

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СВЕРХГЛУБОКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН УСКОРЕННОЙ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ И УГЛЕВОДОРОДОВ

© Е.А. Яковлев, 2011

*Институт телекоммуникации и глобального информационного пространства, Киев, Украина*

Given in the article are the results of geoinformation analyses of ultradeep boreholes data. The received data are based on a complex analyses of the results of geophysical, geomechanical, geochemical, geofiltration and other investigations of the ultra-deep boreholes within Russia, Ukraine, Germany and other countries. Determined geoinformation parameters of the deep zones in crystal rock are effective for the development of new models of hydrocarbon migration in the deep layers of crystal rocks; for the reliable assessment of crystal rocks protective ability for the final disposal of high level and long living radioactive wastes.

**Keywords:** mass-energetic balance, deep flows, anthropogenic-geological system, uprising gas liquid flows, thermobaric depth factors.

**Общие положения.** Значительные различия массо-энергетического баланса между глубинными и приповерхностными (зона проявления инфильтрационных процессов) горизонтами кристаллических пород обуславливают необходимость оценки их влияния на геодинамические и фильтрационные параметры породного массива.

Выполненный анализ изменений упруговолновых параметров кристаллических пород на площади участков исследований (Толстый Лес, Вереснянский Коростенского плутона Украинского щита) и геолого-геофизических данных разрезов сверхглубоких скважин (СГС), пробуренных в пределах различных массивов кристаллических пород (Россия, Украина, Германия, США и др.) позволили установить факторы наличия устойчивых гидрогеофильтрационных структур [1–3]:

- 1) вертикальную и горизонтальную делимость массива кристаллических пород блоковыми системами трещиноватости (повышенной пористости и проницаемости);
- 2) повышенную устойчивость дренирующего влияния крутопадающих разломов (дислокаций), в первую очередь унаследованных гидрографической сетью или отрицательными формами рельефа;
- 3) формирование зоны водотеплообмена между нисходящим инфильтрационным и восходящим глубинными потоками (до глубины 1,0–1,2 км в условиях равнинного рельефа), параметры которых зависят от геодинамических, структурно-геологических, гидрографических и других факторов.

По оценкам академика НАН Украины В.М. Шестопалова, для условий Украинского

щита оптимальные глубины шахтного захоронения радиоактивных отходов составляют 0,80–1,5, скважинного – 4,0–5,0 км [1, 9].

Так как техногенно-геологическая система (ТГС) “скважинное хранилище высокоактивных и долгоживущих радиоактивных отходов (ВДРАО)–геологическая среда” при технической глубине формирования 4,0–4,5 км охватывает зоны нисходящих и восходящих потоков флюидов кристаллических пород, то очевидно, что для замедления миграции радионуклидов к поверхности и биосфере шахтный и, особенно, скважинный полигоны захоронения ВДРАО должны характеризоваться максимальными гипсометрическими положениями поверхности и глубинами уровней подземных вод зоны активного водообмена (глубина в условиях Украинского щита 150–300 м).

Поскольку наибольшей активностью водообмена и интенсивностью взаимодействия поверхностных и подземных вод характеризуются прирусловые зоны рек, то для размещения скважинных полигонов захоронения ВДРАО перспективны водораздельные участки, максимально удаленные от рек высокого порядка (рис. 1).

Таким образом, ТГС “скважинное хранилище ВДРАО–геологическая среда” целесообразно рассматривать как комплексную гидрогеофильтрационную модель, состоящую из двух областей фильтрации:

- глубинной, характеризующейся субвертикальной восходящей миграцией газо-жидкостных потоков (вследствие действия термобарических глубинных факторов) и постепенным переходом в кровельной части в латеральную мигра-

