

## ОСОБЕННОСТИ ГАЗОГИДРО-ГЕОТЕРМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ГОРЫ ЯНГАНТАУ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

**В.Н. Пучков, Р.Ф. Абдрахманов**

*Институт геологии УНЦ РАН*

*450000, Уфа, ул. К. Маркса, 16/2*

*E-mail: puchkv@anrb.ru*

*Поступила в редакцию 24 марта 2003 г.*

Анализ архивных данных и новой геологической информации, полученной в последнее время, позволяет вернуться к обсуждению природы газо-геотермальных явлений горы и известного курорта Янгантау (С-В Башкирия), которые до сих пор остаются объектом дискуссии. Предлагалось много различных объяснений данному феномену (горение/окисление битумов или сульфидов, радиоактивный распад, внедрение субвулканической интрузии и даже тепло трения при движении по поверхности шарьяжа). Впервые обнаруженные здесь «черные блоки» (участки, сильно обогащенные сажистым веществом) позволили провести аналогию между горой Янган-Тау и горящими угольными терриконами, а особенности состава термальных газов – однозначно поддержать гипотезу горения углеводородов в качестве причины их выделения. Предложена модель процесса как многофазной системы, в которой взаимодействуют горные породы, метеорные осадки, воздух, проникающий по трещинам (особенно интенсивно при южных ветрах), битумы, вытапливаемые из породы, и возможно газообразные углеводороды, подтекающие из глубин. Обсуждается находка слитка чугуна, обнаруженного при выемке котлована на глубине 7 м в пермских отложениях; сделано предварительное предположение о том, что это – следствие абсолютно уникального природного металлургического процесса. Предполагается, что первоначально температура очага горения была очень большой, а сам очаг располагался вблизи поверхности земли. Затем температура стала падать, а очаг ушел вглубь горы. В настоящее время температура газов быстро снижается, что ставит под угрозу благополучие курорта, функционирующего на основе их утилизации. Даны рекомендации по дополнительному использованию ресурсов минеральных и пресных вод, которые обнаружены в окрестностях.

Ключевые слова: *углеводороды, подземное горение, геотермальные явления, черные блоки, многофазная система.*

## ON GAS-HYDRO-GEOTHERMAL PHENOMENA OF THE YANGAN-TAU MOUNTAIN AND ADJACENT TERRITORIES (SOUTHERN URALS)

**V.N. Puchkov, R.F. Abdrakhmanov,**

*Institute of Geology, Ufiman Scientific Centre, Russian Academy of Sciences*

The re-evaluation of archive data and an additional information obtained recently permitted to return to an old dispute concerning the nature of the Yangantau (N-E Bashkiria) thermal phenomenon hosting a famous resort. Many different explanations for the origin of hot gases coming from the mountain were suggested (bitumen or sulphide burning/oxidation, radioactive reactions, subvolcanic intrusion and even tectonic friction). However “black blocks” (carbon-enriched spots) recently discovered here suggest a close analogy with burning waste cones of coal mines, while composition of hot gases coming from the mountain permit to support a burning hypothesis for their origin without any hesitation. A multi-phase model for the phenomenon has been suggested as an interaction of rocks, meteoric waters, air (wind), bitumen melted from the marls and probably combustible gases sipping from the depth. An occurrence of a pig-iron “nugget” discovered in the Permian sediments at a depth of 7 m is discussed and a preliminary explanation is suggested to be a unique natural metallurgic process. It is supposed that the starting temperature of burning was very high and the process was very shallow; then the process started to cool down and the epicentre of burning shifted more deep into the mountain. Nowadays the temperature of gases falls down noticeably which jeopardize the well-being of the resort. Recommendations are given to utilize additional resources of mineral and drinking waters of the vicinity.

Key words: *hydrocarbons, underground burning, geothermal phenomena, black blocks, multiphase system.*

## Введение

На территории горы Янгантау, расположенной у восточных отрогов невысокого горного хребта Каратау близ границы Башкирии и Челябинской области находится курорт республиканского значения, возникший благодаря наличию уникального природного геотермального явления – выходов из-под земли горячих газовых и газовой-паровых струй. Курорт пользуется большой популярностью, планомерно развивается, ведется строительство новых корпусов. Однако, несмотря на более чем 200-летнюю историю изучения, сам феномен Янгантау до сих пор до конца не понят; отсутствует общепринятая теория, в которой нашли бы объяснение все наблюдаемые факты, а может быть, все еще не хватает и самих фактов. В качестве источника тепла в разное время предлагались процессы горения или тления (окисления) углеводородов, окисления сульфидов, радиоактивный распад, вулканические процессы, и даже трение при тектонических движениях. И хотя гипотеза горения или тления всегда решительно преобладала, в последнее время некоторую популярность получила и гипотеза трения. Такая неопределенность таит в себе опасность, поскольку препятствует обоснованному прогнозу продолжительности существования феномена в будущем, что в свою очередь ставит под вопрос перспективы капитального строительства и расширения курорта. Наши исследования призваны по возможности устранить этот недостаток и по крайней мере сделать еще один шаг к решению обозначенной проблемы. Поскольку курортные ресурсы санатория не ограничиваются только термальными явлениями горы Янгантау, а представлены также целым рядом других феноменов, имело смысл включить в сферу рассмотрения также термальные, радиоактивные, сероводородгенерирующие и другие процессы прилегающей к санаторию территории.

## Краткое геологическое описание

Геология территории (рис. 1) описана в целом ряде работ [Дзенс-Литовский, 1935; Наливкин, 1949; Вахрушев, 1965; Нигматулин и др., 1998 и др.]. Здесь будут даны только самые краткие, необходимые сведения.

Территория геотермального месторождения Янгантау расположена над крутым 100-мет-

ровым уступом правого берега р. Юрюзань (рис. 1). В нижней части уступа обнажаются моноклинально залегающие, с падением аз. 70–120°, угол 10–20°, темные линзовидно-слоистые массивные и сланцеватые битуминозные мергели янгантауской свиты, мощностью до 260 м. Свита принадлежит бурцевскому горизонту аргинского яруса нижней перми. Подстиляется она конгломератами и песчаниками бальзякской свиты (стерлитамакский-бурцевский горизонты), перекрывается песчаниками, глинистыми сланцами и кремнистыми известняками тандакской свиты иргинского горизонта. Тандакская свита наблюдалась нами преимущественно в искусственных выработках на всей восточной части территории курорта. Нам удалось описать и сфотографировать котлован, глубиной 7 м и радиусом 10–15 м, вырытый летом 2001 года под строящуюся КНС (канализационно-насосную станцию) на восточном краю территории курорта. В котловане, под пачкой сильно обогранных глинистых и алевролитистых сланцев, мощностью 3 м, обнажается олистостромовая толща, которую ранее никто из геологов не описывал. Олистострома состоит из тесно прижатых друг к другу блоков известняков, с закругленными краями, в слабо выраженном глинисто-алевролитистом матриксе. Известняк стальносерый, почти неслоистый, тяжелый, плотный на свежем сколе; возможно доломитизирован и содержит железистые карбонаты (сидерит или анкерит). К поверхности глыб карбонат становится более рыхлым, выветрелым, и меняет цвет до желтого и красного, переходя в глину матрикса часто без четко различимых границ с ним. Размер блоков – чаще первые десятки см, но есть глыба диаметром около 2 м. В глыбах на поперечном сколе наблюдается изогнутая слоистость, подчеркивающая их внутреннюю эллипсоидальную структуру, что вызвано скатыванием обломков вниз по подводному склону в неполностью литифицированном состоянии.

