

**ТРАНСФОРМАЦИЯ СИСТЕМ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПУНКТОВ  
ГЛУБИННОГО ЗАХОРОНЕНИЯ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ В ВИДУ АНАЛИЗА  
ПАРАМЕТРОВ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

**Адонин Н.Р.<sup>1</sup>, Алентьев Ю.Ю.<sup>2</sup>, Оманбоев Д.И.<sup>3</sup>, Кокорев О.Н.<sup>4</sup>**

Научные руководители: доцент Жилина Е.Н.<sup>3</sup>, профессор Лисёнков А.Б.<sup>2</sup>,  
профессор Языков Е.Г.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Северский технологический институт – филиал Национального исследовательского  
ядерного университета «МИФИ», Томская обл., г. Северск, Россия*

<sup>2</sup> *Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе,  
г. Москва, Россия*

<sup>3</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

<sup>4</sup> *Национальный оператор по обращению с радиоактивными отходами, филиал «Северский»,  
Томская обл., г. Северск, Россия*

<sup>5</sup> *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Существуют различные способы захоронения жидких радиоактивных отходов (ЖРО). Наиболее безопасным и вместе с тем экономически выгодным из всех – является захоронение ЖРО в изолированные пласты-коллекторы. Данный способ нашел применение на полигонах и пунктах глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов (ПГЗ ЖРО) в границах Северска, Димитровграда и Железногорска [3].

ПГЗ ЖРО относятся к классу сложных природно-техногенных систем. Повышенную безопасность глубинного захоронения обеспечивает система комплексного мониторинга, которая служит для предотвращения попадания в окружающую среду ЖРО, а в случае возникновения нештатных ситуаций – для оперативной ликвидации последствий. Как показывает опыт крупных техногенных аварий, наиболее быстрый и обширный перенос загрязняющих веществ в окружающей среде происходит через воду, а также за счет ветра. Поэтому в данной работе основное внимание будет уделено мониторингу «водного компонента» окружающей среды.

В рамках мониторинга состояния недр и подземных сооружений ПГЗ ЖРО для оценки попадания радиоактивных компонентов в смежные пласту-коллектору водоносные горизонты используются такие их параметры, как  $\alpha$ -,  $\beta$ -радиоактивность, а также концентрации урана, плутония, стронция, цезия, трития, однако контроль их в режиме настоящего времени затруднителен и проводится при лабораторных исследованиях. В результате теряется возможность оперативной реакции в случае загрязнения контролируемых водоносных горизонтов. Авторы настоящей работы, принимая в счет гидрохимические особенности техногенного раствора ЖРО, предлагают вести наблюдение за *косвенными* показателями загрязнения жидкости в буферных и вышележащих горизонтах, которые можно автоматически измерять в реальном времени [1]. В качестве косвенных показателей можно использовать такие параметры природно-техногенных систем, как *температуру, pH, минерализацию, жесткость, окисляемость и щелочность* пластовых вод: для всех существует техническая возможность (готовые приборные решения) их непрерывного автоматического контроля. При этом отклонения данных показателей от нормы могут служить основанием ко внеплановому отбору и анализу лабораторных проб.

Для оценки правомерности означенного подхода были проанализированы результаты химических проб пластовых вод из порядка 90 наблюдательных скважин на ПГЗ ЖРО северского филиала ФГУП «НПО РАО» за один из годов. Так, для всех перечисленных выше косвенных показателей за исключением температуры был выполнен расчет коэффициента линейной корреляции с суммарными  $\alpha$ -,  $\beta$ -радиоактивностью, концентрациями изотопов плутония и урана, радионуклидов стронция-90, цезия-137, радия-226, трития (таблица). Ячейки со значениями коэффициента корреляции окрашены в соответствии с качественной шкалой, приведенной ниже. Для адекватности корреляционного анализа сильно выбивающиеся из общего ряда точки данных были отброшены, однако при этом на фоне малых выборок учитывался фактор размаха значений, без чего в ряде случаев вообще нельзя было бы судить о корреляции. В связи с тем для интерпретации полученных результатов необходимо иметь в виду характер разброса точек данных в каждой паре параметров. Так, ряд зависимостей с наиболее высокими коэффициентами корреляции представлены на графиках с нормированием оси ординат по максимальным значениям (рисунок), а в таблице, кроме всего, для каждого показателя приведены мощность выборки, средние значения и квартили (под 0-й квартилью понимается минимальное значение). Стоит отметить, что пробы разнятся по анализируемому показателю и количеству пар «косвенный показатель – оцениваемый показатель» почти всегда меньше, чем значений показателей в отдельности.