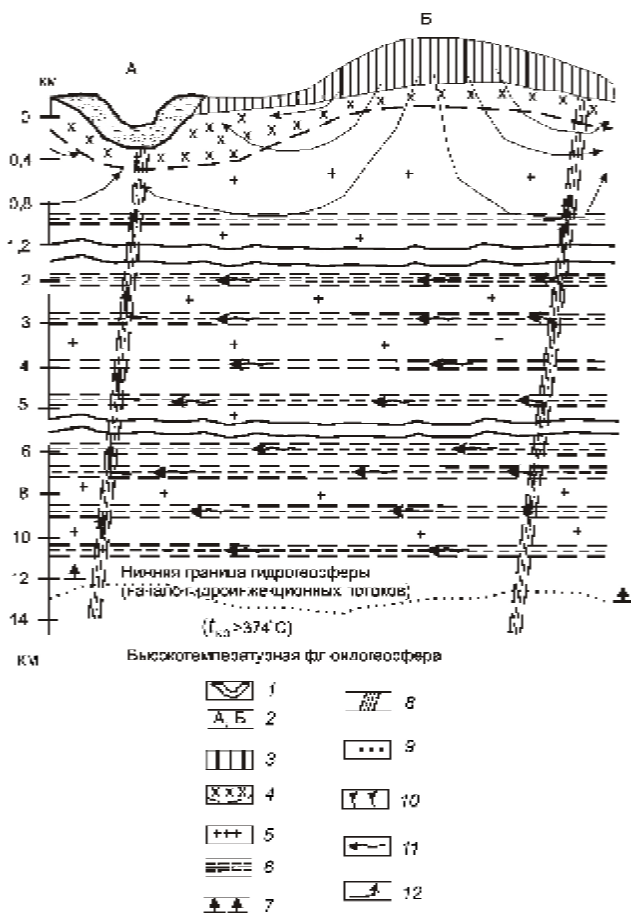


Рис. 1. Принципиальная схема формирования потоков глубинных флюидов и зон повышенной проницаемости глубоких горизонтов кристаллических пород: 1 – речная долина; 2 – области восходящей разгрузки (А) и инфильтрационного питания (В); 3 – покровный комплекс осадочных пород; 4 – зона развития трещиноватости выветривания кристаллических пород; 5 – комплекс кристаллических пород; 6 – зоны растяжения с образованием трещин расслоения (на основании данных бурения сверхглубоких скважин на разных континентах); 7 – граница формирования дефекта геологического пространства; 8 – субвертикальные флюидосодержащие тектонические каналы; 9 – граница высокотемпературной флюидосферы; пути движения глубинных флюидов: 10 – по тектоническим каналам, 11 – по зонам трещин расслоения; 12 – зоны взаимодействия латеральных и радиальных потоков глубинных флюидов

цию по мере приближения к областям с пониженными пьезометрическими отметками или к зонам дренирующего влияния рек высокого порядка;

- приповерхностной, связанной преимущественно с зоной активного водообмена, где преобладают влияние гравитации и нисходящее движение метеорных вод с переходом в латеральные потоки в границах местных водосборов, ограниченных системой водораздел-река.

В соответствии изложенным, в зоне взаимодействия указанных потоков подземных вод можно предполагать формирование некоторой переходной гидрогеофильтрационной структуры, имеющей площадное развитие и связанной с ква-

зиравновесным баротермоводообменом глубинных и инфильтрационных вод.

Согласно геоинформационному анализу геофизических, газогеохимических, гидрогеофильтрационных и других параметров СГС [2, 5, 9], строительство скважинного полигона захоронения ВДРАО может вызвать большие нарушения равновесного баротермоводообмена инфильтрационного и глубинного потоков. Поэтому целесообразно выполнение крупномасштабного гидрогеолого-геофизического моделирования прискважинной зоны.

**Анализ связи фильтрационной и геодинамической структуры массива кристаллических пород в зоне влияния полигона захоронения ВДРАО.** Из анализа геолого-геофизических разрезов следует, что толщи как осадочных, так и кристаллических пород формируются под преобладающим влиянием гравитационных сил, отражающихся в степени дисперсности, распределении плотности, пористости и других свойств породного массива. Принято считать, что это влияние проявляется до глубин, на которых развит высокотемпературный метаморфизм, и определяющими факторами служат минералогические, газогеохимические, геодинамические параметры.

Однако, как показали геофизические исследования и бурение СГС в массивах кристаллических пород, изменение пористости с глубиной происходит со значительной неравномерностью, хотя по региональным оценкам в диапазоне глубин 0–10 км общее уменьшение пористости составляет 20–30%. Результаты геолого-геофизического моделирования свидетельствуют о том, что наибольший градиент изменения пористости наблюдается на глубине 0–3 км, а глубже ее уменьшение существенно замедляется (рис. 2, табл. 1, 2).

