

УДК 539.2

О МЕХАНИЗМЕ ОБРАЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПРЕСНЫХ ВОД ВБЛИЗИ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ ПОТУХШИХ ВУЛКАНОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЕГО ДЛЯ ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

Н.И. Ковалев, В.А. Гох, В.А. Пухлий

Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности

Проведенные исследования с помощью геокосмических средств поиска подземных вод и полевой аппаратуры резонансно-тестового дистанционного комплекса «Поиск» позволили установить механизм природного образования подземных питьевых и геотермальных вод вблизи магматических очагов потухших вулканов.

На основе проведенных исследований предложен способ очистки (захоронения) от радиоактивных вод низкой и средней активности в магматических очагах потухших вулканов, расположенных вдоль побережья открытых морей и океанов. При этом радиоактивные воды подаются в потоки соленых подземных вод, поступающих на охлаждение вулканических очагов, где вскипают, а радионуклиды остаются в рассолах и выбрасываются потоками подземных вод в океаны или открытые моря на значительные расстояния от берега (> 50 км).

Введение

Поиск и использование подземных пресных вод – одна из актуальных задач для стран, расположенных в засушливых регионах с пустынными и полупустынными почвами.

Из 31,3 млн км² (23,4 %) всей суши занимают почвы пустынь и полупустынь в трех поясах (тропический, субтропический, суббореальный), из них освоено к настоящему времени около 3 млн км² (9,7 %).

Водоемкость всего человеческого хозяйства в XX столетии увеличилась в 12 раз и достигла огромной величины - около 5000 км³/год.

Водохозяйственный потенциал ресурсов пресной воды оценивается в 2,5...2,8 млн км³/год, а современные доступные эксплуатационный запасы – в 42000 км³/год. Из них лишь 14000 км³/год составляют устойчивую часть речного стока и 2000 км³/год – маломинерализованные подземные воды (с концентрацией солей менее 1 г/л). Около 70 % мирового водопотребления приходится на сельское хозяйство, 13 % – на промышленность и 10 % – на коммунально-бытовые нужды.

В питьевом водоснабжении населения также в настоящее время все большее значение начинают приобретать подземные источники (на них основано водное хозяйство более 25 % городов мира, в том числе много крупных городов). Быстро растут индустрия очистки слабоминерализованных вод и их бутилирование.

Специалистами СНУЯЭиП выполнен ряд важных проектов по поиску подземных питьевых вод на засушливых территориях различных стран – Монголия, Кипр, Мавритания, ОАЭ, Турция, Иран, Украина (Крым) – с использованием аппаратуры дистанционного резонансно-тестового комплекса «Поиск» [1, 6].

В период этих работ были выявлены и подтверждены бурением крупные потоки подземных пресных вод [6 - 8]. Некоторые потоки имеют большую протяженность, пересекают территории пустынь (Сахара, Гоби, Аравийская пустыня) или территории нескольких смежных государств. Как правило, эти потоки затем впадают в моря, океаны на различных глубинах или выклиниваются в крупные пресные озера.

Естественно возникает вопрос, где формируются крупные потоки (шириной до нескольких километров) подземных пресных вод, залегающих в недрах засушливых районов и пустынь.

Постановка цели и задач научной работы

Целью данной работы являются изучение механизма образования подземных пресных вод вблизи очагов потухших вулканов и решение проблемы использования данного механизма для захоронения жидких отходов, содержащих радионуклиды и тяжелые металлы. Для этого загрязненные воды должны подаваться в потухшие очаги вулканов для очистки путем их испарения (кипения).

Для достижения поставленной цели анализируются первичные источники формирования крупных подземных питьевых вод и подземных потоков, определяются геологические характеристики залегания подземных водных горизонтов, схемы их движения и выклинивания. Рассматривается способ очистки (захоронения) загрязненных вод радионуклидами (низкой и средней активности) и тяжелыми металлами в магматических очагах потухших вулканов [2] путем уменьшения активности вод за счет кипения и разбавления под землей в потоках подземных соленых водах. В конечном счете – разбавленные воды сбрасываются в океаны или в открытые моря (с фоновыми значениями в них радионуклидов).

Методика и технические средства исследования

Для поиска скоплений подземных вод на больших территориях использовались методы геокосмической фоторазведки и резонансно-тестовый метод глубинного поиска и оконтуривания подземных вод с применением аппаратуры комплекса «Поиск» (разработка СНУЯЭиП).

Многочисленные результаты, полученные Н.И. Ковалевым, В.И. Гохом и другими сотрудниками с сотрудниками по поисковым геологическим работам с применением дистанционного геолографического комплекса «Поиск», изложены в целом ряде работ [4, 5].

Научные основы функционирования измерительного комплекса «Поиск» на основе методов квантовой радиофизики изложены в ряде монографий В.А. Пухлия, Ж.А. Пухлий и Н.И. Ковалева, например, в [1, 6].

Методика обнаружения скоплений подземных вод различной солености и различных типов пород с использованием аппаратуры этого комплекса утверждена Государственным головным институтом Минэнерго Украины – УкрНИПИпромтехнологии.

Технические характеристики комплекса позволяют дистанционно определить следующие геологические параметры залегания подземных вод на глубинах до 3000 м:

- глубины залегания горизонтов и границы контуров участков скоплений подземных вод;
- мощности водных горизонтов и тип пород водоносных коллекторов;
- концентрацию радионуклидов в воде;
- границы разломов, заполненных водой;
- направление миграции вод в горизонтальных потоках подземных вод;
- минерализацию подземных вод (пресная, слабоминерализованная, соленая);
- температуру подземных соленых и пресных вод до + 250 °С с шагом измерения температур + 3...5 °С;

– участки образования пара (кипение воды) под Землей, направление миграции пара по горизонтальным разломам или трещиноватым породам.

