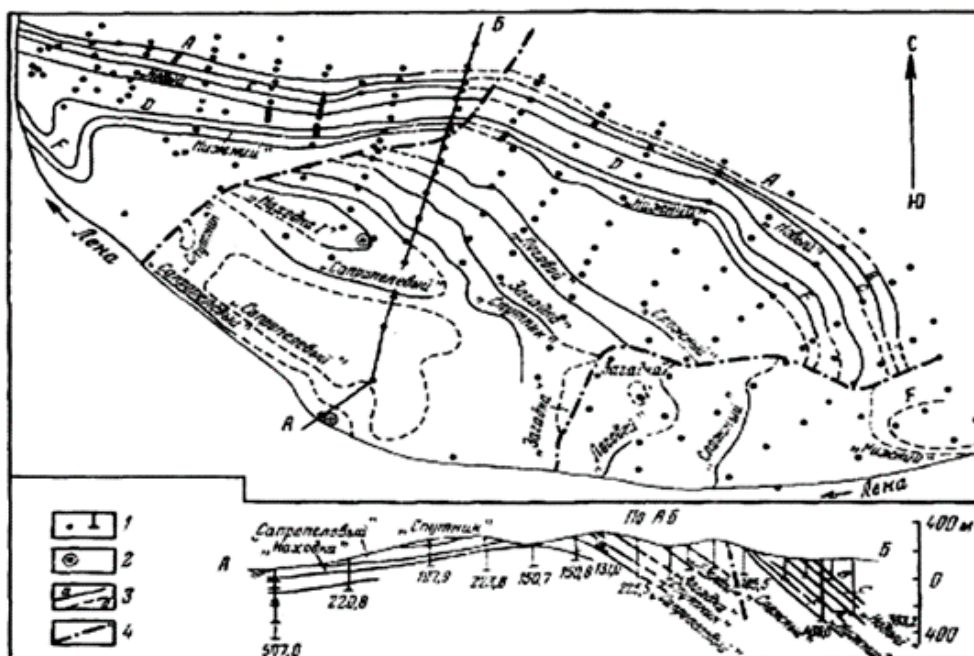


Рис.1.

Схематическая карта Сангарского каменноугольного месторождения (по В.М.Журкину)

1-2 – буровые скважины: 1 – колонковые, 2 – роторные; 3 – пласты угля: а – прослеженные, б – предполагаемые; 4 – разрывные нарушения.

Таблица 1.
Химический состав золы углей Сангарского месторождения, %.

Индекс пласта	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Cl	Сумма
С	24,2	14,2	16,5	36,2	2,4	6,5	Не опр.	99,9
Д	32,6	11,6	8,8	36,1	3,0	7,5		99,6
Нижний	26,6	11,3	14,1	33,5	2,1	12,0		99,6
Среднее	27,8	12,4	13,1	35,3	2,5	8,7	0,015-0,15*	99,7

*Примечание: *кларк хлора в каменных углях [1].

ным выходом смолы полукоксования (20-25%), битумов (7-13%) и летучих (39-52%). Химический состав золы углей Сангарского месторождения приведен в **табл.1**.

Угли Сангарского месторождения при отрицательной температуре относятся к химически малоактивным, а с повышением температуры до +2°С и выше переходят к умеренно активным по склонности к самовозгоранию.

Сангарское месторождение отличается колоссальными запасами и первоклассным качеством угля. Годовая добыча угля на месторождении в 1965 г. составляла 344 тыс.т. Несмотря на то, что угля в Сангарском разрезе было еще много, в 1998 году, по решению Министерства энергетики РФ, шахта была закрыта.

Официально пожар в шахте начался в 2000-м году, но, по словам местных жителей, ещё в конце 70-х. Из брошенной шахты варварским методом с нарушением всех правил безопасности происходила массовая выемка металла.

Шахта имела более ста выходов на поверхность, которые по большей части были закрыты. Изоляция горных выработок достигалась путем обрушения аварийных выработок. Однако из-за многочисленных лазов возник доступ кислорода и последующее самовозгорание угля. По словам бывшего руководителя шахты «Сангарская» А. Гриднева, сейчас действует три независимых пожара: пласт «Сложный», который загорелся в 2000-м году, пласт «Юбилейный», вспыхнувший в 2001-м и пожар, возникший в конце 70-х на