Установленная по данным сравнительного анализа геолого-геофизических разрезов СГС различных стран горизонтальная зональность плотности, пористости, проницаемости и других петрофизических свойств кристаллических пород позволяет выделить систему горизонтальных дренажных зон, связанных с уменьшением объема пород после понижения их температуры до критической ( $t = 374^\circ\text{C}$  и менее), с которой в связи с конденсацией воды начинается формирование гидрогеофильтрационного потока.

Ориентировочная глубина  $Z_k$  данной зоны в границах исследуемой площади (участки Толстый Лес и Вереснянский) с учетом регионального геотермического градиента  $\alpha_t^0 \approx 0,03 \div 0,025^\circ\text{C}/\text{м}$  составит

$$Z_k \approx \frac{t_k^0}{\alpha_t^0} \approx \frac{374}{(0,03 \div 0,025)} \approx 12 - 15 \text{ км}.$$

Согласно современным геодинамическим построениям с учетом результатов глобального изу-

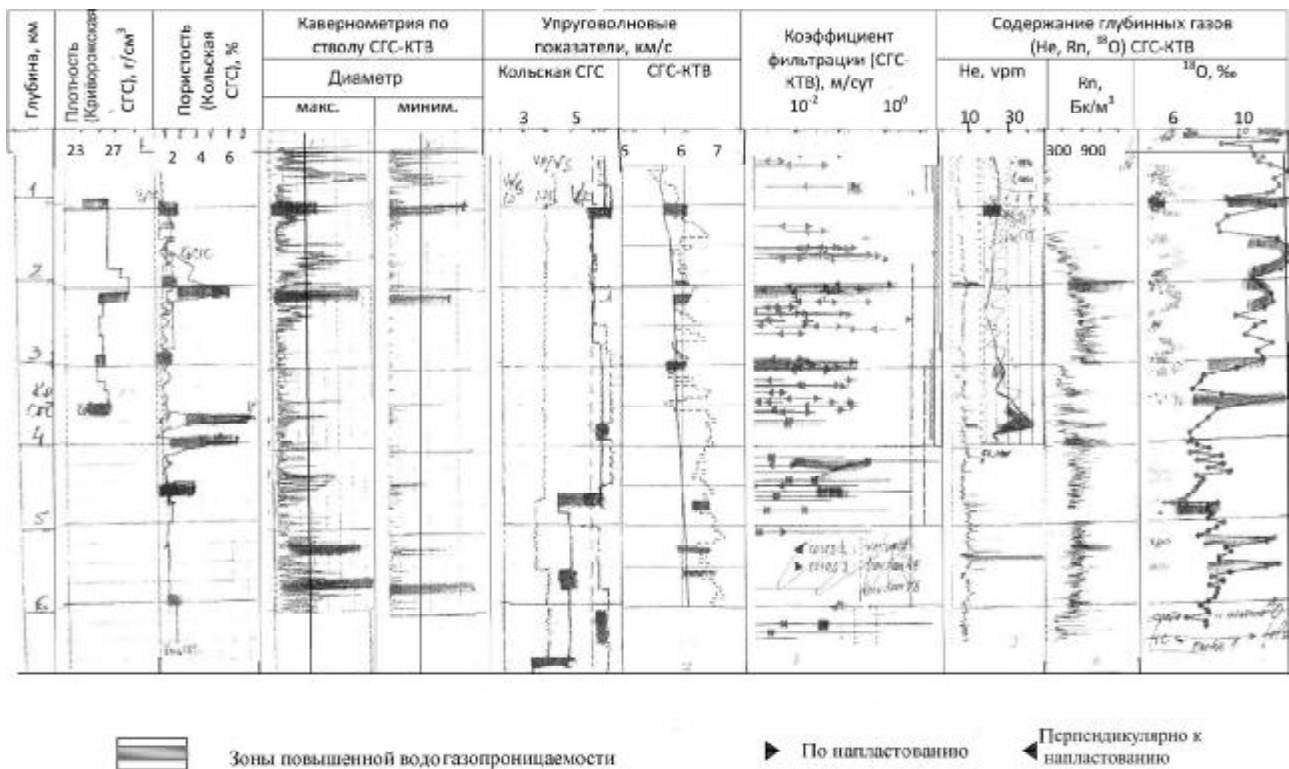


Рис. 2. Изменение с глубиной физико-механических, упруговолновых и газогеохимических параметров кристаллических пород, по данным сверхглубоких скважин (СГС – Кольская, Криворожская, Германская КТВ)