На участках территории обследования площадью 3600 км² (60 × 60 км) идентификация скопления подземных под предварительно выполнялась с помощью геокосмических средств. Затем проводились полевые работы по измерению необходимых геологических характеристик залегания подземных вод.

Работы выполнялись в период с 2006 по 2012 гг. и совмещались с работами по поиску подземных пресных вод в различных странах в соответствии с Госпрограммами по использованию пресных и геотермальных вод (Монголия, Украина (Крым), Мавритания, Иран), а также по заказам коммерческих фирм различных государств (Испания, Греция, Кипр, Турция, ОАЭ, Россия, Украина, Австралия и др.)

Результаты исследований

При исследовании территорий в южной части Украины были установлены 3 источника формирования подземных пресных вод вблизи магматических очагов (2 в Крыму и один вблизи г. Одесса). Наиболее детально были изучены 2 магматических очага в Крыму (№ 2 и № 3, рис. 1, 2).

Карта №1. Крупный магматический очаг №1 вблизи г. Одесса (Украина) и пути движения под землей, образованных пара и геотермальных вод

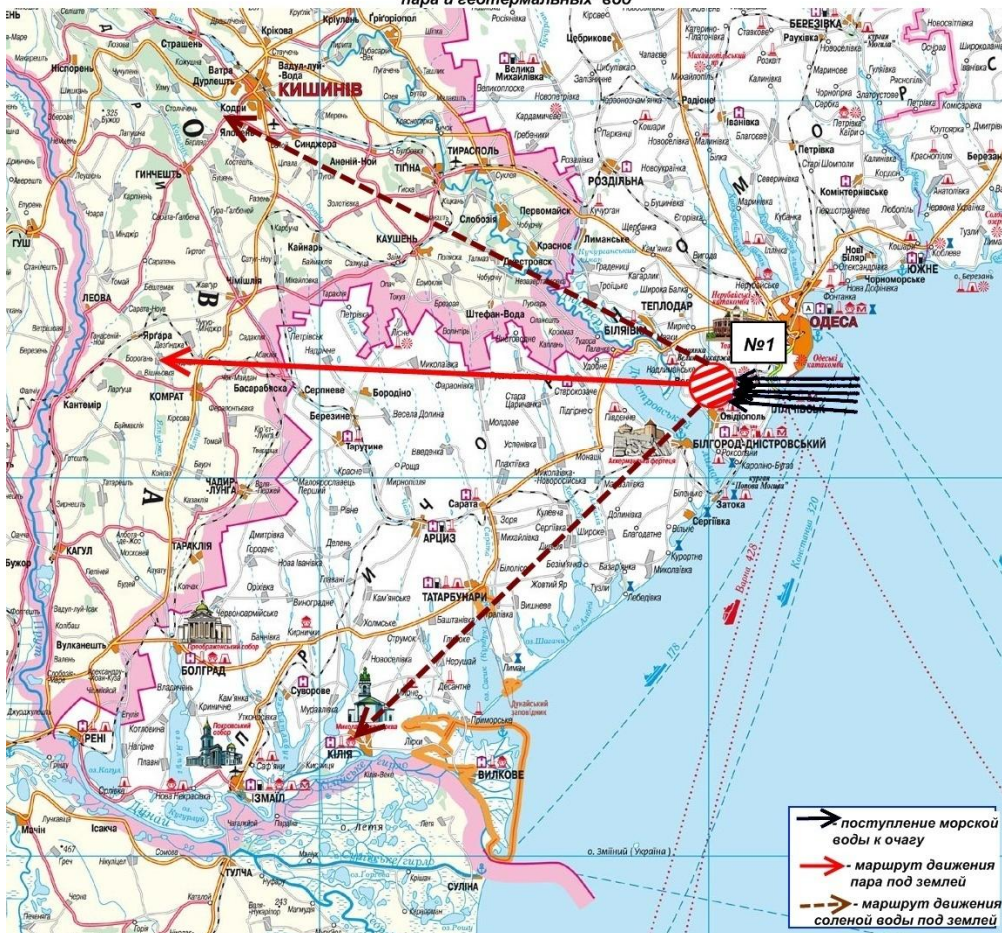


Рис. 1. Карта крупного магматического очага № 1 вблизи г. Одесса и пути движения под Землей образовавшихся пара и геотермальных вод