Развитая в районе Янгантау моноклинал, сложенная аргинскими отложениями, является частью пологого крыла асимметричной Месягутовской антиклинали, ядро которой, сложенное более интенсивно дислоцированными верхнекаменноугольными известняками, глинистыми сланцами, мергелями и песчаниками, наблюдается в 4–5 км западнее, в районе сел Ахуново, Шарипово, Месягутово (см. рис. 1). Антиклиналь имеет северо-восточное простирание и осложнена надвигом, по-

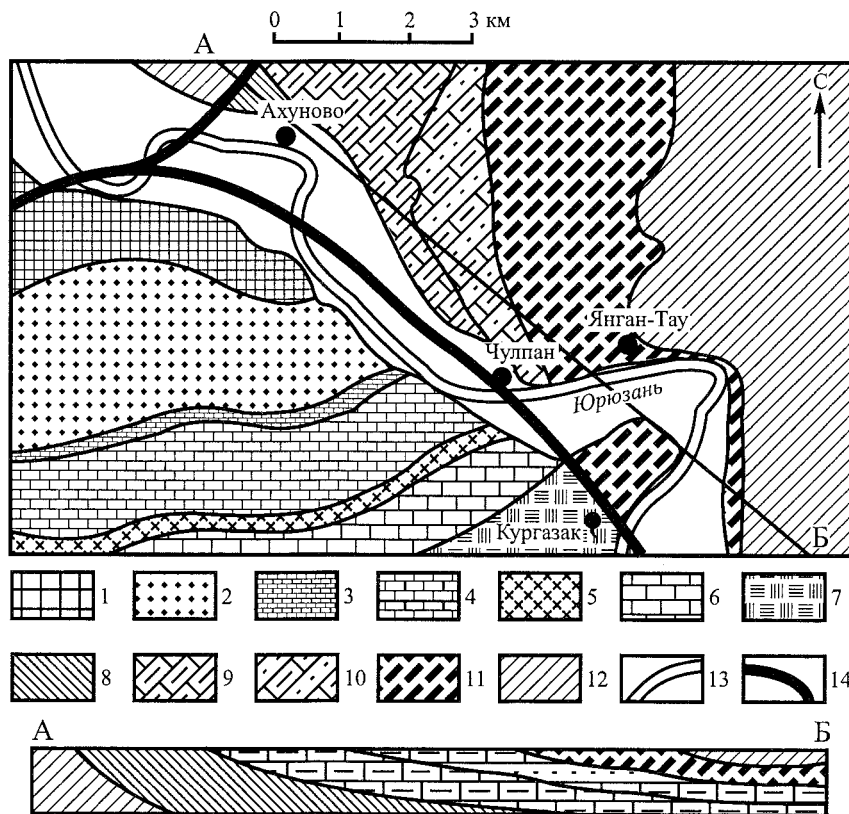


Рис. 1. Схематическая геологическая карта территории курорта Янган-Тау (по В.Д. Наливкину и Г.А. Дмитриеву, с изменениями В.Н. Пучкова).

1-5: докембрий: 1 – зона дробления, 2 – верхний рифей, зильмердакская свита, песчаники, алевролиты, сланцы; 2 – верхний рифей, катавская свита, пестроцветные мергели; 3 – верхний рифей, инзерская и миньярская свиты; песчаники, алевролиты, известняки, доломиты. 5 – венд, ашинская серия, песчаники; 6 – девон, песчаники, известняки; 7 – нижний карбон, известняки; 8 – верхний карбон; глинистые сланцы и известняки; 9 – верхи карбона - низы перми, мергели и известняки; 10 – стерлитамакский - низы артинского яруса нижней перми, песчаники, глинистые сланцы и известняки (бальзякская свита); 11 – артинский ярус, битуминозные сланцы янгантауской свиты; 12 – артинский ярус, тандакская свита; глинистые сланцы, мергели, песчаники, олистостромы. 13 – рыхлые четвертичные отложения, русло р. Юрюзань. 14 – границы стратиграфических подразделений.

верхность которого падает на юго-восток. Юго-западное продолжение антиклинали срезается в долине р. Юрюзань правосторонним сдвигом, сочлененным на западе с Каратауским надвигом. Эти разломы ограничивают Каратауское поднятие, сложенное породами, имеющими возрастной диапазон от верхнего рифея до карбона. Близость этого поднятия вероятно сказывается на структуре моноклинали Янгантау в повышенной трещиноватости развитых здесь пород. Наиболее важным является наличие здесь открытых субмеридиональных и северо-северо-восточных близвертикальных трещин, по которым идет проникновение воздуха в толщу пород массива. Другой важнейшей

особенностью структуры горного массива Янгантау является предполагаемое наличие трещин бортового отпора, проходящих по субширотному логу, расположенному к северу от территории курорта и изолирующих массив от водоносных горизонтов более северной территории. Наличием этих двух систем трещин объясняется дренированность, осушенность пород: постоянное поглощение жидкости, отмечавшееся при бурении скважин, и очень низкий уровень грунтовых вод, приближающийся к уровню поймы, где выходит серия родников. Эти условия осушенности и трещиноватости весьма благоприятствовали возникновению изучаемого феномена.

### Термальная история объекта

П.С. Паллас [1973], посетивший г. Янгантау в 1770 г., писал, что подземный пожар возник незадолго до его экспедиции. По словам живших там башкир, одиннадцать или двенадцать лет до того в большую сосну ударила молния, и пламя передалось горе. К этому свидетельству необходимо отнестись с полной серьезностью, поскольку речь идет не о легенде, а о событии, происшедшем на глазах живых свидетелей. Таким образом, с большой долей вероятности можно сказать, что процесс (скажем для начала осторожно) теплогенерации начался в 1758–1759 гг. и продолжается уже свыше 240 лет. В начале выделение тепла было очень интенсивным. Паллас писал, что из открытых трещин постоянно поднимались дрожащие на солнце струи пара, к которым невозможно было прикоснуться рукой. Температура струй была настолько высока, что брошенная в трещину береста или щепка вспыхивали меньше чем за минуту.

Температуры газов в трещинах П.С. Палласом не замерялись. Если исходить из нарисованной им картины, это было настоящее открытое горение, с беспрепятственным доступом кислорода, и температуры в этом случае локально могли достигать на поверхности многих сотен градусов. Замеры начали делать только с конца XIX в., и значения поверхностных температур по наблюдениям, сделанным до 1933 года, колебались в пределах от 30 до 150°С [Дзенс-Литовский, 1935]. В конце 50-х годов замеры температуры поверхностных выходов газов составляли 40–120°С [Пилипенко, 1966]. Позже, начиная с 80-х годов, дебит и температуры газов замерялись регулярно лабораторией при

курорте, что позволило построить графики их изменения за последние 20 лет (рис. 2).

Средняя температура газов на устьях скважин и каптированной трещины в период 1980–2001 гг. составляла 60–80°С, причем в большинстве случаев, хотя и с определенными отклонениями, происходило ее понижение со средней скоростью 0,5 градуса в год. Это в 5 раз больше, чем расчетная скорость [Нигматулин и др., 1998], полученная без учета конвективного воздушного теплопереноса по трещинам.