Приведенные результаты подтверждают предположение о допустимости использования гидрогеохимических показателей при оценке загрязнения пластовых вод, однако очевидно, что анализировать их следует совокупно (от двух показателей и более) и использовать не столько для определения концентрации загрязняющих радионуклидов, сколько для обоснования внепланового отбора лабораторных проб. Окончательный вывод можно будет сделать после дополнительных исследований в данном направлении с кратным повышением мощности выборок и анализом зависимостей по каждой скважине в отдельности с учетом ее технологических и гидрогеологических особенностей.

В случае достаточного обоснования представленной гипотезы авторы настоящей работы предлагают провести постепенную модернизацию существующей режимной сети наблюдения по следующим направлениям:

1) оборудовать режимные скважины, пробуренные на пласты-коллекторы и буферные горизонты, автоматическими уровнемерами с датчиками температуры, pH, минерализации и окисляемости;

2) организовать непрерывный централизованный автоматизированный мониторинг измеряемых показателей.

Таблица

**Линейная корреляция предлагаемых косвенных показателей радиоактивного загрязнения водоносного горизонта с традиционными показателями**

| Квартили |      |      |      |      |                        |       |    | Косвенный показатель | Оцениваемый показатель | радиоактивность |       | концентрация радионуклидов |        |       |        |        |       |
|----------|------|------|------|------|------------------------|-------|----|----------------------|------------------------|-----------------|-------|----------------------------|--------|-------|--------|--------|-------|
| 4-я      | 3-я  | 2-я  | 1-я  | 0-я  | ед. изм.               | СРЕДН | N  |                      |                        | Σ β             | Σ α   | T                          | Cs-137 | Σ Pu  | Σ U    | Ra-226 | Sr-90 |
| 90       | 5,10 | 4,41 | 2,41 | 1,38 | °Ж                     | 7,88  | 93 | Жесткость            | 0,054                  | 0,405           | 0,761 | -0,729                     | 0,554  | 0,092 | 0,564  | -0,122 |       |
| 17.700   | 500  | 433  | 358  | 262  | мг/л                   | 1.425 | 92 | Минерализация        | 0,167                  | 0,698           | 0,769 | -0,613                     | 0,642  | 0,637 | 0,658  | -0,076 |       |
| 20,9     | 5,36 | 4,90 | 3,59 | 1,85 | мг-экв/л               | 5,01  | 92 | Щелочность           | 0,322                  | 0,233           | 0,121 | -0,104                     | 0,663  | 0,676 | 0,299  | 0,194  |       |
| 9,09     | 7,19 | 7,06 | 6,93 | 6,52 | ед.                    | 7,11  | 93 | pH                   | -0,071                 | 0,307           | 0,467 | 0,639                      | -0,091 | 0,560 | -0,019 | -0,157 |       |
| 5,40     | 3,13 | 2,48 | 1,80 | 0,63 | мг/л (O <sub>2</sub> ) | 2,48  | 92 | Окисляемость         | 0,237                  | 0,146           | 0,019 | -0,567                     | 0,549  | 0,302 | 0,306  | 0,372  |       |

| ЗНАЧЕНИЙ: | 91   |      | 90     | 9    | 20   | 14   | 18   | 25   |
|-----------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| СРЕДНЕЕ:  | 1,70 | 0,24 | 10.683 | 5,13 | 0,26 | 0,40 | 0,12 | 8,05 |

| Квартили | Бк/л |      |         |      |      |      |      |      |
|----------|------|------|---------|------|------|------|------|------|
| 0-я:     | 0,13 | 0,10 | 0,04    | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,01 |
| 1-я:     | 0,13 | 0,12 | 0,04    | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,01 |
| 2-я:     | 0,13 | 0,14 | 0,04    | 1,88 | 0,13 | 0,10 | 0,12 | 0,01 |
| 3-я:     | 0,27 | 0,16 | 120     | 4,40 | 0,37 | 0,17 | 0,13 | 0,40 |
| 4-я:     | 87,5 | 4,80 | 330.000 | 20   | 1,12 | 4,30 | 0,27 | 88   |