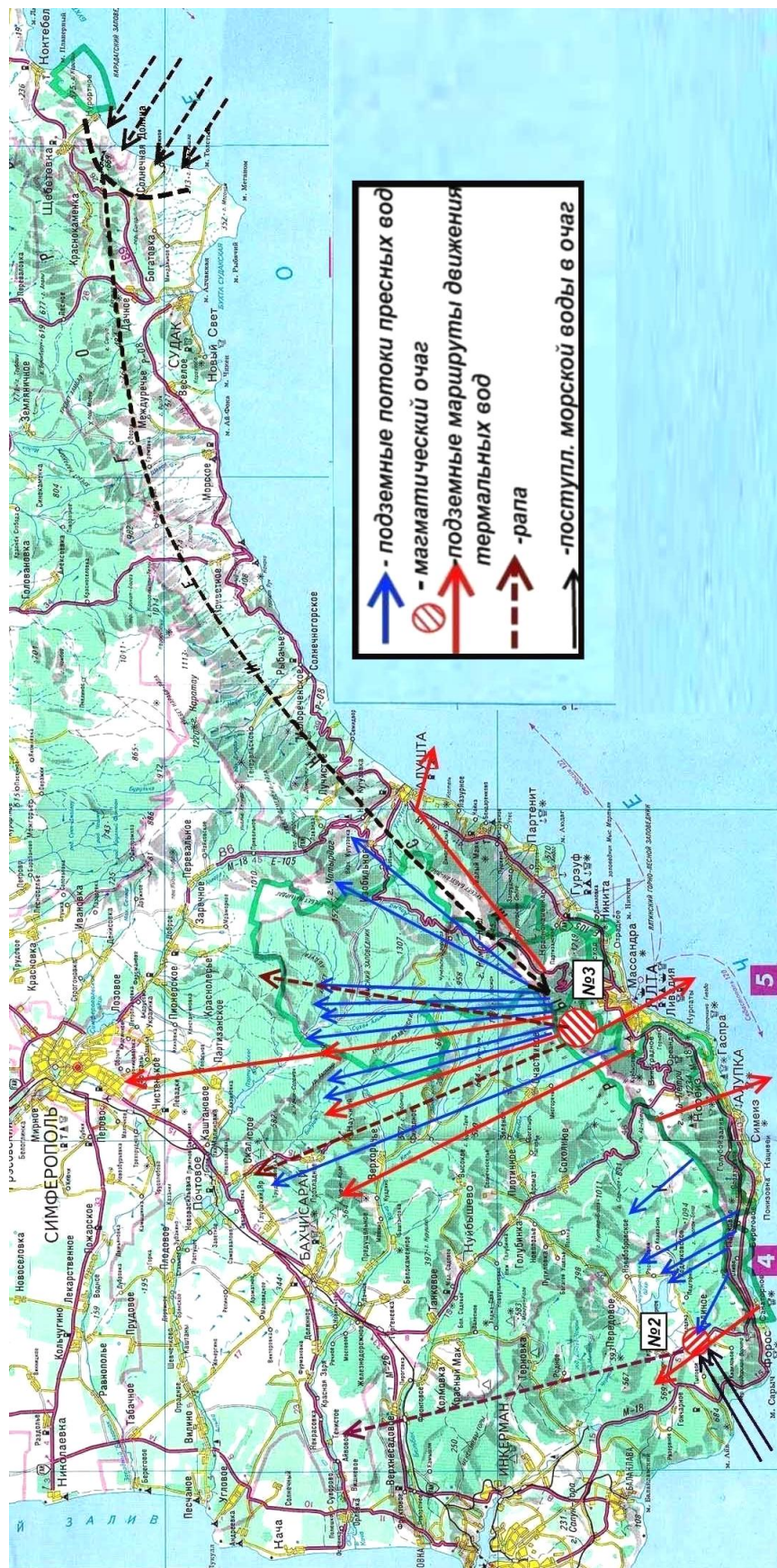


Рис. 2. Карта выявленных в Крыму очагов № 2 и № 3, в которых осуществляется непрерывное кипение поступающих соленых вод, с образованием конденсата в Ай-Петринской яйле (г. Ай-Петри) и пути движения подземных пресных геотермальных вод по территории Крыма

Было определено, что на высокотемпературную часть магматических очагов застывших вулканов [3] поступают очень широкие потоки морской воды из Черного моря. Морская вода дренируется по водопроницаемым породам и геологическим разломам с глубин моря 380...400 м. Ширина потоков морской воды составляет 7...15 км. Длина потоков достигает нескольких километров, а иногда сотен километров.

По мере движения потоки соленой воды постепенно углубляются и достигают высокотемпературной части магматических очагов на глубинах 970...1170 м от уровня моря (меньше 2000 м от поверхности Земли). Вода здесь вскипает.

Площади зоны подземного парообразования достигают в диаметре до 4...8 км и более. Избыточный напор воды в потоке морской воды достигает $\sim 30...40 \text{ кг/см}^2$. Пар под избыточным давлением и с температурой в зоне кипения $T = + 100...200 \text{ }^\circ\text{C}$ поднимается вверх по георазломам (выше уровня моря) на различные глубины, в зависимости от залегания трещиноватых водопроницаемых пород (трещиноватые известняки, карсты, крупнозернистые песчаники и др.), где охлаждается и конденсируется. На глубинах от поверхности земли примерно 930...1100 м образуются горячие геотермальные озера пресной воды с $T_{\text{в}} = 56...86 \text{ }^\circ\text{C}$. Избыточный напор на этих глубинах достигает $12...15 \text{ кг/см}^2$. На глубинах 380...400 м формируются озера пресной воды с температурой $T = + 25...30 \text{ }^\circ\text{C}$ и незначительным напором. По мере движения потоков подземных пресных вод по георазломам или по трещиноватым породам они охлаждаются до их температуры.

Наличие участка парообразования подтверждено бурением двух скважин в Ай-Петринской яйле ($H = 1000 \text{ м}$, в центре участка и у северной границы). Керны представляли собой породы из трещиноватых известняков с высокой влажностью и температурой более $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Буровые работы выполнены «Крымгеологией».

Установлено, что конденсация пара, образованного в очагах № 2 и № 3, происходит в горном районе (в Ай-Петринской яйле), а в крупном магматическом очаге № 1 (вблизи г. Одесса) пар, не встречая горных хребтов, движется по проницаемым породам или по крупным георазломам на глубинах $\sim 1,0 \text{ км}$ до Карпатских гор, в которых происходят подъем пара по георазломам и его интенсивная конденсация. Здесь и образуются многочисленные подземные озера. Из этих озер формируются потоки подземных вод, расходящихся от подножья гор в разные стороны на глубинах более 140 м. Самый крупный поток проходит восточнее г. Золычев, а затем пересекает территорию Украины и выклинивается в Ладожское озеро на территории России.