Таблица 1. Оценка проявления и устойчивости зон понижения плотности и повышения проницаемости кристаллических пород по совокупности геолого-геофизических показателей по стволу сверхглубоких скважин (СГС – Кольская, Криворожская, Германская КТВ, Уральская)

Интервал глубин понижения плотности (повышения проницаемости), м	Обобщенные показатели свойств пород								
	Физико-механические		Механическая стойкость	Упруго- волновые	Электро- магнитные	Фильтра- ционные	Газогео- химиче- ские	Теплофизи- ческие	Акустиче- ские
	плот- ность	пори- стость							
0–500 (700)	+++	+++	+++	+++	+++	+++	–	+++	–
900–1100	+++	++	+++	++	+	++	+(+)	+(+)	++
1800–2200	+++	+++	+++	++(+)	+++	+++	+++	+(+)	+++
2700–3100	++	+	+	++(+)	+	+++	+	++	++(+)
3800–4000	+(+)	+++	++	+(+)	–	+	++(+)	–	+
4600–4900	+++	++	+(+)	++	++	++	+(+)	нс	нс
5700–6000	++	+	++(+)	+(+)	+	нс	+	нс	нс
6600–6900	++	+	нс	+(+)	нс	нс	+	нс	нс

Примечание. Величина превышения фонового показателя (раз): “+” – до 1,5; “++” – от 1,5 до 3,0; “+++” – более 3; нс – нет сведений; “–” – не определялась.

Таблица 2. Изменение физико-механических упруговолновых и газогеохимических параметров кристаллических пород по данным сверхглубоких скважин (СГС – Кольская, Криворожская, Германская КТВ)

Глубина, км	Виды параметров							
	Физико-механические		Упруговолновые		Фильтра- ционные	Газогеохимические по отношению к фону		
	уменьшение плотности, г/см <sup>3</sup>	увеличение пористости, %	уменьшение скорости распространения волн, км/с		увеличение проницае- мости, м/сут	He	Rn	<sup>18</sup> O
продольных			поперечных					
1,0	0,25	1,0	0,4	0,3	1,0	Фон	Фон	2,5
2,0	–	1,0	0,5	0,2	До 0,1	2	2	2,5
3,0	0,20	3,0	0,5	0,2	0,5		3	2
4,0	0,15	4,0	0,4	0,2	0,2	2,5	3,5	2
5,0	–	2,0	0,3	0,2	0,2	3	3	1,6
6,0	–	–	0,5	0,2	–	5	2	1,8
7,0	–	–	–	–	–		3	

чения гидрогеодеформационных полей (Е.В. Артюшков, М.А. Беэр, С.В. Соболев, А.Л. Яншин, 1982, Г.С. Вартамян, Г.В. Куликов, 1982, 1999 и др.), в зону глубинной гидросферы поступают практически остатки летучих и жидких продуктов зоны высокотемпературного метаморфизма, содержащие воду, гелий, углеводороды, радон и другие газы; при этом отделение флюидов, по имеющимся данным, может составлять до 8 % исходной породообразующей массы [2, 6, 8, 9].

С учетом формирования нижней границы гидрогеосферы и последующего проявления вертикальной цикличности зон горизонтального разуплотнения кристаллических пород, характеризующихся, по данным СГС, повышенной пористостью и проницаемостью (см. табл. 1), представляется возможным ориентировочно оценить их связь с уменьшением объема пород (“дефект геологического пространства”, по Е.В. Артюшкову) и возникающими при этом напряжениями растяжения [2–3, 10, 11].

В соответствии с принятой практикой [1, 4, 5, 11], под “дефектом геологического пространства” нами понимается уменьшение объема породы после перехода флюидной составляющей через температуру 374 °С и последующего ее выноса из глубоких горизонтов недр к поверхности.

По данным геолого-геофизических исследований процессов вулканизма и глубоких океанических впадин установлено, что формирование “дефекта геологического пространства” приводит к развитию гравитационной просадки вышележащих горизонтов. При этом имеют место, с одной стороны, медленная компенсация уменьшения объема породной массы на глубинах менее 15,0 км и питание глубинного гидрогеофильтрационного потока до зоны влияния инфильтрационных (метеорных) вод, с дру-

гой – формирование зоны затрудненного водообмена [4, 7, 8–16].