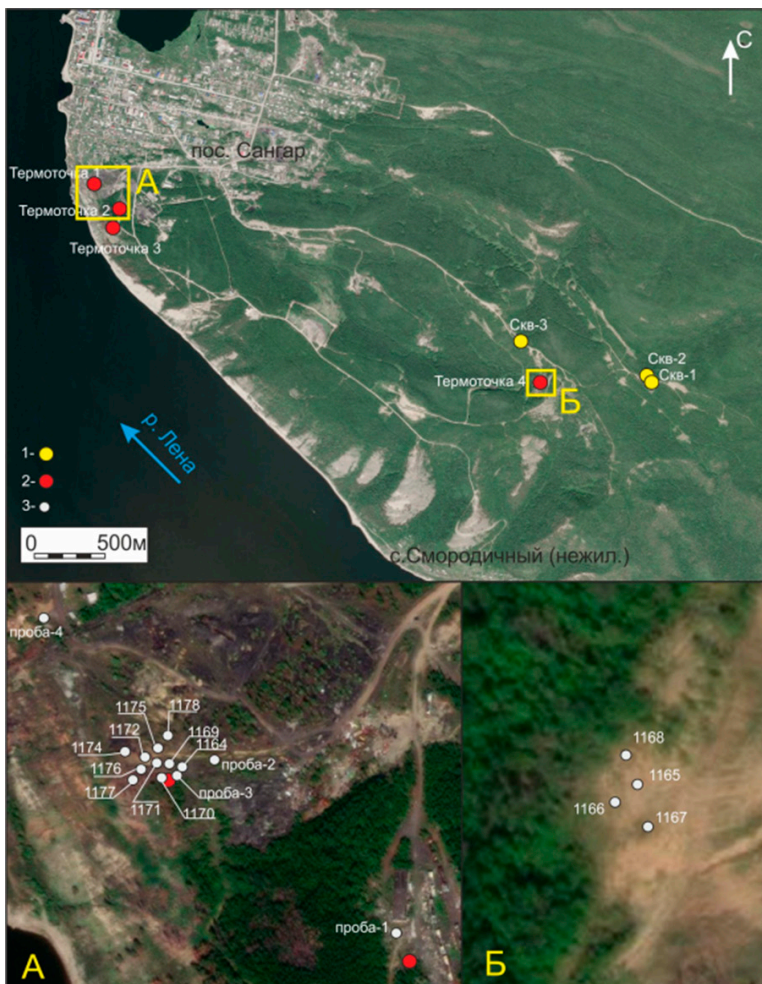


Рис.2.
Карта-схема участков исследований: А – вблизи пос. Сангар; Б – выход пласта Сложный. 1 – скважины; 2 – термоточки; 3 – пункты литохимического опробования.

шахте №5. Таким образом, первому по времени пожару около 45 лет, второму – 22 и третьему 21 год [2]. За это время действующие пожары распространились на большие площади выработанных пространств этих пластов и подземный пожар не раз подбирался непосредственно к районному центру – посёлку Сангар. При северо-западном направлении ветров пирогазовые газы и пыль, поступают в посёлок и ухудшают экологическую обстановку.

Пока подземные пожары находятся в активной стадии, со свободным выходом продуктов горения на поверхность, существует опасность лесных пожаров, что грозит экологической катастрофой не только пос. Сангар, но и всему Кобайскому району.

В Сангарах было создано специальное предприятие для тушения пожара, которое боролось с ним в течение пяти лет, но безуспешно. В 2008-2010 гг. были проведены работы по консервации подземных горных выработок и выходов угольных пластов с целью локализации подземного пожара на угольной шахте Сангарская. Однако в 2013 г. установлено значительное увеличение его площади, обнаружены новые выходы подземного пожара на поверхность, которые выявляются и в настоящее время.

Методика геохимических исследований

Геохимическая характеристика почво-грунтов получена в результате литохимического опробования. Пробы отбирались в первой половине сентября, глубина отбора грунтов 0,1-0,2 м ниже дневной поверхности.

Геохимические исследования были сосредоточены на фоновых территориях за пределами месторождения, на участках месторождения в местах входов эндогенного пожара на поверхности и скрытых (на глубине 10-20 м), не проявляющих на поверхности признаков горения.

Все литохимические пробы после высушивания при комнатной температуре, просеивались через сито диаметром 0,25 см. Схемы расположения литохимических проб показаны на **рис. 2**.

Литохимические пробы направлялись на химический анализ и атомно-абсорбционное определение ртути. Для химического анализа литохимические пробы передавались в лабораторию подземных вод и геохимии криолитозоны ИМЗ СО РАН (аналитики Л.Ю. Бойцова, Е.С. Петрова, О.В. Шепелева). Все определения проводились по методикам, включенным в Государственный реестр методик количественного химического анализа.