Подземные потоки пресных вод Крыма, сформированные в подземных озерах Ай-Петринской Яйлы, расходятся также в разные стороны по георазломам. Эти потоки пересекают территорию Крыма (200...300 км), а затем впадают в Черное и Азовское моря на различных глубинах (180...400 м) и удалениях от берега 1...15 км.

Выклинки крупных потоков подземных пресных вод в Черном море подтверждены исследованиями академика НАН Украины Шнюкова Е.Ф. (с помощью глубоководного аппарата «Омар»). Ширина их при выклинках в море составляла от 100 м до 60...80 м, а мощности горизонтов подземных потоков достигали 20...40 м (рис. 2).

По отдельным георазломам на больших глубинах (2...2,5 км) от очагов кипения морской воды фиксируются потоки горячих соленых вод с температурой более $95 \text{ }^\circ\text{C}$ (рапа). Потоки подземных геотермальных пресных вод в Крыму подтверждены в трех потоках бурением четырех скважин (на глубинах 980...1100 м), а питьевых вод - бурением более 80 скважин.

Аналогичный механизм формирования подземных пресных вод обнаружен на территории России (северная часть – магматические очаги № 15-Р, 16-Р и на Дальнем Востоке – магматический очаг № 17-Р) (табл.)

Т а б л и ц а

Результаты исследования источников образования подземных вод вблизи магматических очагов потухших вулканов

№ п/п	Номер обследуемого магматического очага и его местонахождение	Результаты измерения геологических характеристик залегающим обнаруженных подземных вод			Наличие скважин в потоках пресных вод	Состав пресных вод по результатам бурения
		3	4	5		
1	№ 1, вблизи г. Одесса (Украина)	1. Ширина потока > 10 км, забор воды из Черного моря. 2. Мощность горизонта $\Delta h = 130$ м	1. Поток пара – ширина – 4 км, простирается до Карпатских гор. 2. Мощность парового горизонта $\Delta h_{п} \sim 150$ м	Множество потоков в районе Карпатских гор, максимальный поток шириной 4 км достигает Ладожского озера	Восточнее г. Золычев (Украина) (> 10 скв.)	Питьевые, без очистки
2	№ 2, Крым (Украина) у п. Орлиное	1. Ширина потока ~ 5 км, забор воды из Черного моря, 2. Мощность горизонта $\Delta h \approx 100$ м	1. Крупный поток геотерм. пресн. вод из Айпетринской яйлы (зап. часть). 2. $\Delta h = 80$ м. $H_b = 1000$ м	1. Многочисленные мелкие потоки пресных вод на глубине $H = 380 \dots 400$ м. 2. Мощность горизонта $45 \dots 60$ м	> 15 скв. пресных вод на глубинах до 400 м 2. скв. геотерм. пресных вод	Питьевые без очистки, геотермальные пресные – без очистки
3	№ 3, Крым (Украина)	1. Ширина потока ~ 7 км, забор из Черного моря 2. Мощ. горизонта $\Delta h \approx 60$ м	1. Многочислен геотерм. пресн. воды на глуб. $H = 980 \dots 1100$ м 2. Геотерм. солен. воды на глуб. $H = 2500$ м	1. Многочислен. потоки пресных вод на глубине $H = 380 \dots 450$ м 2. Мощ. горизонта $\Delta h \approx 20 \dots 50$ м	> 80 скв. пресн. вод и 4 скв. геотерм. вод 1 скв. – геотерм. мал. соленая вода	Питьевые и геотермальные ($T = +86$ °C) пресные, без очистки, соленые $T = +52$ °C на расстоянии 70 км от очага
4	№ 4-А, зап. часть вблизи г. Джералдтон, Австралия	1. Ширина потока ~ 5 км, забор воды из Индийского океана. 2. Мощность горизонта $\Delta h \approx 80$ м	1. Геотерм. соленые воды на глубинах $H = 2000$ м	1. Три потока по геологическим трещинам, впадают в океан на севере, юге и западе Австралии. 2. Шир. потоков от 200 м до 20 м, глубина залег. $H = 120 \dots 140$ м	4 скв. пресных вод	Питьевые, без очистки

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7
5	№ 5-Б, зап. часть Бразилии	1. Ширина потока > 12 км, забор воды из Тих. океана	1. Геотерм.солен. потоки глубина залегания Н > 2300 м	Многоч. потоки пресных вод на глубинах Н > 160 м	Нет данных	–
6	№ 6-М, юго-зап. часть Мавритании (Африка)	1. Ширина потока > 3 км, забор воды из Атл. океана	1. Геотермальные соленые воды на глубине Н > 2000 м	Пресная вода 3-потока, глубины залегания Н = 70...128 м	1 скв., пресн. вод, самоизлив	Питьевые, без очистки
7	№ 7-Н, центр. часть Намибии (Африка)	1. Ширина потока > 10 км, забор воды из Атл. океана	Геотермальные соленые воды на Н > 2300 м	Многочислен. потоки пресн. вод, гл. зал. Н > 180 м	Нет данных	–
8	№ 8-Е север. часть Египта (Африка)	1. Ширина потока > 8 км, забор воды из Сред. моря	Геотермальные соленые воды на Н > 2500 м	Многочислен. потоки пресн. вод, на глуб. зал. Н > 200 м	> 10 скв. пресных вод	Питьевые, без очистки
9	№ 9-МЗ, север. часть Мозамбик (Африка)	1. Шир. потока > 10 км, забор воды из Мозамб. пролива (Инд. океан)	Геотермальные соленые воды на гл. Н > 2300 м	Многочислен. потоки пресн. вод, глуб. зал. Н > 150 м	Нет данных	–
10	№ 10-И, юго-вост. часть Испании (Европа)	1. Ширина потока > 7 км, забор воды из Сред. моря	Геотермальные соленые воды на Н > 2500 м	Многочислен. потоки пресн. вод, 5 крупных на глуб. Н > 180 м	1. Известные 6 скваж. пресн. вод, 2. 3 скв. засолен. вод	Питьевые, без очистки. Засоленные потоки с сод. солей > 1,5 г/л
11	№ 11-МК, юго-вост. часть Македонии (Европа)	1. Ширина потока > 8 км, забор из Сред. моря	Геотермальные соленые воды на Н > 2500 м	Крупный поток на глуб. залегания Н = 440...470 м, крупные потоки пересекают Турцию и Иран (Н = 120...180 м)	Σ 20 скв. пресных вод на территориях Турции и Ирана	Питьевые без очистки
12	№ 12-С, Сирия (Аравийский полуостров)	1. Ширина потока > 10 км, забор воды из Сред. моря	Геотермальные соленые воды на Н > 2000 м	Многочисленные потоки на глуб. залегания Н = 100...160 м	> 50 скв. пресн. вод	Питьевые без очистки