В связи с этим гидрогеофильтрационное сопряжение горизонтальных зон разуплотнения и тектонических субвертикальных межблоковых структур позволяет рассматривать последние в виде радиальных дренажей, способствующих перераспределению гидрогеомеханических давлений в системе подземной гидросферы:

$$P_{\text{геост}} = P_{\text{ск}} + P_{\text{в}},$$

где  $P_{\text{геост}}$  – геостатическое давление пород;  $P_{\text{ск}}$  – напряжение в минеральном скелете водонасыщенных пород;  $P_{\text{в}}$  – давление жидкости (флюида) в поровом пространстве проницаемой зоны.

Развитие восходящих дренирующих потоков, формирующих своего рода термобарогеофильтрационную систему возможно при условии, что до глубины проникновения инфильтрационных вод соблюдается следующее условие:  $P_{\text{геост}} < P_{\text{ск}} + P_{\text{в}}$ .

Данные баротермических полей сверхглубоких скважин позволяют утверждать, что в интервале глубин от 15 до 1,2–1,5 км гравитационное нисходящее движение подземных вод подавлено гидрогеотермальными восходящими потоками, в которых градиенты температур и давлений направлены от глубинных зон породного массива к зоне активного водообмена и земной поверхности [8–10].

Исследования глобального развития глубинной флюидосферы (Е.В. Артюшков, Л.В. Подгорных, 1997; Г.С. Вартамян, 1994–1999) и связанных с ней восходящих потоков свидетельствуют об их существенных пространственно-временных вариациях, формирующих гидрогеодеформационные поля и геодинамический режим массивов кристаллических пород. Практически с данными параметрами связана, по нашим оценкам, герме-

тичность глубоких горизонтов кристаллических пород, так как напряженное состояние системы минеральный скелет–флюид может определять меру проницаемости горизонтальных зон разуплотнения и субвертикальных тектонических межблоковых структур. Учитывая, что показатели пористости горизонтальных зон разуплотнения изменяются с глубиной незначительно (Кольская, Уральская, Германская СГС и др.), можно допустить, что их максимальное раскрытие достигается при следующем условии:  $P_b \geq P_{\text{геост}}$ .

Этим самым обеспечивается восстановление фильтрационной способности системы горизонтальных и субвертикальных флюидосодержащих зон и относительной устойчивости потока в них, способствующих ускоренной передаче геодинамических термобарических напряжений, проявляющихся ниже границ изотермы 374 °С.

**Оценка условий развития латеральных (горизонтальных) зон разуплотнения кристаллических пород и их роли в формировании геофильтрационной системы глубоких горизонтов.** Одним из наиболее убедительных свидетельств трансструктурного развития горизонтальных зон разуплотнения кристаллических пород до глубин 7–12 км является наличие широкого спектра циклически сходных данных различных СГС (повышенная пористость, проницаемость, газоносность, затухание волн и др.).

С учетом имеющихся данных СГС об изменении пористости кристаллических пород с глубиной представляет интерес сравнительная оценка объемов подземных вод, содержащихся в зонах монолитных и разуплотненных кристаллических пород [3, 5–9].

В соответствии с результатами плотностного зонирования геологического разреза, принимаем следующие значения суммарной мощности и средней пористости монолитных ( $m_{\phi}$  и  $n_{\phi}$ ) и разуплотненных ( $m_{\text{рз}}$  и  $n_{\text{рз}}$ ) разностей кристаллических пород для площади исследований в интервале глубин 1,5–7,5 км:

- 1) для монолитных (фоновых) пород соответственно  $m_{\phi} \approx 4000$  м и  $n_{\phi} \approx 0,005$  (0,5 %);
- 2) для разуплотненных пород соответственно  $m_{\text{рз}} \approx 2000$  м и  $n_{\text{рз}} \approx 0,025$  (2,5%).

С учетом соотношения указанных параметров монолитных и разуплотненных разностей кристаллических пород, принятых на основе их распределения в разрезе многочисленных СГС, объемы подземных вод глубинной зоны гидрогеофильтрации составляют:

- в монолитных разностях

$$V_{\phi} \approx m_{\phi} \cdot n_{\phi} = 4000 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \approx 20 \text{ м}^3/\text{м}^2;$$

- в породах зон разуплотнения

$$V_{\text{рз}} \approx m_{\text{рз}} \cdot n_{\text{рз}} = 2000 \cdot 2,5 \cdot 10^{-2} \approx 50 \text{ м}^3/\text{м}^2.$$

Согласно данным геолого-геофизических и структурно-геологических разрезов, допускаем, что с учетом выполненных расчетов в зоне кристаллических пород с глубины 12–15 км и выше формируется целостная гидрогеофильтрационная система, нижняя граница которой коррелируется с изотермой 374 °С и термобарическим режимом геологической среды.