Остывание горы видно и невооруженным глазом. А.Н. Дзенс-Литовский в 30-х годах XX в. писал, что зимой, когда долины и горы Южного Урала покрываются снегом, на горе Янгантау снег не лежит. Сейчас гора поросла лесом, на ней зимой ложится снег, процесс затухает. Вероятно, не только снизилась интенсивность процесса, но и сам его эпицентр переместился вглубь горы, а открытое горение сменилось тлением.

Эта тенденция подтверждается и измерениями поверхностных температур пород. По данным термальной съемки К.А. Миловидова, сделанной в 1948 году, В.В. Штильмарк [1960] составил и опубликовал схему (рис. 3), на которой термальная зона, прослеживаемая на поверхности изотермой в 20°С, образовывала сплошную полосу шириной 100–200 м и длиной 1 км. При этом на выделенных в 1892 году А.Я. Гордякиным термальных площадках А+В, С, Е — она составляла свыше 25°; площадка D к моменту измерений уже не проявилась. В результате работ следующего этапа, проведенных в 1955–1960 гг. Г.Ф. Пилипенко [1966], была составлена новая схема, на которой 20-градусная изотерма уже распалась на 3 участка, по площади и расположению примерно соответство-

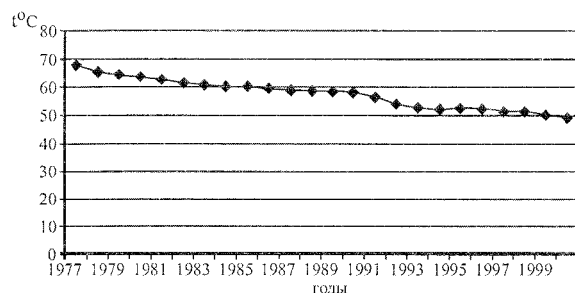
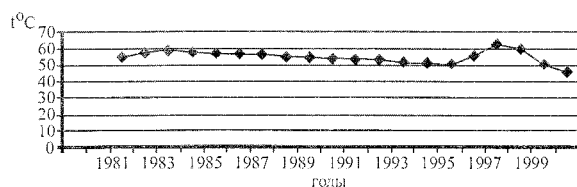
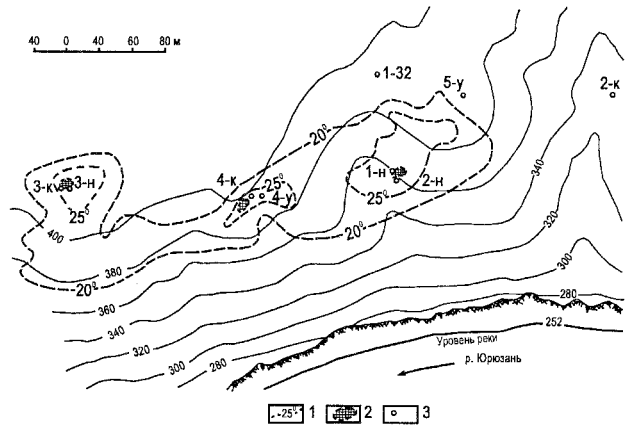


Рис. 2. Динамика изменения температур на устье каптированной трещины (2а) и скважины 4к (2б).

Обработка данных Р.Ф. Абдрахманова.

Рис. 3. Карта поверхностных проявлений тепла на горе Янган-Тау. По [Штильмарк, 1960], с упрощениями.

1 – изолинии температуры кровли коренных пород от 20° и выше; 2 – участки с температурой кровли коренных пород выше 40°; 3 – номер скважины и абсолютная отметка устья.



вавших 25-градусным изотермам схемы, опубликованной В.В. Штильмарком, а вместо 20-градусной изотермы появилась 15-градусная (рис. 4). И тут мы вновь видим остывание на 5 градусов примерно за 10 лет!

Данные о температуре основного эпицентра тепловыделяющего очага более противоречивы. По данным В.В. Штильмарка [1960], максимальная температура в скважине 5У измерена на глубине 80 м и составляла 378°С. По данным Г.Ф. Пилипенко [1966], в той же скважине на глубине 80 м 25.11.1961 г. зафиксирована температура 400°. По данным же измерений курортной лаборатории, в 2001 г. максимальная температура в этой скважине на глубине 84 м составила всего лишь 152°, то есть процесс разогрева и остывания на глубине был нелинейным, а область максимальных температур, возможно, смещалась. Помимо приведенных материалов, позволяющих определить экстраполяции в прошлое, имеется еще целый ряд данных, свидетельствующих о том, что первоначально поверхностные температуры местами могли до-

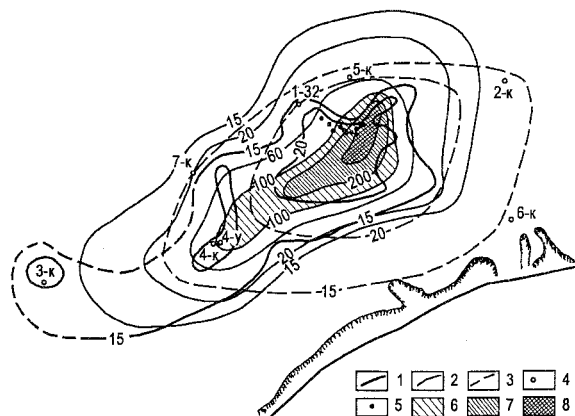
стигать многих сотен градусов, причем возможно температура убывала экспоненциально, с замедлением и некоторыми всплесками, указывающими на нестационарность процесса.

### «Метеорит Янгантау»

Самым неясным и интригующим во всей этой истории, возможно, является момент, связанный с так называемым «метеоритом Янгантау». Примерно 10 лет тому назад на территории курорта Янгантау при строительстве здания бассейна, на дне котлована, вырытого под его фундамент, на глубине примерно 7 м в коренных отложениях тандакской свиты перми был найден большой слиток железа. Большая часть образцов, отколотых рабочими-строителями от этого слитка, утрачена, а сам он, весом несколько центнеров (?), был оставлен в земле и зарыт в ходе строительства; в настоящее время он находится непосредственно под краем фундамента здания. Первоначально приходилось пользоваться очень небольшими образца-

Рис. 4. Схематическая геотермическая карта тепловой аномалии горы Янган-Тау [Пилипенко, 1966].

1 – изотермы поверхности (на глубине 1 м); 2 – изотермы на уровне максимального прогрева (отметка 265 м); 3 – изотермы на уровне водоносного горизонта; 4 – скважины разведочного бурения (1955–1961 гг.); 5 – эксплуатационные скважины. Температурные аномалии: 6 – от 100 до 200°; 7 – от 200 до 300°; 8 – выше 300°.



ми, которые удавалось получить от свидетелей и участников находки, однако недавно Э.З. Гареев передал В.Н. Пучкову вполне представительный образец весом около 3 кг.

Первоначально предполагалось, что это метеорит. Однако анализы (в том числе, сделанные В.Н. Пучковым в начале 90-х гг. в Институте стали и сплавов и несколько позже Э.З. Гареевым – по его устному сообщению – в Институте сверхпластичности РАН) не подтвердили этого.