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6	7
13	№ 13-И, юг Ирана	1. Ширина потока > 8 км, забор воды из Персидского залива	Геотермальные соленые воды на $H_1 \approx 2000$ м и $H_2 > 3000$ м	Крупные поток пресных вод на глубинах $H = 280...350$ м	> 5 скважин (на тер. ОАЭ, за- вод по бутили- рованию и очи- стке от H_2S)	Питьевые с очи- сткой от H_2S
14	№ 14-И, сев. Ирана (Ср. Азия)	1. Ширина потока > 12 км, забор воды из Касп. моря	Геотермальные соленые воды на $H > 2000$ м	3 потока пресных вод на глубинах 180...240 м	> 20 скв. пре- сных вод на тер. Ирана	Питьевые без очистки
15	№ 15-Р, северо- зап. часть Рос- сии (Коми)	1. Ширина потока > 8 км, забор воды из Баренцева моря	Несколько потоков сол. вод $H > 2500$ м	Многочислен. потоки пресных $H \approx 230$ м, крупный поток доходит до Азовского моря (че- рез Алдай)	Известны 4 скважины пре- сных вод	Питьевые
16	№ 16-Р, север- ная часть Рос- сии (Якутия)	1. Ширина потока > 10 км, забор воды из моря Лаптевых	Несколько потоков сол. вод $H > 2400$ м	Несколько потоков пре- сных вод $H_B = 270...320$ м	Нет данных	—
17	№ 17-Р, Даль- ний Восток (Россия)	1. Ширина потока > 10 км, забор воды из Охотского моря	Несколько потоков геотер- мальных соленых вод $H > 2500$ м	1. Многочисл. потоки и один крупный выкли- нивается в оз. Байкал. 2. Глубина залегания пресных вод 300...370 м	> 100 скв. пре- сных вод в Монголии, на глубинах 160...320 м (пробурены в период работ 6 скв. пресных вод в Южной Гоби)	Питьевая, без очистки

Однако пар в очагах № 15-Р и № 16-Р конденсируется на незначительных расстояниях от зоны парообразования из-за очень холодных пород.

В пустынях конденсация пара происходит в близлежащих возвышенностях или в трещиноватых породах (карсты, известняки), но на глубинах 250...320 м (Мавритания, Иран и др. страны).

Во всех случаях потоки подземных вод либо сбрасываются снова через несколько сот и даже тысяч километров в моря и океаны (Россия, Монголия, Китай) на определенных глубинах и расстояниях от береговой линии, либо выклиниваются в озера. Как правило, в этих местах отмечаются повышенные уловы морских и пресноводных рыб.

От магматического очага № 15-Р (Коми, Россия) крупный поток подземных питьевых вод подпитывает (выклинивается) Онежское озеро, проходит западнее Москвы (ведется с него добыча питьевой воды с $H = 280...300$ м высокого качества), затем питает Валдайскую возвышенность, где берут начало крупные реки Волга, Зап. Двина, Днепр. Затем подземный поток пресных вод высокого качества еще продолжает идти в южном направлении и выклинивается на северо-западе Азовского моря на глубинах 4...5 м. К этой зоне сброса пресных вод в Азовском море стремятся на нерест многие морские и пресноводные рыбы, которых в Азовском море более 50 видов.

Нет смысла доказывать, какую серьезную экологическую угрозу будут представлять для рыб потоки подземных пресных вод, впадающих в озера или моря, если они окажутся загрязнены токсичными веществами или засолены за счет нарушения технологии проведения поисковых буровых работ.

Подобный механизм образования подземных вод в магматических очагах затухших вулканов подтвержден в остальных 11 обследованных магматических очагах (рис. 3), расположенных на территории Южной Америки, Африки, Европы, Аравийского полуострова и в Австралии. Во всех случаях подземные питьевые воды, образованные в магматических очагах, оказались высокого качества, пригодные для питья и для бутилирования.

В магматический очаг № 6-М (Мавритания), расположенный на побережье Атлантического океана, морская вода поступает по подземному потоку на расстояние нескольких сот километров от него, затем в очаге испаряется, а пар поступает под землей на сотни километров (350...370 км) и конденсируется на пересечении границ трех государств: Мавритании, Алжира и Мали. Здесь образуются озера, из которых подземные потоки пресных вод расходятся в трех направлениях (на юг, восток и юго-запад). Один поток выклинивается снова в Атлантический океан, а два других – в Средиземное море, преодолев расстояние > 2000 км.