При этом данные геодинамических разрезов указывают на возможную изменчивость термобарического режима породного массива на глубинах 4–12 км, что может обусловить существенные вариации глубин изотермы 374 °С.

Исходя из положения преобладающего распространения глубинных потоков подземных вод в зонах разуплотнения кристаллических пород, характеризующихся повышенными значениями пористости и проницаемости, эти зоны играют определяющую роль в латеральном перераспределении флюидов до дренажных зон, приуроченных к субвертикальным тектоническим структурам. В то же время связь глубинной гидрогеофильтрации (1,5–15 км) с участками геодинамических напряжений способствует замедленному снижению с глубиной фильтрационных параметров латеральных зон разуплотнения кристаллических пород.

Ввиду относительной неопределенности петрофизических (прочность сжатия, растяжения и др.) и фильтрационных (проницаемость пород, вязкость флюидов и др.) параметров системы минеральный скелет–флюид оценка гидрогеохимических условий развития зон разуплотнения нами выполнена из предположения их связи с предельной величиной прочности пород на растяжение.

Предполагается, что начиная с глубины формирования изотермы 374 °С и выше по разрезу в результате конденсации воды, формирования “дефекта геологического пространства” и проявления растягивающих усилий будет иметь место гравитационная просадка отдельных слоев пород. С учетом того что данный процесс происходит в условиях действия сил гравитации и водонасыщения пород, ориентировочную мощность слоя просадки можно определить из предпосылки равенства прочности растяжения  $[\sigma_p]$  и растягивающего напряжения  $\sigma_p$  от веса слоя кристаллических пород плотностью  $\gamma$  и толщиной  $M_{\text{кр}}$ .

При этом результатом развития горизонтальных зон разуплотнения и их водонасыщения совместно с субвертикальными межблоковыми дислокациями будут постепенное формирование восходящего дренажа глубинных флюидов и проявление взвешивающего действия воды, при котором увеличивается  $M_{\text{кр}}$ .

Таким образом, ориентировочный расчет толщины слоя и проседания (отрыва) может быть выполнен для двух схем:

- “чистого” гравитационного растяжения массива кристаллических пород (без учета взвешивающего действия воды в первый момент ее образования):

$$[\sigma_p] \approx M_{кр} \cdot \gamma,$$

откуда

$$M_{кр} \approx \frac{[\sigma_p]}{\gamma} \approx \frac{[(28,8 \div 8,4) \text{ МПа}] \cdot 10^6 \text{ Н/м}}{2,7 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2} \approx 1000 \div 310 \text{ м};$$

- гравитационного растяжения в условиях действия взвешивающего эффекта воды, влияние которого скорее можно связать с реализацией трещинообразования в зонах с минимальной прочностью растяжения или формированием верхней границы водопроводящих трещин:

$$M_{кр} \approx \frac{[\sigma_p]_{\min}}{(\gamma-1)} \approx \frac{8,4 \cdot 10^6 \text{ Н/м}^2}{(2,7-1,0) \cdot 10^4 \text{ Н/м}^3} \approx 500 \text{ м}.$$

Приведенные расчеты мощности слоя пород, вес которого в условиях формирования зон разуплотнения способен превысить прочность пород на растяжение, близки к данным СГС:

- 1) фактическая мощность слоя пород между зонами разуплотнения в интервале глубин 1,5–7,5 км составляет 500–800 м;
- 2) суммарная мощность серии разуплотненных и подстилающих монокристаллических пород изменяется от 900 до 1100 м.