Литохимические пробы (почвы, грунты) анализировались методом атомно-абсорбционной ртутьметрии (анализатор ртути РА-915) в Центральной геологической лаборатории ГУГП «Якутскгеология». Чувствительность анализа – 3,0 мг/т Hg.

Измерения температуры почво-грунтов на поверхности выполнялись тепловизором.

Результаты исследований

Пожар угольных пластов местами выражен на поверхности дымящимися провалами глубиной 0,5-1 м и сетью трещин шириной до 10 см и видимой длиной иногда более 40 м. Из отверстий интенсивно выделяются пирогазовые газы и пары воды (**рис. 3**).

SO₄ 56 HCO₃ 26 Cl 10 NO₃ 8
M 0,115 -----pH 7,2 Eh 0,387 F 0,33 Hg 17
Na70 Ca12 Mg8 NH₄ 8K2

Грунты слабозасоленные (Dsal 0,060%), величина электропроводности 63 мS/см, слабощелочные (pH=7,77). Фоновое содержание Hg = 17,4 мг/т, F=0,33 мг/л (**табл. 2**).

Температура на поверхности грунтов фоновой территории в период опробования (5-9.09.22 г.) в среднем равнялась +10,1°C, при диапазоне +8,3-11,1°C.



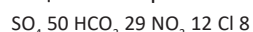
Рис.3.
Выход пирогазовых газов и паров воды на поверхность.

Таблица 2.

Химический состав грунтов на фоновой территории. Сангар (2022, n=8).

Компоненты	Ед. изм.	Мин.	Макс.	Сарифм.	Сгеом	σ (\pm)
pH	-	6.51	7.67	7.2	7.2	0,41
Eh	мВ	367	403	387	381	18
ЕС	мS/см	30	194	80	80	67,3
Ca ²⁺	мг-экв	0,077	0,964	0,199	0,182	12,24
Mg ²⁺	-«-	0,068	0,482	0,158	0,151	3,49
Na ⁺	-«-	0,109	1,348	0,315	0,309	20,2
K ⁺	-«-	0,006	0,025	0,013	0,012	0,51
NH ₄ ⁺	мг/л	0,10	1,20	0,36	0,34	2,85
HCO ₃ ⁻	мг-экв	0,105	0,505	0,185	0,181	39,0
SO ₄ ²⁻	-«-	0,156	1,182	0,511	0,503	28,8
Cl ⁻	-«-	0,051	0,154	0,068	0,066	3,01
NO ₂ ⁻	мг/л	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05
NO ₃ ⁻	-«-	0,11	0,44	0,11	0,10	18,1
F ⁺	-«-	0,130	1,960	0,288	0,280	0,56
Hg	мг/т	3	20,4	17,4	17,0	741
Соленость.	%	0.021	0.113	0.058	0.054	0,055
Минерализация	мг/л	43	226	115	112	61
Температура	оС	8,3	11,1	10,1	9,9	10,15

Химический состав грунтов на территории эндогенного пожара гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриевый:



M 0,156 ----- pH 7,96 Eh 378 F 0,955 Hg 347



По сравнению с фоновой территорией в химическом составе грунтов в районе проявления подземного пожара возросла роль ионов кальция и нитратов. Грунты слабозасоленные, но количество солей почти в два раза выше, чем на фоновой территории (Dsal в среднем 0,109%). В местах температурных и ртутных аномалий соленость грунтов возрастает до 0,312%. Минерализация поровых растворов 0,156 мг/л. Величина электропроводности 92 мS/см, водные вытяжки грунтов слабощелочные (pH=7,96), в отдельных точках слабокислые (pH=6,51). Наблюдается отрицательная аномалия по редокс-потенциалу (Eh=334 мВ), что свидетельствует о недостатке кислорода в грунтах. Среднее содержание Hg – 347 мг/т, на два порядка выше фонового, при диапазоне 11 – 2800 мг/т. Коэффициент контрастности (КК) ртутных аномалий равен 311, концентрация F=0,955 мг/л (табл. 3). Максимальная температура в трещинах на поверхности грунтов достигает +222°С, при средних значениях в пределах территории эндогенного пожара +14,9°С.

Температурные и ртутные аномалии сопровождаются слабым повышением солености грунтов и аномальными концентрациями HCO₃⁻, Cl⁻, NH₄⁺, NO₃⁻ и F⁻.