В 2001 г. контрольный анализ был сделан в ИМИН РАН. Состав (мас. %): Fe–96,08; Mn–1,08; Cr–0,29; V–0,13, сумма 97,58 (Микрозондовый анализ. Аналитик Е.И. Чурин. Институт минералогии УрО РАН, Миасс). Такой состав полностью исключает метеоритную природу.

По заключению сотрудника ИМИН РАН Т.П. Нишанбаева, структура слитка отвечает чугуну. Впрочем, характер поверхности слитка, покрытой шлаком, ноздреватой, с канальцами, дающими возможность предположить прохождение газов через расплав, позволял сразу усомниться в его неземном происхождении (рис. 5). С другой стороны, прямых свидетельств его рукотворности также не существует.

В.Н. Пучковым впервые высказана гипотеза о том, что указанный слиток – следствие уникального природного процесса выплавки железной руды, связанного с термальными явлениями Янгантау на ранней стадии их развития. Чтобы подтвердить или опровер-

гнуть ее, необходимы дополнительные исследования. В частности, неясно, какова была руда (приповерхностные слои тандакской свиты и перекрывающие их рыхлые осадки сильнейшим образом ожелезнены, но плохая обнаженность и ограниченное количество проведенных анализов не позволили пока выявить железную руду). Для естественного плавления требуется значительная температура (до 1200°C), чему также пока нет прямых подтверждений. Тем не менее, в пользу нашей гипотезы говорят такие данные, как полное отсутствие каких-либо исторических указаний на развитие железоделательной металлургии в районе Янгантау, а также факт нахождения слитка железа среди пермских коренных пород, а не в слое наносов, которые отвечали бы какой-либо исторической эпохе. Имеется также свидетельство старожила (А.Т. Юсупов) о том, что после войны непосредственно к востоку от территории курорта местные жители рыли колодец и вынули на поверхность два куска железа. Он же сообщил о том, что после войны местные жители на склоне борта долины под зданием паровоздушных ванн добывали гашеную известь (температура диссоциации кальцита – основного минерала известняка – свыше 650°C). А.И. Дзенс-Литовский [1935] отмечает среди пород, подвергшихся термальному воздействию, присутствие белесого порошка полугашеной извести. Мы посетили указанный А.Т. Юсуповым участок, расположенный на береговом обрыве р. Юрю-

зань в 100 м восточнее железной лестницы на высоте около 50 м от уреза воды. Известь сейчас отсутствует; наоборот, здесь были вскрыты черные блоки (см. ниже), а известь исчезла, видимо, вследствие подмывания обрыва рекой. Сравнение состояния склона в 2001 и 2002 гг., когда мы производили наблюдения, позволяет сделать вывод, что размывание и обрушение обрыва в периоды паводков идет очень быстро.

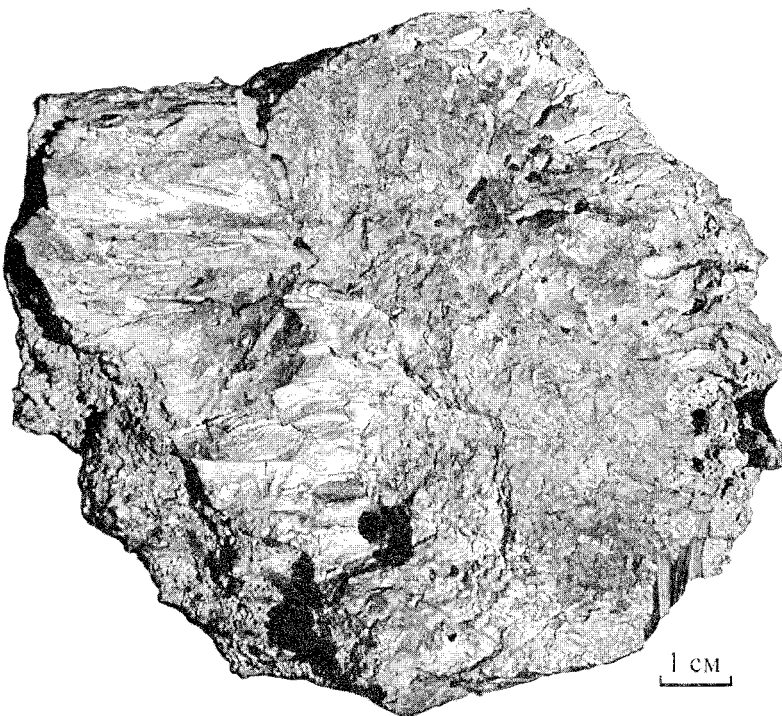


Рис. 5. Представительный обломок чугунного слитка. Фото В.Н. Пучкова.

### Палеотемпературы пород на поверхности земли

Изучение палеотемператур, проведенное А.С. Бобоховым по разработанной им методике изучения индекса термодегазации, выявило несколько поверхностных палеотермальных аномалий не только в районе Янгантау, где температуры местами достигали по данным этого исследователя 600°C (максимальной величины, измеряемой данным методом), но и в других местах, например, до 200°C в ядре расположенной западнее Месягутовской антиклинали, осложненной одноименным надвигом (рис. 1), и до 400°C в лежащем крыле этого надвига [Нигматулин и др., 1998].

Таким образом, процесс выделения тепла шел по убывающей: первоначально температуры вблизи земной поверхности могли достигать сотен градусов, но постепенно температура процесса снижалась, и он уходил вглубь горы. По Г.Ф. Пилипенко [1966], разогретая зона находится на глубине до 100 м под бровкой крутого борта долины р. Юрюзань, вытянута в широтном направлении и имеет гантелеобразную форму (рис. 6).

Для понимания природы процесса полезно изучить более внимательно породы, подвергшиеся прокаливанию, так называемые *горелики*, развитые на поверхности вблизи от вышеуказанных палеотермальных аномалий.

*Горелики* – породы красноватого (до кирпичного), белого, серого, голубовато-серого, розоватого, розовато-желтого цветов резко контрастируют с темносерыми битуминозными мергелями янгантауской свиты, среди которых они находятся. В уступе г. Янгантау, обращенном к реке, они отмечены на двух уровнях (рис. 7). Верхний образует плоскостную зону, непосредственно связанную с тепловой «гантелей», и выходит вблизи бровки берегового склона. Сейчас склон сильно зарос по сравнению со временем, когда проводились наиболее подробные исследования, но выходы гореликов все же можно наблюдать например, в 3 м ниже смотровой беседки на западном краю курорта. В более восточных районах они проявляют себя двумя шлейфами осыпей на крутых, не заросших растительностью, участках склона долины р. Юрюзань, и встречаются в лесу на склоне, где они могут быть прослежены по остаткам выемок, сделанных десятилетия назад «дикими» курортниками, занимавшимися самолечением. Имен-

но эти горелики, прослеживающиеся вблизи контакта между янгантауской и тандакской свитами, близки к предполагаемой зоне надвига, с которой сторонники тектонической теории связывают происхождение термальной аномалии. Однако горелики нижнего уровня, которые, по-видимому, также связаны с очагом – с нижней частью его южного окончания (рис. 8) – выходят локально, имея вид протуберанца. Здесь нет никаких геологических оснований для того, чтобы предполагать еще один надвиг: вверх по восстанию слоев (аз. пад.  $70^\circ \angle 10^\circ$ ) горелики переходят в неизмененные мергели, отчетливо пахнущие битумом при ударе. Естественные обнажения горелых пород этого уровня находятся в крутом обрыве берега, в 100 м к востоку от железной лестницы и примерно в 10 м выше уреза воды (там, где старожилы указывали на залежи известки). Среди развитых здесь разноцветных пород особое внимание обращают кирпично-красные «звонкие» плитчатые сланцы.