Таким образом, глубинная область гидрогеофильтрационного потока в кристаллических породах, расположенная между изотермой 374 °С и нижней границей проникновения инфильтрационных вод, характеризуется следующими особенностями, требующими учета при обосновании граничных условий геофильтрационной модели ТГС “скважинное хранилище ВДРАО – геологическая среда”, а также при интерпретации данных сейсмогеофизических исследований и построении геолого-геофизических моделей глубоких горизонтов кристаллических пород:

- 1) реализация наряду с латеральной восходящей разгрузки глубинных вод, имеющей повышенные значения напоров, которые могут проявляться в местах сопряжения субвертикальных и горизонтальных зон повышенной проницаемости;
- 2) преобладающее содержание воды в горизонтальных зонах разуплотнения, имеющих к тому же повышенную проницаемость, обуславливает повышение их защитной способности от влияния ТГС “скважинное хранилище ВДРАО–геологическая среда”;
- 3) изменчивость напряженного состояния пород с учетом вариаций их геодинамического режима (циклы напряжений и сжатий) в пределах различных участков, которые могут влиять на

взаимодействие глубинного и инфильтрационного потоков подземных вод в кристаллических породах. Анализ свидетельствует, что в этом случае определяющим фактором является разность напоров на границе глубинного и инфильтрационного потоков, что важно учитывать при выборе участка кристаллического массива для шахтного захоронения ВДРАО.

Выявление по данным СГС флюидогеодинамической системы глубоких горизонтов кристаллических пород позволяет говорить о возможности заметного влияния флюидонасыщенных разуплотненных зон на сейсмическую проводимость среды. Особый интерес в этом отношении представляет прохождение техногенных сейсмических волн через зоны с повышенным флюидонасыщением, так как преобладание горизонтальной миграции в них радионуклидов ведет к резкому снижению их вертикальных скоростей перемещения и росту защитной способности глубоких горизонтов кристаллических пород.

В целом изложенные данные свидетельствуют, что тесная связь глубинного гидрогеофильтрационного потока (1,5–15,0 км) с геодинамическим режимом породного массива, а его структурно-тектонического плана – с прочностью и тепловым режимом пород и другими параметрами может способствовать формированию в прискважинной зоне ТГС “скважинное хранилище ВДРАО–геологическая среда” дренажного потока сложной конфигурации и гидрогеофильтрационного режима.

В связи с этим должны обязательно предусматриваться:

- комплексный анализ данных сейсмоакустических геофизических исследований кристаллических пород на предмет выявления устойчивости и регулярности развития в них зон повышенной пористости и проницаемости;
- увязка спектральных частотных характеристик импульсов сейсмоакустических колебаний в процессе геолого-геофизических исследований с распределением зон разуплотнения кристаллических пород и их упруговолновыми свойствами;
- разработка гидрогеолого-геофизических моделей участков скважинного и шахтного полигонов захоронения ВДРАО и оценка защитной способности кристаллических пород в местах нарушения их гидрогеомеханического равновесия и гидравлической связи зон различных глубин, в том числе на границах с нефтегазонасыщенными горизонтами бассейнов осадочных пород (Днепровско-Донецкая впадина, Предкарпатский прогиб и др.).

Приведенные оценки связи геодинамического режима и проницаемости глубоких горизонтов кристаллических пород являются предварительными, учитывающими основные механизмы пото-

ков глубинных флюидов и инфильтрационного потока подземных вод.

Территориальная представительность использованных данных геолого-геофизических, геодинамических, гидрогеологических и других исследований, имеющих преимущественно региональный уровень (масштаб 1 : 200 000 – 1 : 500 000), значительно ограничили детальность анализа функционирования гидрогеофильтрационной системы глубоких горизонтов кристаллических пород. Вместе с тем предприняты оценки функциональных связей физико-механических, водно-физических, геодинамических, термобарических и других параметров кристаллических пород могут способствовать усовершенствованию гидрогеофильтрационной модели площади расположения полигона захоронения ВДРАО и повышению целенаправленности дальнейших исследований на участках Украинского щита зоны отчуждения ЧАЭС, перспективных для скважинного или шахтного захоронения высокоактивных и долгоживущих радиоактивных отходов.

Выполненный по данным СГС геоинформационный анализ параметров глубоких горизонтов кристаллических пород позволяет сделать вывод о значительной универсальности флюидогеодинамических зон, которые формируются в них. В связи с этим, на наш взгляд, установленные механизмы формирования флюидогеодинамических зон могут представлять интерес для выявления участков потенциального скопления углеводородов, в том числе на границе с бассейнами осадочных пород (Украинский щит и Днепровско-Донецкая впадина, Карпатский массив и Предкарпатье и др.)

1. Хаин В.Е. Роль сверхглубокого бурения в изучении земной коры // Сов. геология. – 1991. – № 8. – С. 7–10.