Характер корреляционных связей между температурой грунтов и компонентами- концен-

тратами в почво-грунтах, показан в корреляционной матрице (табл. 4).

Значимые положительные корреляционные связи на поверхности грунтов наблюдаются между температурными и литохимическими аномалиями ртути и аммония. Комплекс элементов тесно связанных с основными показателями пирогенного воздействия температурой и ртутью, обладающих с ними положительной корреляцией (с уровнем значимости $\geq 70\%$), включает HCO₃⁻, NH₄⁺, NO₃⁻ и Cl⁻. Для величины Eh характерны значимые отрицательные корреляционные связи с HCO₃⁻, NH₄⁺ и Cl⁻, слабые – с температурой и ртутью.

Ниже кратко рассмотрим характер геохимических и термических аномалий на территории проявления эндогенного пожара Сангарского месторождения.

На территории проявления эндогенного пожара (участок А) из провалов и трещин интенсивно выделяется пожарный газ и пар испарения грунтовых вод (см. рис. 3). Характер изменения температуры и концентрации ртути в грунтах на показаны на литохимическом профиле на рис. 4.

Как видно на рис. 4 максимальная температура грунтов в центре аномалии достигает +40°С. Концентрация ртути в большинстве точек наблюдений также близка к фоновой 10-12 мг/т и только в центре профиля повышается до аномальных значений – 100 мг/т. Аномалия Hg сопровождается повышенной соленостью грунтов (Dsal=0,113%), высоко аномальными концентрациями (мг/л) соединений азота (NH₄⁺=1,2, NO₃⁻=15,8-36,4), гидрокарбонатов (HCO₃⁻=81,8) и

Таблица 3.

Химический состав грунтов на территории эндогенного пожара. Сангар (n=23).

Компоненты	Территория эндогенного пожара					
	Ед. изм.	Мин.	Макс.	C _{арифм.}	C _{геом.}	σ (±)
pH	-	6,51	8,10	7,96	7,26	0,45
Eh	мВ	334	384	378	377	18
ЕС	мS/см	38	200	92	63	69
Ca ²⁺	мг-экв	0,072	0,964	0,598	0,408	14
Mg ²⁺	-«-	0,068	0,482	0,377	0,302	3,9
Na ⁺	-«-	0,109	3,830	0,956	0,676	22
K ⁺	-«-	0,006	0,038	0,032	0,030	0,48
NH ₄ ⁺	мг/л	0,10	12,0	2,36	0,400	4,1
HCO ₃ ⁻	мг-экв	0,141	1,313	0,606	0,444	47
SO ₄ ²⁻	-«-	0,156	3,960	1,059	0,919	29
Cl ⁻	-«-	0,051	0,470	0,167	0,154	3,9
NO ₂ ⁻	мг/л	0,01	0,20	0,02	0,010	0,05
NO ₃ ⁻	-«-	0,11	54,16	15,7	0,970	26
F ⁺	-«-	0,013	1,96	0,680	0,330	0,96
Hg	мг/т	9	2800	347	17,40	99
Соленость.	%	0,021	0,113	0,109	0,109	0,07
Минерализация	мг/л	43	312	156	103	66
Температура	°С	8,3	222	14,9	10,1	79

Таблица 4.

Корреляционная матрица.

.	pH	Eh	ЭП	Ca	Mg	Na	K	NH4	HCO3	SO4	Cl	NO3	F	Hg	t
pH	1,00														
Eh	-0,24	1,00													
ЭП	-0,41	-0,53	1,00												
Ca	-0,71	-0,15	0,75	1,00											
Mg	-0,81	-0,13	0,80	0,85	1,00										
Na	0,39	-0,47	0,03	-0,20	-0,29	1,00									
K	0,16	-0,51	0,38	0,30	0,17	0,35	1,00								
NH4	0,39	-0,72	0,55	-0,05	0,05	0,49	0,44	1,00							
HCO3	0,24	-0,82	0,65	0,19	0,19	0,52	0,60	0,93	1,00						
SO4	-0,16	-0,13	0,22	0,31	0,22	0,64	0,26	-0,04	0,09	1,00					
Cl	0,33	-0,70	0,37	-0,00	0,00	0,65	0,59	0,85	0,89	0,09	1,00				
NO3	-0,18	-0,58	0,82	0,35	0,61	0,31	0,28	0,76	0,76	0,11	0,61	1,00			
F	0,23	-0,53	0,14	-0,02	-0,04	0,90	0,55	0,42	0,53	0,69	0,69	0,29	1,00		
Hg	0,48	-0,69	0,49	-0,12	-0,04	0,48	0,41	0,99	0,90	-0,07	0,82	0,68	0,38	1,00	
t	0,53	-0,45	0,24	-0,17	-0,14	0,23	0,53	0,70	0,63	-0,26	0,55	0,41	0,15	0,72	1,00