Термограммы их не фиксируют экзо- и эндотермических эффектов: по-видимому, это наиболее сильно обожженные разности. Красный цвет объясняется переходом закисного железа в окисное при обжиге. На поверхностях плиток найдены сохранившиеся отпечатки го-ниатитов – пелагической фауны, которую невозможно найти в природных континентальных красноцветах.

Важной деталью этого обнажения являются также впервые описанные В.Н. Пучковым на Янгантау *черные блоки* (рис. 7, 8). Данный термин обычно используется специалистами по минералогии техногенеза, изучающими отвалы угольных бассейнов (терриконы), в которых, как известно, происходит самопроизвольное горение оставшегося угля. Черные блоки – это участки непрогоревших пород, сильно прокаленных без доступа кислорода. В них шли процессы, сходные с сухой перегонкой углистых и битуминозных веществ, в результате чего образуется вещество, близкое к саже или шунгиту, практически не содержащее летучих. «Вся масса породы равномерно пропитывается значительным количеством углеродистого вещества типа газовой сажи и становится черной» [Чесноков, Щербак, 1991]. В нашем случае это небольшие, до 2 м<sup>2</sup> в поперечнике, участки, приближенные к нижней части горелой зоны. Анализы органики, произведенные в лаборатории ИОХ РАН (аналитик Анпилогова), даются в таблице (мас. %).

Из таблицы ясно, что углеводороды в чер-

№№ обр.	% С	% Н	% N	% золы
Обр.226-1 П01	14,2	Не обн.	Не обн.	67,56
Обр.226-2 П01	13,7	Не обн.	Не обн.	67,56

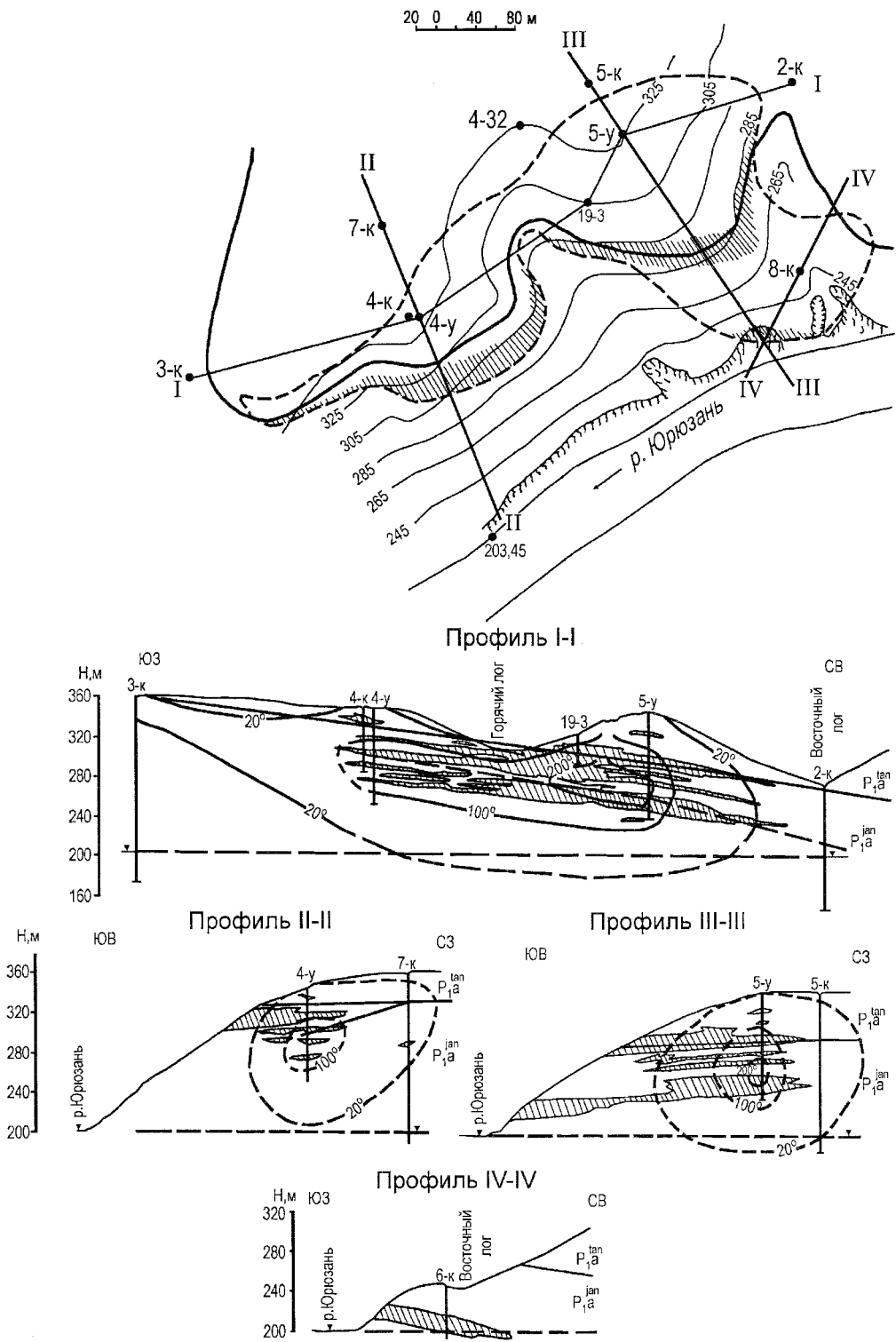


Рис. 6. Распределение горелых пород и связь их с тепловыми аномалиями. Горелые породы показаны косой штриховкой [Пилипенко, 1966].