В магматический очаг № 11 М-К (Македония) морская вода поступает из Средиземного моря, а сформированный подземный поток пресных вод проходит под дном Средиземного моря и пересекает под Землей территории трех стран: Турции, Ирана и Пакистана, а затем выклинивается в Аравийское море на глубине 150 м.

В магматический очаг № 14-И (север Ирана) морская вода поступает из Каспийского моря (Туркменистан) шириной потока более 12 км, а сформированные пресные воды двумя потоками в южном направлении пересекают под Землей территорию Ирана и выклинивается в Аравийское море, а один поток движется в северном направлении, который пересекает под Землей территории Ирана, Туркменистана, Узбекистана и выклинивается в Аральское море.

В магматический очаг № 17-Р (Дальний Восток, Россия) морская вода поступает из Охотского моря по подземному потоку шириной более 10 км. Сформированный крупный подземный поток перемещает пресные воды на запад, пересекает Читинскую область и выклинивается в оз. Байкал на глубине 300...370 м. От данного потока в юж-

ном направлении ответвляются еще два потока, один из этих потоков (западный) пересекает под землей территории Забайкалья (Россия), Монголия (в т.ч. южное Гоби) и Китая, а затем выклинивается в Южно-Китайское море. Второй поток (восточный) пересекает под землей территорию Китая и выклинивается в Желтое море.



Рис. 3. Карта подземных потоков морской воды, поступающих к магматическим очагам

По пути движения крупных потоков пресных вод происходит из разветвление на более мелкие, что обеспечивает подземными водами значительные площади. Но если загрязнить техногенными токсичными веществами основной поток, то практически огромная территория может оказаться с загрязненными подземными водами (в Греции из пяти потоков пресных вод три засолены при проведении нефтегазоразведки).

Это требует не только рационального использования подземных пресных вод крупных потоков, но и разработку международных документов, регламентирующих защиту этих потоков вод высокого качества от техногенных загрязнений, а также от засолений при проведении разведочного бурения на больших глубинах.

Исходя из результатов проведенных экспериментальных работ [6 - 8] и теоретических исследований [1, 6], можно обосновать следующий механизм образования подземных пресных вод высокого качества вблизи магматических очагов потухших вулканов [2, 3] за счет испарения морской воды, поступающей к очагу, с последующей конденсацией пара в охлажденных трещиноватых породах. Из образованных озер пресные воды истекают под Землей по георазломам на большие расстояния и выклиниваются снова в моря, океаны или озера. Геологические характеристики залегания выявленных подземных пресных и соленых вод, их качественные показатели представлены в таблице. Данные подтверждены бурением скважин и отбором проб.

Принципиальная схема механизма образования подземных пресных вод вблизи магматических очагов вулканов приведена на рис. 4.

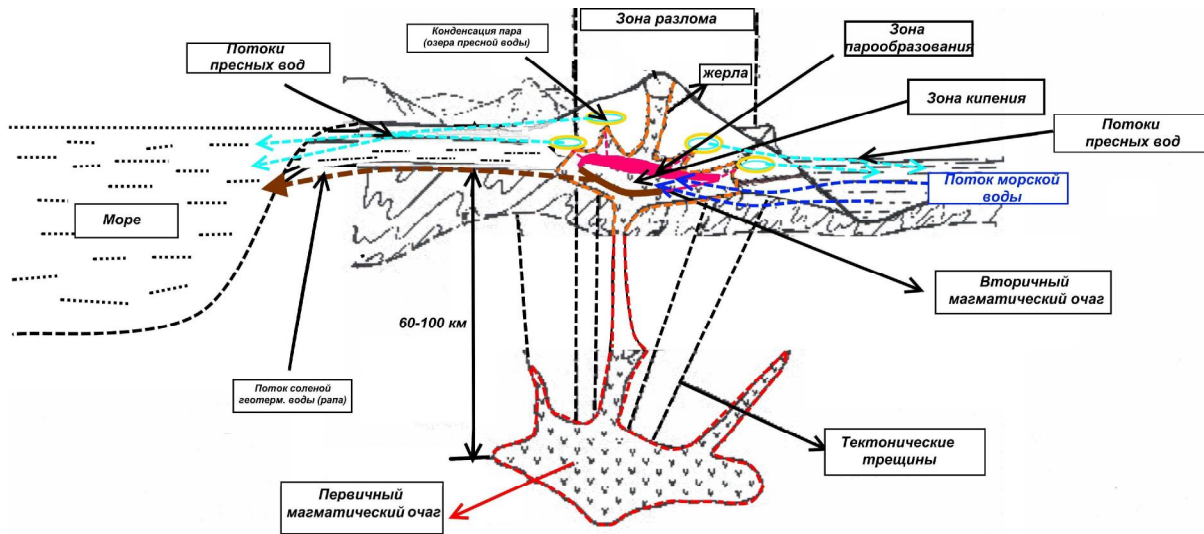


Рис. 4. Принципиальная схема механизма образования подземных пресных вод вблизи магматических очагов вулканов

Способ очистки загрязненных вод радионуклидов и тяжелых металлов в магматических очагах потухших вулканов

Предложен способ очистки (захоронения) загрязненных вод радионуклидами (низкой и средней активности) и тяжелыми металлами в магматических очагах потухших вулканов [3], расположенных вдоль побережья открытых морей и океанов. Данный физический способ очистки заключается в том, что загрязненные воды через пробуренные скважины подаются на глубины порядка 2 км, в подземный природный поток соленых вод, поступающих к вторичному очагу потухшего вулкана, где происходит их кипение. Перед кипением концентрация радионуклидов и тяжелых металлов разбавляется в сотни раз.