фтора (F=1,96), пониженными значениями редокс-потенциала Eh=367 мВ. Ширина комплексных геохимических ореолов и ртути в почвах эпицентра очага подземного пожара около 20 м, по нитратам – 35-40 м. В контуре ртутной аномалии на участке А повышенная температура грунтов наблюдается только в центральной её части (рис. 5).

Участок Б расположен в районе выхода южного крыла угольного пласта Сложный. Проявление эндогенного пожара на поверхности выражено в виде трещины поперек склона, шириной 10 см и видимой длиной около 20 м.

По химическому составу водная вытяжка грунтов на участке гидрокарбонатно-сульфатная кальциево-натриевая, маломинерализованная –

73 мг/л. Грунты слабозасоленные, содержат мало солей (Dsal в среднем 0,038%). Величина электропроводности 32 мS/см, грунты слабощелочные (pH=7,43). Величина редокс-потенциала относительно повышенная Eh=391 мВ. Содержание Hg колеблется в пределах 11-111 мг/т, концентрация F составляет от 0,151 до 0,412 мг/л. Повышение температуры на поверхности грунтов до +32,1°С сопровождается аномалией ртути – 111 мг/т (рис. 6).

Характерно, что остальные показатели химического состава грунтов в данной точке

не выходят за уровень фоновых значений.

Установленная ширина геохимических ореолов ртути в почвах в эпицентре очага подземного пожара 10-20 м.

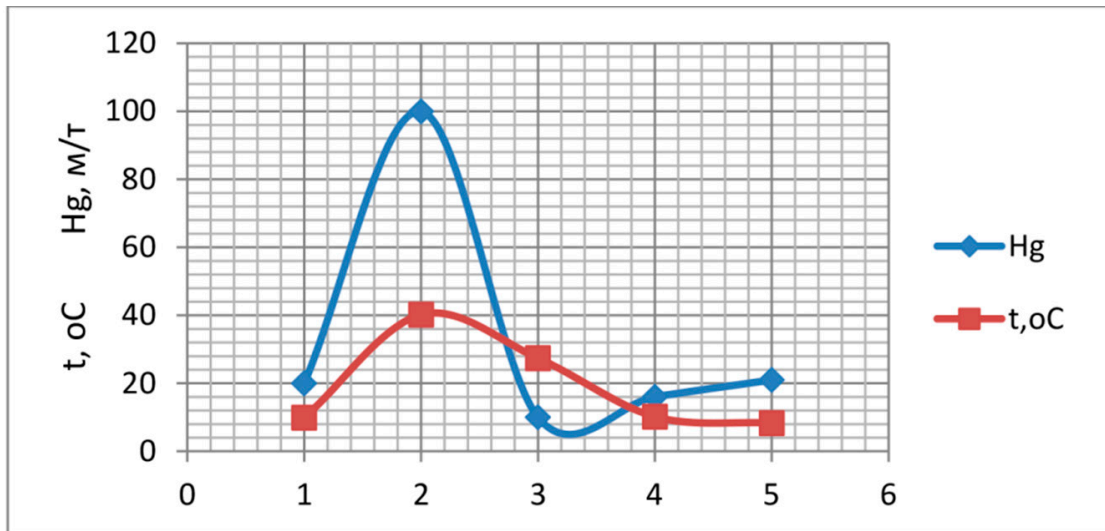


Рис.4.
Изменение температуры и концентрации ртути в грунтах.