корреляция:

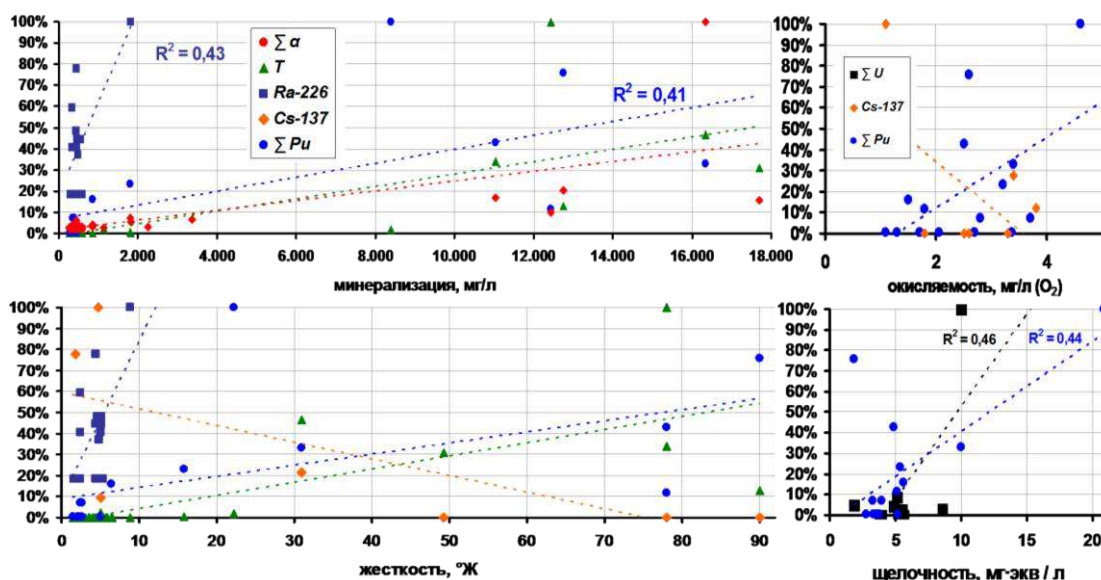
оч. сильная

сильная

средняя

слабая

оч. слабая



**Рис. Графики связи гидрогеохимических и радиохимических (радиофизических) показателей**

В связи с необходимостью комплексного анализа широкого набора параметров становится актуальным создание телеизмерительной информационной системы геоэкологического мониторинга (ТИИС ГЭМ) для выявления и предупреждения опасных техногенных процессов как в недрах, так и окружающей среде. Естественно положить, что такая система должна создать единое информационное поле и связующую сеть не только для мониторинга загрязнения пластовых вод, но и для гидродинамического мониторинга, операционного технологического контроля, наблюдений за климатом. Непрерывный совокупный анализ множества разнородных параметров и событий в автоматическом режиме позволит с высокой точностью и за короткий срок определять и прогнозировать различные нештатные ситуации, информируя об этом оперативный персонал. При любых затруднениях в оценке наличия аномального техногенного возмущения, в том числе на этапе отладки алгоритмов, система может обращать внимание специалистов на подозрительные ситуации (вплоть до отправки SMS на мобильный телефон) и учитывать приобретенный опыт в принятии дальнейших решений [2].

#### Литература

1. Белоусова А.П. Экологическая гидрогеология / Белоусова А.П., Гавич И.К., Лисенков А.Б., Попов Е.В. – М.: ИКЦ Академкнига, 2006. – 397 с.
2. Кокорев О.Н., Адонин Н.Р., Самарцев В.Н., Щипков А.А., Носков М.Д., Язиков Е.Г. Телеизмерительная информационная геоэкологического мониторинга состояния недр и подземных сооружений пунктов глубинного захоронения жидких радиоактивных отходов // Разведка и охрана недр. – 2023. – №4. – С. 16-21.
3. Рыбальченко А.И., Пименов М.К., Костин П.П. и др. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов. – М.:ИздАТ,1994.