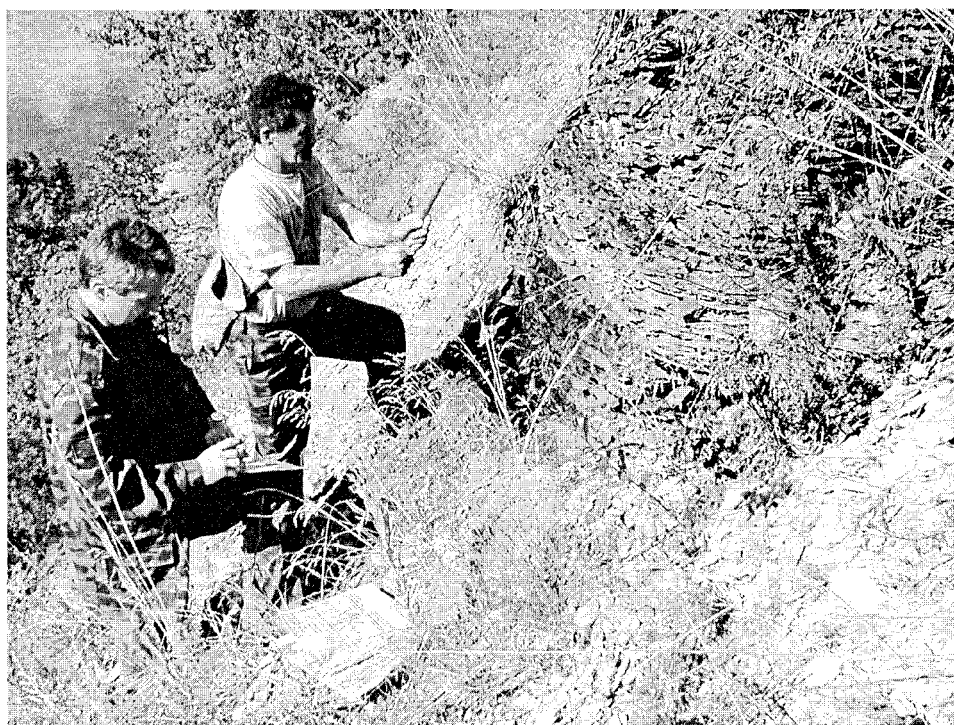


Рис. 7. Выход черного блока на обрыве р. Юрюзань в 100 м к востоку от железной лестницы. Фото В.Н. Пучкова.

ных блоках отсутствуют. Часть вещества могла уйти в виде  $\text{CO}_2$  и других газов при прокаливании анализируемых проб.

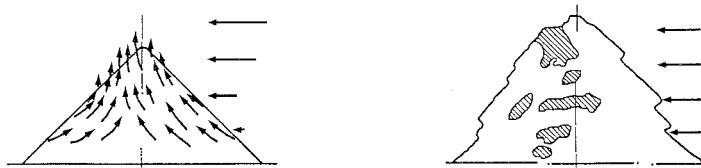
В таблице обращает на себя внимание также значительное содержание углерода, что может служить свидетельством большего содержания горючего вещества (свыше 15–20 %) в зоне горения по сравнению с фоновым содержанием битумов во вмещающих мергелях (1,96–3,7 %). Было ли это разрушенное *in situ* месторождение нефти, или же существует постоянный, постепенно иссякающий, подток углеводородов к природному очагу [Фаттахутдинов и др., 1982] – сказать сейчас достаточно трудно, однако сам факт окисления органического веще-

ства можно считать доказанным. В любом случае, в баланс окислительных процессов и расчетов производимой тепловой энергии необходимо включать и фоновые значения битумов: ведь в измененных породах (гореликах) битумы отсутствуют, так как они были выжжены.

Причиной образования черных блоков в описанном случае, вероятно, является частичная изоляция той части склона, на которой они находятся, от поддува, благодаря наличию в момент горения мощного глинисто-щебенчатого делювиального шлейфа, который был впоследствии размыв рекой. Как уже указывалось, процесс подмыва крутого берега р. Юрюзани идет в настоящее время очень быстро.

Рис. 8. Схема предполагаемого движения газов в термически активном терриконе и положение черных блоков, образующихся в случае недостаточного обеспечения процесса горения кислородом.

Стрелки – направление ветра, заштриховано – черные блоки [Чесников, Щербакова, 1991].



### Баланс $\text{CO}_2$ и $\text{O}_2$ и процесс окисления/горения

О балансе кислорода и углекислого газа Г.Ф. Пилипенко [1966], изучавший этот вопрос, как и его предшественник В.В. Штильмарк, говорят в своих публикациях предельно кратко, почти как о чем-то само собой разумеющемся, поскольку они уверены, что причиной образования термальных газов являются окислительные экзотермические процессы. «Термальные газы отличаются от атмосферного воздуха повышенным содержанием  $\text{CO}_2$  (до 15 %) при соответствующем снижении количества  $\text{O}_2$ . На месторождении выделяются две зоны, резко отличающиеся друг от друга по режиму и составу газов: нижняя (термальное ядро) – замедленного газообмена ( $\text{CO}_2$  больше 6,5 %) и верхняя – интенсивной циркуляции и «продувания» ( $\text{CO}_2$  меньше 6,5 %)» [Пилипенко, 1966]. Поскольку, однако, до сих пор существуют противники теории горения/окисления, предлагающие альтернативные концепции источника энергии (тепло трения, радиоактивного распада, вулка-

нического очага и т. п.), мы приводим некоторые типичные графики замеров содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$  в скважинах в зависимости от глубины и сезона, взятые из отчетов Г.Ф. Пилипенко (рис. 9, слева). Легко видеть, что графики содержания этих газов, соотношенные с глубиной скважины, зеркально противоположны: вблизи очага кислород поглощается с образованием углекислого газа, а по мере движения к устью скважины термальный газ разбавляется воздухом; в результате содержание кислорода растет, а углерода – падает. Такая же зеркальная симметрия наблюдается между графиками концентраций  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  при сезонных наблюдениях (рис. 9, справа).

Присутствие углекислого газа и часто почти полное отсутствие кислорода вблизи термального максимума указывают на то, что экзотермические реакции продолжались и в момент проведения наблюдений. Более того, в единичных случаях, как в скважине 13э, Г.Ф. Пилипенко в 1958–59 гг. фиксировались даже угарный газ – 0,1 % и водород – 0,06 % [Пилипенко, 1960].

Еще более убедительные данные о существовании продолжающегося в настоя-

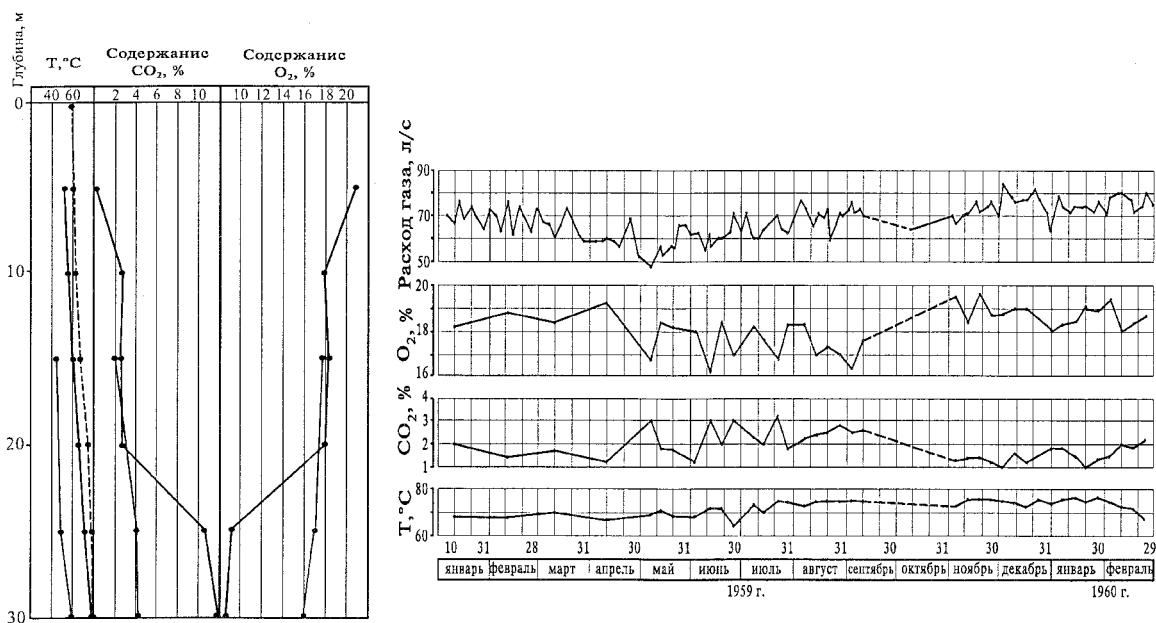


Рис. 9. Некоторые типичные графики замеров содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{O}_2$ , взятые из отчетов Г.Ф. Пилипенко.