Пресная вода, образованная в очаге кипения, поднимается на глубины $H = 400 \dots 850$ м, где конденсируется и образует озера пресных вод.

Концентрации радионуклидов и тяжелых металлов в паре при этом уменьшается более чем в 10000 раз. Основная масса радионуклидов и тяжелых металлов остается в образующемся горячем рассоле. По мере движения горячего рассола и его остывания радионуклиды (Sr, Cs, Co) и остальные менее активные радионуклиды частично оседают (замещаются нерадиоактивными элементами) на породах, залегающих на глубинах порядка 2000 м и более. При этом концентрация радиоактивных элементов в рассоле продолжает уменьшаться.

В дальнейшем оставшаяся смесь радионуклидов и тяжелых металлов вместе с рассолом сбрасываются в открытые моря и океаны по подземным геологическим разломам на большие расстояния от береговой черты, где еще более их концентрация разбавляется.

Следует особо подчеркнуть, что концентрации радионуклидов и тяжелых металлов в сбрасываемых в океаны водах окончательно оказывается в миллионы раз ниже, чем в исходных растворах.

Принимая во внимание тот факт, что объемы поступающей соленой воды к очагам вулканов составляют десятки миллионов тонн в месяц, возможно регулировать объемы сбрасываемых загрязненных вод, не превышая долей ПДК в момент сброса воды в океаны ($< 110^{-11}$ Ки/л), то есть сброс радионуклидов осуществлять с их фоновыми значениями концентраций в окружающей среде.

Для выбора участка под бурение скважин используется высокоэффективная аппаратура дистанционного резонансно-тестового комплекса «Поиск» [1, 6], разработанная в СНУЯЭиП и позволяющая дистанционно обнаруживать потоки подземных питьевых и соленых вод, залегающих на глубинах до 3000 м, а также контролировать концентрации радионуклидов на всем пути движения потоков подземных вод. Дополнительно могут использоваться контрольные скважины для отбора проб сбрасываемых вод на конечном пути потока к сбросу.

Таким образом, потоки соленых вод, поступающих к вулканическому очагу, участок кипения воды, границы и расстояния потоков отходящих рассолов, а также глубины их сброса в открытые моря и океаны будут строго контролироваться и выбираться перед закачкой загрязненных вод с учетом того, чтобы концентрация токсичных веществ при их сбросе не могла превышать ПДК в окружающей среде.

Пример расчета. На основании вышеизложенного проводились расчеты.

1. Расчет объема поступающей соленой воды в магматический очаг:

- ширина потока ($L = 12000$ м);
- мощность горизонта ($\Delta h = 50$ м);
- избыточное давление в горизонте – 40 кгс/см²;
- водопроницаемость пород ($0,1$ % – взята минимальная);
- t , ч – время поступления потока воды.

$$W_{H_2O} = h \cdot \Delta h \cdot n \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot t = 6 \cdot 10^4 \text{ м}^3 (6 \cdot 10^4 \cdot 24 \text{ час}) = 144 \cdot 10^4 \text{ т/сут} = \\ = 1,44 \cdot 10^6 \text{ Т} \approx 1,4 \text{ млн т.}$$

2. Объем поступления загрязненных вод для сброса в течение рабочего времени (6 часов в сутки) с концентрацией радионуклидов $c = 1 \cdot 10^{-5}$ Ки/л (средняя активность).

Возможность подачи воды через 1 скважину в течение одного часа

$$10 \text{ л/с} \cdot 3600 = 36\,000 \text{ л} = 36 \text{ т/ч.}$$

За 6 ч через 1 скважину можно закачать порядка 216 т, а через 10 скважин – 2160 т (43 железнодорожные цистерны объемом по 50 т).

3. Скважины можно разместить на расстоянии 1000 м друг от друга и на расстоянии нескольких километров от очага кипения, что позволит выполнить разбавление удаляемых вод не менее чем в 1000 раз (за счет смешения с соленой водой перед кипением). Концентрация составит $c = 1 \cdot 10^{-5} \times 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-8}$ Ки/л.

4. Снижение концентрации вредных веществ за счет кипения $K = 1 \cdot 10^{-4}$ раз.

Таким образом, общее снижение концентрации радионуклидов и тяжелых металлов после кипения произойдет в десятки миллионов раз (с учетом разбавления) и составит $C = 1 \cdot 10^{-8} \times 10^{-4} = 1 \cdot 10^{-12}$ Ки/л.

5. При истекании сбрасываемой соленой воды (рапы) на расстоянии более 50 км от берега и на глубинах не менее 600 м будет происходить мгновенное разбавление еще не менее чем в 100 раз.

Таким образом, общее снижение концентрации сбрасываемых вод может составить в $K = 10^9$ раз, то есть более чем в миллиард раз. Конечная концентрация радионуклидов составит $C = 1 \cdot 10^{-14}$ Ки/л.

Следовательно, при сбросе концентрация радионуклидов будет составлять значительно меньше ПДК (ПДК $C_s = 1 \cdot 10^{-11}$ Ки/л), то есть составляет около 0,001 ПДК. У остальных радионуклидов ПДК значительно выше, чем у C_s , то есть их концентрации на сбросе будут составлять $C_{sr} = 0,0001$ ПДК (т.е. фоновые значения).

Выводы

1. Проведенные исследования с помощью геокосмических средств поиска подземных вод и с использованием полевой аппаратуры резонансно-тестового дистанционного комплекса «Поиск» [1, 6] позволили установить один из механизмов природного образования подземных питьевых и геотермальных вод вблизи магматических очагов потухших вулканов [2, 3], расположенных на побережье морей и океанов.