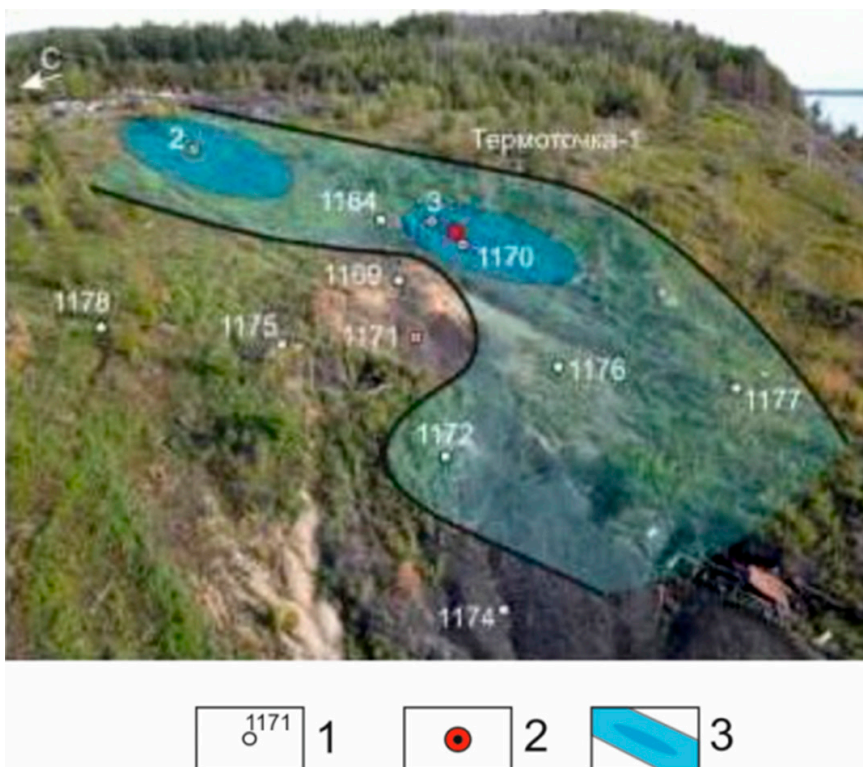


Рис.5.
Ртутная аномалия и термоточка в эпицентре подземного пожара. (Участок А)
1 – пункты литохимического опробования;
2 – термоточка;
3 – ореолы ртути.

Обсуждение результатов

Уголь как органическое горючее вещество состоит, главным образом, из углерода, кислорода, водорода, серы и азота. Из них углерод, водород и сера способны окисляться при температуре горения и образовывать продукты горения: CO, CO₂, SO₂. Азот при температуре горения не окисляется и выделяется в свободном состоянии, а кислород расходуется на окисление горючих элементов вещества.

На Сангарском угольном месторождении происходит постоянный подсос воздуха к очагам

горения через не изолированные устья выработок, шурфы и скважины. Поэтому эндогенный пожар происходит при достаточном количестве кислорода, а продуктами сгорания являются в основном газы: двуокись углерода, оксиды азота, соляная кислота, сернистый ангидрид, а также пары воды и ртути. В процессе подземного горения газы образуются не только из органической части угля, но также и за счет газобразования и газовыделения из песчаников и алевролитов, прилегающих к угольному пласту. Содержащаяся в горных породах органическая

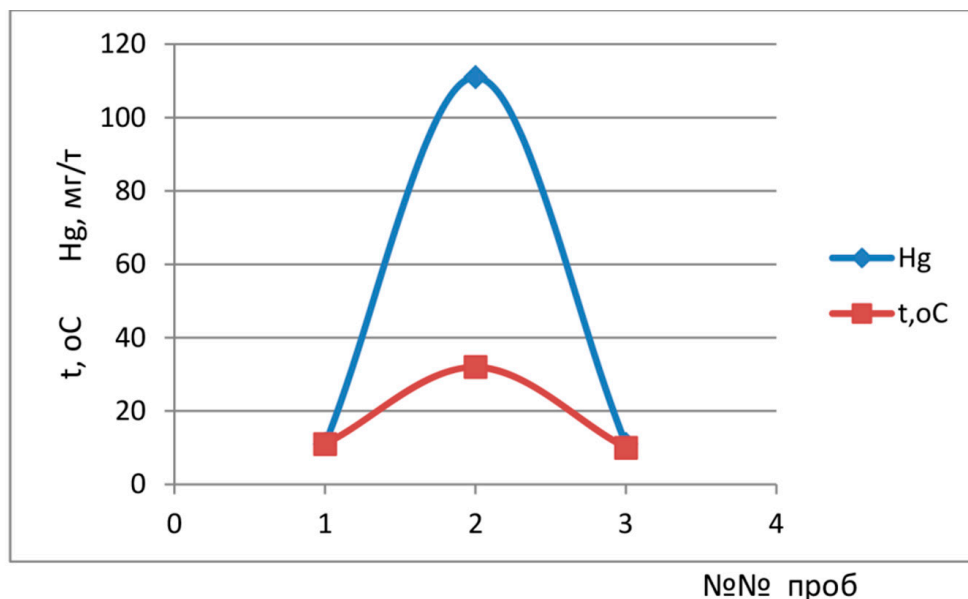


Рис.6. Изменение температуры и концентрации ртути в грунтах. Участок Б.