Слева: соотношение температур, концентраций  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  в каптажной скважине № 13-э на горе Янгантау. Цифры слева – глубины в м. Справа: соотношение дебита газа, температур, концентраций  $\text{O}_2$  и  $\text{CO}_2$  в зависимости от времени года (данные через каждые десять дней) в скважине № 4-К. По данным Г.Ф. Пилипенко и др., наблюдения 1959 и 1961 гг.

щее время окислительного процесса получены рабочей группой химиков ИОХ УНЦ РАН [Муринов и др., 2001] Проанализировав образцы газа и конденсатов паров скважин «22» и «27», они установили в пробах, наряду с повышенным содержанием углекислого газа, систематическое наличие угарного газа и водорода. Установленное в конденсате пара наличие предельных и непредельных углеводородов и соответствующих им окисленных соединений (спирты, кетоны, сложные эфиры, кислоты) также подтверждает гипотезу термоокислительной деструкции сланцев в очаге горения.

### Качественная модель феномена Янгантау

Несколько лет назад была предложена первая количественная модель феномена Янгантау, основанная на гипотезе образования тепла за счет трения в подошве шарьяжа, наличие которого предполагалось вблизи границы тандакской и янгантауской свит [Нигматулин и др., 1968]. Модель была рассчитана для однофазной системы (горная порода) исходя из предположения, что процесс надвигания закончился (иного и не могло быть, ибо в случае продолжения надвигания с предполагаемой скоростью 2 см в год стволы скважин, в которых десятилетиями производится мониторинг процесса, были бы срезаны). Расчеты производились из предположения о кондуктивном способе остывания, что привело к очень оптимистическому прогнозу скорости остывания очага (0,1 градус/год). Приведенные выше данные не подтверждают столь упрощенной оценки процесса. Здесь имеет место многофазная система. В ней, помимо горных пород, участвуют и взаимодействуют

также метеорные осадки, атмосферный воздух, водяной пар, смешанный с продуктами горения, битумы, содержащиеся в породе, и не только сгорающие, но и частично возгоняющиеся и переотлагающиеся в холодной зоне на периферии очага, а также возможно углеводороды, дополнительно подпитывающие горение (рис. 10). Создать математическую модель такой системы будет крайне затруднительно, так как в нее входят неизвестные компоненты (в частности, общий дебит газа и подток углеводородов).

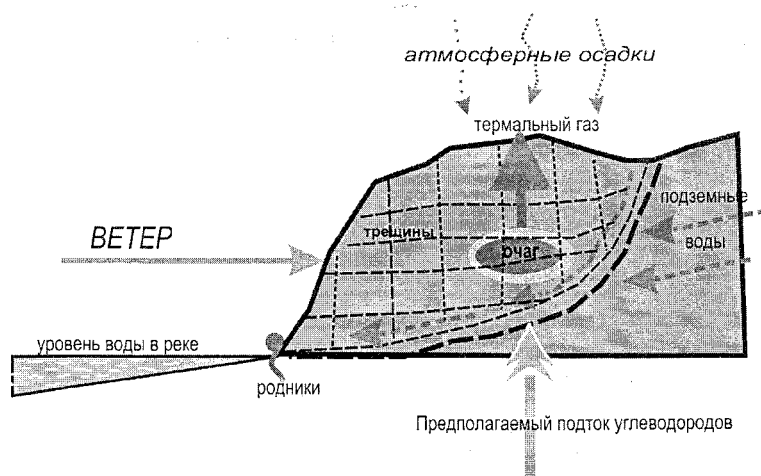
### Аналогии с другими объектами

Уже говорилось о сходстве системы Янгантау с терриконами (Б.В. Чесноковым и его учениками [1991 и др.] хорошо изучены терриконы Челябинского угольного бассейна). Температуры, возникающие при горении, здесь местами столь велики, что приводят к плавлению пород с образованием парабазалтов (глыба такой новообразованной породы экспонируется в Минералогическом музее Ильменского Государственного Заповедника (г. Миасс).

Можно провести аналогии с районами естественного горения углей и горючих сланцев (Ангрен, Эстония и др.), или с зоной экспериментальной газификации углей (Тула). Метаморфические породы условий высоких температур-низких давлений описаны для многих случаев контактовых воздействий, когда образуются роговики [Ревердатто, 1970 и др.].

По своей геологической позиции горелики Янгантау довольно близки также к формации Хагрурим Иудейской пустыни [Gross, 1977]. Эта пестроцветная формация образовалась за счет горения битумов в мергелях и меле формаций Такийя и Гарерб верхнемелового-палеоценового

Рис. 10. Качественная модель многофазной тепло-газогенерирующей системы Янгантау, предложенная В.Н. Пучковым.



возраста. Неизменные породы во многих обнажениях битуминозны и местами могут рассматриваться как горючие сланцы (до 26 %  $C_{\text{орг}}$ ). Судя по присутствию высокотемпературных минералов, детально описанных в работе С. Гросса, температуры могли достигать 1000°C.

В качестве еще одного примера можно привести район Тимбукту в Северном Мали [Svensen et al., 2003], где естественный процесс горения богатого органикой (до 8 % углерода) пласта под слоем диатомита и алевролита идет при температурах до 830°C, вызывая плавление диатомита с образованием «даек», породообразующим минералом в которых является кристобалит.

Янгантауская свита в части, доступной наблюдению, содержит значительно меньше битумов, и, как уже говорилось, для поддержания процесса их выгорания требуется независимый источник горючего материала (возможно, приток горючего газа из разрушающегося месторождения углеводородов на глубине).

### Минеральные воды

В связи с некоторым снижением термального эффекта курорта Янган-Тау приобретают особую актуальность перспективы расширения санатория за счет привлечения в лечебные факторы минеральных вод: радоновых и сероводородных.

Нижней границей содержания радона в минеральных водах является 5 нСи/л, или 14 ед. Махе. Воды с меньшей его концентрацией могут считаться радоновыми при условии, если они обладают значительным дебитом и повышенной температурой, позволяющей использовать их без сильного предварительного подогрева.

Региональные исследования радиоактивности подземных вод в Предуралье не проводились. Тем не менее, имеющийся материал дает основание заключить, что основной (и, вероятно, единственной) областью развития радоновых вод является Предуральский прогиб, что связано с особенностями его геотектонической структуры, играющей главную роль в формировании минеральных вод.

В Юрюзано-Айской депрессии к радоновым относятся источник Кургазак и Куселяровские источники Куткантауской группы, приуроченные к зонам дизъюнктивных нарушений. Содержание радона в воде Кургазака, связанного с нижнекаменноугольными известняками, составляет 5,4–6,3 нСи/л. Дебит его 100–125 л/с.