2. Смирнов Я.Б., Кононов В.И. Геотермические исследования и сверхглубокое бурение // Там же. – 1991. – № 8. – С. 25–37.
3. Курлов Н.С., Касабов В.В., Белевцев Р.Я. и др. Основные результаты бурения Криворожской глубокой скважины // Там же. – 1991. – № 8. – С. 69–80.
4. Вартамян Г.С. Флюидосфера и эндодренажные системы Земли как ведущие факторы геологической эволюции // Отечеств. геология. – 2000. – № 6. – С. 14–22.
5. Bram K., Draxter J.K. et al. KTB report 87-93 (Germany). – 1987–1993.
6. Project report NGB 85-09/ Nuclear Waste management in Switzerland feasibility studies and safety analyses. – Viena, Austria. – 1985. – 400 p.
7. Report YJT-92-32. E. Final disposal of spent nuclear fuel in the Finnish bedrock. – Nuclear Waste Commission of Finnish Power Companies, 1992.
8. Swedish Rock Engineering Research Foundation. BeFo (the Bolmen Tunnel Research Project). Final Report and Report – 92-97 (Bo Olofsson, Editor; Christer Svemar, Director Repository Technology). – Stockholm, 1998. – 230 p.
9. Шестопалов В.М., Руденко Ю.Ф., Шимків Л.М. та ін. Обґрунтування можливості ізоляції радіоактивних відходів в кристалічних породах Чорнобильської зони відчуження // Зб. наук. праць Ін-ту проблем природокористування та екології НАН України. – К., 2003. – Вип. 5. – С. 185–197.
10. Вартамян Г.С., Куликов Г.В. О глобальном гидрогеодеформационном поле Земли // Докл. АН СССР. – 1982. – Вып. 2. – С. 310–314.
11. Болт Б.А., Хорн У.Л., Макдоналд Г.А., Скотт Р.Ф. Геологические стихии. – М.: Мир, 1978. – 438 с.
12. Вистеллиус А.Б. Основы математической геологии. – Ленинград: Наука, 1980. – 388 с.
13. Файф, Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. – М.: Мир, 1981. – 436 с.
14. Патнис А., Мак-Конел Дж. Основные черты поведения минералов. – М.: Мир, 1983. – 304 с.
15. Вернадский В.И. Избранные сочинения. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – Т. 4. – 651 с.
16. Львович М.И. Вода и жизнь. – М.: Мысль, 1986. – 254 с.

Поступила в редакцию 22.07.2011 г.

Е.А. Яковлев

## ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СВЕРХГЛУБОКИХ СКВАЖИН ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН УСКОРЕННОЙ МИГРАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ И УГЛЕВОДОРОДОВ

В статье приведены результаты геоинформационного анализа данных сверхглубоких скважин. Полученные результаты базируются на комплексном анализе материалов геофизических, геомеханических, геофильтрационных и других исследований сверхглубоких скважин России, Украины, Германии и других стран. Установленные геоинформационные параметры глубоких зон кристаллических пород эффективны при решении следующих задач: разработка новых моделей миграции углеводородных соединений в глубоких горизонтах кристаллических пород; достоверная оценка защитной способности кристаллических пород при окончательном захоронении высокоактивных и долгоживущих радиоактивных отходов.

**Ключевые слова:** массоэнергетический баланс, глубинные потоки, техногенно-геологическая система, восходящие газово-жидкостные потоки, термобарические глубинные факторы.

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ НАДГЛИБОКИХ СВЕРДЛОВИН ДЛЯ ВИДІЛЕННЯ ЗОН ПРискореної міграції техногенних радіонуклідів і вуглеводнів

У статті наведено результати геоінформаційного аналізу даних надглибоких свердловин. Отримані результати ґрунтуються на комплексному аналізі матеріалів геофізичних, геомеханічних, геофільтраційних та інших досліджень надглибоких свердловин Росії, України, Німеччини та інших країн. Виявлені геоінформаційні параметри глибоких зон кристалічних порід є ефективними для вирішення таких завдань: розробка нових моделей міграції вуглеводневих сполук у глибоких горизонтах кристалічних порід; достовірна оцінка захисної здатності кристалічних порід для остаточного захоронення високоактивних і довгоіснуючих радіоактивних відходів.

**Ключові слова:** масоенергетичний баланс, глибинні потоки, техногенно-геологічна система, висхідні газово-рідинні потоки, термобаричні глибинні фактори.