масса, нагреваясь за счет эндогенного пожара, является источником тех же газов, которые получаются при горении угольного пласта.

Продукты горения – газы и пары, нагретые до значительной температуры (порядка нескольких сот градусов), и в результате имеющие меньший объемный вес по сравнению с объемным весом окружающей среды, перемещаются в верхние слои горных пород, достигая почвогрунтов на поверхности и приземной атмосферы. Перенос пирогенных газов вызван молекулярной диффузией, потоками обусловленными перепадами давления газов и температуры. Миграция пирогенных газов и паров Hg к поверхности ускоряется за счет тепловой депрессии развиваемой очагами пожара. При взаимодействии с почвенными и надмерзлотными водами газы CO_2 , CO, CH_4 , NO, SO_2 , HCl преобразуются в ионы: HCO_3^- , NO_3^- , NH_4^+ , Cl^- и SO_4^{2-} . В почвенных и грунтовых водах приповерхностного слоя возникает комплексная геохимическая аномалия гидрокарбонатов, соединений азота, хлоридов, фтора и ртути, локализуемая на вертикальной проекции очага горения.

На контрастность и размеры аномалий в приповерхностном слое влияют глубина нахождения очага, интенсивность его горения, проницаемость горных пород, перепад давления газов между атмосферой и горной выработкой. Тем не менее, результаты исследований показали, что геохимические аномалии, особенно Hg, локализуются в эпицентрах эндогенного пожара, их ширина не превышает 10-20 м (см. рис. 4).

Температурные и ртутные аномалии сопровождаются слабым повышением солености грунтов и электропроводности с величиной ко-

эффициента контрастности около 2 и аномальными концентрациями температуры, Hg и ионов: HCO_3^- , Cl^- , F, NH_4^+ , NO_3^- и мало контрастными отрицательными аномалиями редокс-потенциала. Это косвенно свидетельствует о недостатке кислорода в грунтах, израсходованного на окисление горючих элементов вещества.

По увеличению степени аномальности компоненты распределяются в следующем порядке (в скобках величина КК):

K^+ , $Mg^{2+}(3-4) < Ca^{2+}(5) < HCO_3^-$, SO_4^{2-} , F(7) < $Na^+(12) < t$, $NH_4^+(30) < Hg(311) < NO_3^-(492)$.

Максимальная контрастность литохимических аномалий в эпицентрах эндогенных пожаров, на два порядка выше фоновых, наблюдается для нитратов и ртути.

Комплекс перечисленных компонентов, их концентрацию, а также температуру почвогрунтов можно считать поисковыми признаками эпицентров подземных пожаров (табл. 5).

Поисковые признаки компонентов-индикаторов эпицентров подземных пожаров определены для условий Сангарского угольного месторождения с глубиной очагов пожара 10-20 м. Концентрация компонентов-индикаторов в грунтах над эндогенными пожарами и размеры их аномалий в приповерхностном слое могут изменяться в зависимости от геологических условий, глубины нахождения очага, интенсивности его горения, проницаемости горных пород и др. В тоже время, комплекс компонентов-индикаторов универсален для химического состава каменных углей и может применяться для обнаружения эндогенных пожаров литохимическими методами, при подземной разработке угольных месторождений.

Таблица 6.

Литохимические и термические поисковые признаки компонентов-индикаторов эпицентров подземных пожаров.

Поисковые признаки								
Прямые	Косвенные							
t °C	Hg	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl	F	ЭП	Eh
Выше сезонных	≥ 20 мг/т	≥ 1,0 м/л	≥ 0,50 м/л	≥ 40 м/л	≥ 6 м/л	≥ 0,5 м/л	≥ 50 мS/cm	≤ 370 мВ

Выводы

Впервые по литохимическим данным прослежены на поверхности эпицентры очагов подземного пожара угля.

Установлено, что эпицентры очага подземного пожара проявляются на поверхности комплексными литохимическими аномалиями. Литохимические ореолы представлены контрастными комплексными положительными аномалиями Hg, соединений азота (NH₄⁺ и NO₃⁻), HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, F, электропроводности и слабыми отрицательными аномалиями редокс-потенциала.

Между термическими и ртутными аномалиями, гидрокарбонатами и соединениями азота наблюдаются значимые положительные корреляционные связи.


Проявление литохимических ореолов на поверхности почво-грунтов над эндогенными по-

жарами локально, ширина большинства компонентов-индикаторов около 20 м.