При решении вопроса практического использования радоновых вод необходимо учитывать не только абсолютное содержание в них радона, но и эксплуатационные ресурсы этих вод. С этой целью введены понятия «радоновая ценность» ( $M_{\text{Rn}}$ ) и «радиоактивная мощность» ( $M_{\text{Ra}}$ ) источника:

$$M_{\text{Rn}} = C \times Q, \quad M_{\text{Ra}} = Q \times C / 7500,$$

где  $C$  — концентрация радона, нСи/л;

$Q$  — дебит источника (л/с в формуле  $M_{\text{Rn}}$ , л/ч в формуле  $M_{\text{Ra}}$ ).

«Радиоактивная мощность» источника — это масса радия в миллиграммах, которая дает то же количество эманации, что и исследуемый источник.

Радоновая ценность источника Кургазак, используемого в лечебно-питьевых целях на курорте Янган-Тау, составляет примерно 600–700 нСи/л, а радиоактивная мощность 260–375.

Куселяровские источники приурочены к карбонатным нижнепермским отложениям, имеют минерализацию до 1 г/л при смешанном катионном и анионном составе. Среди газов установлены  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $H_2S$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ , но газонасыщенность вод низкая. Температура воды от 8,5 до 21,0°C, рН 6,9–7,1, Eh от +75 до –180 мВ. Концентрация радона 0,4–2,4 нСи/л. Учитывая, что суммарный дебит источников достигает 60 л/с, радоновая ценность их может быть оценена величиной до 100 нСи/л [Абдрахманов, Попов, 1999].

Бальнеологическая ценность этих вод повышается наличием в них также сероводорода. Сероводородные воды представлены восходящими источниками в районе с. Куселярово. Вода слабосульфидная ( $H_2S$  до 9 мг/л) гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридная магниевонариево-кальциевая.

Куселяровские источники в перспективе могут использоваться как лечебно-питьевые минеральные воды курорта Янгантау.

В санатории для хозяйственно-питьевых нужд используется радоновая вода источника Кургазак. Нами еще в 1978 году указывалось, что использование радоновой воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения курорта противопоказано. Это отмечалось также в заключении радиологической лаборатории ЦНИИиКФ. В связи с этим структура хозяйственно-питьевого водоснабжения должна быть изменена за счет устройства аллювиального водозабора в долине р. Юрюзань или каптажа высокодебитных источников в районе курорта.

## Некоторые выводы

Находит новые подтверждения гипотеза окисления/горения (в частности, особенности геологии гореликов и черных блоков). При этом, в связи с относительно низким содержанием битумов вблизи термального очага, приходится делать предположение о подпитке процесса горения притоком углеводородов (горючий газ?) за счет разрушающегося месторождения на глубине.

Есть основания предположить, что в близповерхностной зоне в момент температурного пика шел уникальный естественно-металлургический процесс.

Наблюдения за соотношением  $\text{CO}_2/\text{O}_2$ , присутствие в газопаровых источниках закиси углерода, водорода, продуктов окисления углеводородов, зависимость температуры и состава газов от сезонной интенсивности и направления ветров и др. свидетельствуют о конвективном способе остывания и заставляют рекомендовать пересмотр модели функционирования Янгантау в пользу его трактовки как многофазной, а не твердофазной системы.

По приведенным наблюдениям, скорость остывания газов превышает ранее высказывавшиеся оценки, что заставляет рекомендовать руководству курорта при долгосрочном планировании искать альтернативу газотермальным ваннам как основному лечебному средству или заранее разработать методику искусственной реанимации очага. Следует также обратить большее внимание на бальнеологические ресурсы территории, связанные с особенностями природных источников в ближайшем окружении курорта.

Авторы выражают благодарность академику Р.И. Нигматулину за содействие в организации и проведении исследований, администрации курорта Янгантау в лице его Директора Р.Р. Бадретдинова, а также сотруднику курорта Р.А. Юсупову за постоянную помощь, Б.В. Чеснокову за консультации по геологическим процессам в терриконах, Т.П. Нишанбаеву и Ю.И. Муринову за плодотворное обсуждение проблемы и содействие в получении анализов, А.О. Полевой за техническое содействие.

*Работа выполнялась по гранту АН РБ и при частичной финансовой поддержке проекта MinUrals (ICA-2-CT-2000-10011).*

## Список литературы

- Абдрахманов Р.Ф., Попов В.Г.* Минеральные лечебные воды Башкортостана. Уфа: Гилем, 1999. 298 с.
- Вахрушев Г.В., Алкис А.Э., Ревенко Э.А.* Новые данные о тектонике южной части Юрюзано-Сыльвенской депрессии в Приуралье // Геотектоника. 1968. № 1. С. 82–85.
- Дзенс-Литовский А.И.* Гора Янгантау // Изв. Гос. Геогр. О-ва. Т. LXVII. Вып. 3. 1935. С. 332–351.
- Муринов Ю.И., Фурлей И.И., Мавродиев В.В. и др.* Отчет о НИР Института Органической Химии УНЦ РАН по договору с АН РБ. Комплексное исследование газогидро- и геотермальных явлений и химико-биологическое изучение горы Янгантау и прилегающих территорий. Уфа: АН РБ, 2001. 31 с.
- Наливкин В.Д.* Стратиграфия и тектоника Уфимского плато и Юрюзано-Сыльвенской депрессии // Тр. ВНИИГИ. Нов. сер. Вып. 46. 1939. 205 с.
- Нигматулин Р.И., Казанцева Т.Т., Камалетдинов Р.И. и др.* Геология и генезис тепловых аномалий Янгантау. Уфа: АН РБ, Отделение наук о Земле и экологии, 1998. 71 с.
- Паллас П.С.* Путешествия по разным провинциям Российской империи. Ч.1. СПб.: Имп. А.Н., 1773.
- Пилипенко Г.Ф.* Предварительный отчет по подсчету эксплуатационных ресурсов термальных газов г. Янгантау (по работам 1958–1959 гг.). Т. 1. Институт курортологии и физиотерапии. М., 1960. 151 с.
- Пилипенко Г.Ф.* Геотермический режим и ресурсы термальных газов горы Янгантау в Башкирии // Геотермические исследования и использование тепла земли. М.: Наука, 1966. С. 304–310.
- Ревердатто В.В.* Фации контактового метаморфизма. М.: Наука, 1970. 263 с.
- Штильмарк В.В.* Экзогенная геотермальная аномалия горы Янгантау в Западном Приуралье // Доклады к собранию Международной Ассоциации гидрогеологов, М.: Госгеолтехиздат, 1960. С. 310–314.
- Фаттахутдинов С.Г., Кошохов А.И., Корчагина Ю.И., Акбашев Р.Ш.* Генезис термальных явлений горы Янгантау // Вопросы минералогии, геохимии и генезиса полезных ископаемых Южного Урала. Уфа: БФ АН СССР, 1982. С. 110–116.
- Чесноков Б.В., Щербакова Е.П.* Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Опыт минералогии и техногенеза. М.: Наука, 1991. 152 с.
- Gross S.* The mineralogy of the Hatrurim formation, Israel // Geol. Surv. Israel, Bull. N 70, 1977. 80 pp.
- Svensen H., Dysthe D.K., Bandlien E.H. et al.* Subsurface combustion in Mali: refutation of the active volcanism hypothesis in West Africa // Geology. V. 31. No 7. P. 581–584.
- Рецензент доктор геол.-мин. наук Л.С. Табакблат*