Механизм образования этих вод состоит в том, что морская вода по тектоническим трещинам (разломам) и трещиноватым породам поступает к вторичному магматическому очагу на глубины 2000 м, где она вскипает. Образованный пар под давлением поступает по тектоническим трещинам к более верхним охлажденным водопроницаемым породам (на глубинах 400...1000 м), конденсируется и образует подземные озера, из которых затем истекают по георазломам потоки пресной воды. Из нижней части зоны парообразования по тектоническим трещинам истекает соленая геотермальная вода на глубинах 2000...2500 м от поверхности земли. Окончательно пресные и геотермальные воды выклиниваются на определенных глубинах в моря, океаны или в озера.

2. Данные источники образования подземных пресных вод следует внести в общий баланс круговорота воды на планете и отнести к устойчивым, возобновленным ресурсам пресных вод, которые могут активно использоваться для сельскохозяйственных нужд и в качестве источников питьевого водоснабжения городов.

3. На основе проведенных исследований предложен способ очистки (захоронения) радиоактивных вод (низкой и средней активности) или загрязненных вод тяжелыми металлами в магматических очагах потухших вулканов [2, 3], расположенных вдоль побережья открытых морей и океанов.

ПРО МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ПІСНИХ ВОД ПОБЛИЗУ МАГМАТИЧНИХ ВОГНИЩ ЗГАСЛИХ ВУЛКАНІВ І ВИКОРИСТАННЯ ЙОГО ДЛЯ ЗАХОРОНЕННЯ РІДКИХ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ

М.І. Ковальов, В.О. Гох, В.О. Пухлій

Проведені дослідження за допомогою геокосмічних засобів пошуку підземних вод і польової апаратури резонансно-тестового дистанційного комплексу «Пошук» дали можливість визначити механізм природного утворення підземних питних і геотермальних вод поблизу магматичних вогнищ згаслих вулканів.

На їх основі запропоновано засіб очистки стічних вод від радіонуклідів низької і середньої активності та важких металів у магматичних вогнищах згаслих вулканів, розташованих вздовж узбережжя відкритих морів та океанів. При цьому радіоактивні води подаються в потоки солоних підземних вод, що надходять на охолодження вулканічних вогнищ, де закипають, а радіонукліди залишаються в розсолах і викидаються потоками підземних вод в океани або відкриті моря на значні відстані від берега (>50 км).

**ABOUT the MECHANISM of FRESH WATERS UNDERGROUND FORMATION
near the EXTINCT VOLCANOES MAGMATIC CENTERS and its USE
for the LIQUID RADIOACTIVE WASTE BURIAL PLACE**

N. Kovalev, V. Goh, V. Puhly

The traced researches with the help of geocosmic means for the underground waters exploration activity and field equipment of the resonant-test remote complex "Search" enabled to ascertain the underground potable and geothermal waters natural formation mechanism near the magnetic centres of extinct volcanoes.

On their basis the method of waste water purification from radio nuclides of the low and average activity and from heavy metals in the magmatic centres of the extinct volcanoes located along the sea-way and oceans coast was suggested. The radioactive waters is incoming here in the salt underground water flows for the volcanic centres cooling, where they begin to boil, but radio nuclides remain in brines and are discharged by underground waters flows into oceans or the sea-way in the offing (> 50 км).

Список использованных источников

1. Пухлий В.А. Применение дистанционного комплекса зондирования Земли «Поиск» для поиска и разведки полезных ископаемых / В.А. Пухлий, Ж.А. Пухлий, Н.И. Ковалев // Резонансы в физике. Теория и применения в технике: учеб. пособие. – Севастополь: Черкасский ЦНТЭИ, 2012. – С. 437 – 456.
2. Тазиев Г. Вулканы: пер. с франц. / Г. Тазиев. – М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963. – 118 с.
3. Вулканы Керченско-Таманской области: атлас / Под ред. Е.Ф. Шнюкова. – К.: Наукова думка, 1986. – 149 с.
4. Ковалев Н.И. Использование геологического комплекса «Поиск» для обнаружения различных полезных ископаемых и определение путей миграции радионуклидов и токсичных веществ из хвостохранилищ предприятий ЯТЦ / Н.И. Ковалев [и др.] // Экология и атомная энергетика. - 2009. – Вып. 1. – С. 64 - 67.
5. Ковалев Н.И. Использование дистанционного геологического комплекса «Поиск» для обнаружения и оконтуривания углеводородных месторождений / Н.И. Ковалев [и др.] // Геоинформатика. - 2009. – № 3. – С. 83 - 87.
6. Пухлий В.А. Применение дистанционного геологического комплекса зондирования Земли «Поиск» для прямого определения углеводородных и полиметаллических месторождений, а также подземных вод / В.А. Пухлий, Ж.А. Пухлий, Н.И. Ковалев // Ядерный магнитный резонанс. Теория и приложения: учеб. пособие. – Севастополь: Черкасский ЦНТЭИ, 2010. – С. 610 - 640.
7. Ковалев Н.И. Использование геологического комплекса «Поиск» для обнаружения различных полезных ископаемых и определение путей миграции радионуклидов токсичных веществ из хвостохранилищ предприятий ЯТЦ / Н.И. Ковалев, В.А. Гох, А.М. Акимов // Экология и атомная энергетика. – К., 2009. – С. 64 – 67.
8. Ковалев Н.И. Алсын удирдлагин арчаар ашихт маоималын хайгуул хийх ажлын ур дунгийн унэлгээ / Н.И. Ковалев // Scientific transaction. – Ulanbaator: Mongolian university of science and technology, 2009. - P. 187 – 192.

Надійшла до редакції 28.05.2013 р.