Термические аномалии фиксируются на почвенной поверхности температурами в два и более раз выше фоновой.

За время действия подземных пожаров до высокой температуры прогрелись большие массивы вмещающих пород. Поэтому термические аномалии не всегда совпадают с эпицентрами эндогенных пожаров.

Формирование на поверхности геохимических аномалий делает возможным обнаружение эпицентров очагов эндогенного пожара литохимическими методами поисков по комплексу компонентов-индикаторов типичному для каменных углей.

Исследования выполнены при поддержке комплексной программы фундаментальных научных исследований ИМЗ СО РАН (Проект СО РАН АААА-А20-120111690008-9). 

Литература

- Архипов И. А., Филин А. Э. Анализ состояния аварийности на угольных предприятиях России // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 1. С. 208-215. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-208-215.
- Жизнь в районах: Раскаленные недра Сангар-Хая. Электронный ресурс. YSIA.RU:https://ysia.ru/zhizn-v-rajonah-raskalennye-nedra-sangar-haya/?ysclid=18gpeno84k993245593. Дата обращения: 19.09.2022.
- Калайгорода В. В., Никулин Н. Ю., Простов С. М., Шабанов Е. А., Крупина Н. В. Мониторинг зоны самовозгорания породугольного массива георадиолокационным методом // Известия вузов. Горный журнал. 2022. № 3. С. 95–103. DOI: 10.21440/0536-1028-2022-3-95-103
- Северина В.А., Тимофеев С.С. Оценка экологической нагрузки при пожарах при добыче и транспортировке углей. XXI век. Техносферная безопасность. 2020;5(2):187–197. https://doi.org/10.21285/2500-1582-2020-2-187-197.
- Цибаев С. С., Кравченко И. А., Зорков Д. В. Совершенствование методов прогноза эндогенной пожароопасности на угольных шахтах // Вестник КузГТУ. 2020. № 2. С. 67–74.
- Bigliardi A. P., Fernandes C. L. F., Pinto E. A. Blood markers among residents from a coal mining area // Environmental Science Pollution Research. 2021. Vol. 28(2). P. 1409–1416
- Hamilton M.S., Miller R.O., Whitehouse A.E. The lingering fire threat in Southeast Asia. - Science and technology in the field of environmental protection. 2000, Vol. 34. pp. 82A-85A.
- Liu J., Wang Y., Yan S., Zhao F., Li Y., Dang L., Liu X., Shao Y., Peng B. Underground coal fire detection and monitoring based on Landsat-8 and Sentinel-1 data sets in Miqan fire area, XinJiang. Remote Sensing. 2021;13(6):1141. https://oi.org/10.3390/rs13061141
- Rongali G., Keshari A.K., Gosain A.K., Khosa R. Split-window algorithm for retrieval of land surface temperature using Landsat 8 thermal infrared data. Journal of Geovisualization and Spatial Analysis. 2018;2(2):1-19. https://doi.org/10.1007/s41651-018-0021-y
- Song Z., Künzer S. Coal fires in China over the past decade: a comprehensive review. International Journal of Coal Geology. 2014, Vol. 133. pp. 172-99. DOI:10.1016/j.coal.2014.09.004.

UDC: 662.61:550.42 (571.56)

V.N. Makarov, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Chief Scientific Officer, vnmakarov@mpi.ysn.ru

REFLECTION OF EPICENTERS OF ENDOGENOUS COAL FIRE IN GEOCHEMICAL FIELDS

Abstract: The article presents the results of geochemical studies in the area of the spread of endogenous fire at the Sangar coal deposit in Yakutia. For the first time, complex lithochemical anomalies have been established on the surface in the epicenters of endogenous fires. Positive lithochemical anomalies in soils are formed by coal combustion products easily migrating to the surface: CO₂, NO_x, HCl, SO₂, HF gases and Hg vapors. In soil solutions and supra-permafrost waters, pyrogenic gases are converted into HCO₃⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NH₄⁺, Cl⁻ ions. The epicenters of underground fires are manifested on the surface by local complex lithochemical anomalies: contrasting positive Hg, nitrogen compounds (NO₃⁻, NH₄⁺), HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, F, electrical conductivity and weak negative anomalies of the redox potential. The formation of geochemical anomalies on the surface makes it possible to detect the epicenters of endogenous fires in the conditions of underground mining of coal deposits by lithochemical search methods.

Keywords: coal, endogenous fire, geochemistry, anomalies, Sangar deposit.