

УДК 504.5.06:621.039.7

МНОГОЛЕТНИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА УЧАСТКЕ КОСШОКЫ, ИЗУЧАЕМОМ ДЛЯ ГЛУБИННОГО ХРАНЕНИЯ РАО

Марченко И.О., Пестов Е.Ю., Комлев А.В.

Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан

В статье представлены данные по многолетнему гидрогеологическому мониторингу на участке Косшоки, изучаемом для глубинного хранения радиоактивных отходов (РАО), обобщены результаты изучения гидрогеологических условий данной территории за 7 лет, оценены места размещения объекта, который может быть использован для изоляции РАО.

По результатам проведения работ построены карта-схема значений коэффициентов фильтрации, карта изогипс, получена оценка сезонного и временного изменения подземных вод.

ВВЕДЕНИЕ

Любое государство, имеющее намерение использовать ядерные энергетические установки для выработки электроэнергии, должно осознавать, что в процессе эксплуатации будут накапливаться высокоактивные РАО, которые необходимо будет утилизировать, и вероятнее всего, на своей территории. В этом отношении нужно подготовить несколько участков, готовых принять такие национальные хранилища.

Одним из важнейших параметров хранилища являются гидрогеологические условия разреза. Наилучшими условиями будет полное отсутствие подземных вод в разрезе хранилища. Но такие условия обеспечить достаточно сложно.

Гидрогеологические требования к площадкам изоляции РАО, согласно рекомендациям МАГАТЭ, заключаются в том, чтобы способствовать ограничению притока подземных вод в хранилище и поддерживать надежную изоляцию отходов на протяжении требуемого времени [1]. Особую опасность при несоблюдении этих требований представляют хранилища отработанного ядерного топлива (ОЯТ), где важными факторами риска являются разогрев зон хранения РАО и опасность проникновения в них подземных вод. С учетом этого, при выборе участка для объекта изоляции РАО, предпочтительными являются такие свойства горных пород, как низкая обводненность или слабая водообильность; высокая сорбционная емкость водовмещающих пород; низкая проницаемость; нисходящее движение потока подземных вод; значительная удаленность области разгрузки; весьма продолжительный период водообмена [2], быстрое затухание с глубиной влияния современных инфильтрационных вод.

Геохимические свойства геологической и гидрогеологической сред должны, согласно [3], способствовать ограничению миграции радионуклидов из размещенного оборудования в окружающую среду. Наиболее важным геохимическим свойством среды являются ее сорбционные способности, определяемые минеральным составом, поскольку различные радионуклиды предрасположены к сорбции на определенных минералах.

В случае обводнения разреза изучаются фильтрационные особенности пород, гравитационные и инерционные условия, скорость и направление движения подземных вод, гидродинамический состав которому можно прогнозировать барьерные свойства подземного бассейна в разных его участках. Подземные воды являются основным флюидом в коренных породах, которые транспортируют вещества в растворимом и взвешенном состоянии.

Наиболее приемлемыми являются монолитные кристаллические породы, в недрах которых на значительной глубине создается подземное хранилище. Глубина размещения 300–600 м, и более. Хранилище может иметь конструкцию штольни, или шахты со штреками, группы скважин большого диаметра.

В качестве одного из примеров изучения места изоляции РАО рассмотрен участок Косшоки на территории Семипалатинского испытательного полигона, на котором в течение нескольких лет ведутся исследования геологических условий, в том числе гидрогеологических, с целью оценки его потенциальной пригодности для создания хранилища радиоактивных отходов.

АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА В КАЗАХСТАНЕ

Развитие мировой атомной энергетики берет начало в СССР, с пуском в эксплуатацию в 1954 году в Обнинске первой в мире атомной электростанции мощностью всего 5 МВт. Во второй половине XX века происходил бурный рост строительства АЭС в развитых странах Европы и Америки, а также в Японии. На рубеже тысячелетий доля атомной энергии в общем балансе выработки электроэнергии в некоторых странах была весьма значительной, например, во Франции – около 75 %. В 2013 году на всех АЭС мира было выработано 2 359 тераватт-часов электроэнергии, что составило около 11 % от общего мирового объема.

Казахстан сегодня относится к категории стран, которые приняли решение о реализации ядерно-энергетической программы и активно создают необходимую инфраструктуру [4]. О необходимости строительства атомной электростанции в своих выступлениях неоднократно говорил Первый президент госу-

дарства. И для этого имеется необходимый потенциал. В 2009 году наша страна вышла на первое место по добыче урана в мире и продолжает прочно удерживать это лидерство. К тому же, по объемам разведанных запасов урана Казахстан занимает 2-е место: 12 %, или примерно 875 тыс. тонн от всех разведанных на планете его запасов сосредоточено в недрах РК. Большая часть этих запасов относится к бедным рудам, однако уникальный способ обработки месторождений методом подземного скважинного выщелачивания позволяет отечественной промышленности конкурировать по себестоимости добычи с богатыми по содержанию месторождениями Канады и Австралии. Кроме того, разработка месторождений, применяемая в Казахстане технология, по сравнению с традиционными горными способами, в значительной степени уменьшает вред, приносимый окружающей среде, в десятки раз уменьшая выделение радиоактивных веществ в атмосферу. Тем не менее, в Казахстане добыча урановой руды на рудниках и в открытых карьерах привела к накоплению значительных объемов отходов – в основном в форме загрязненных хвостов и отходов переработки, – отходы, полученные от подземного выщелачивания, собираются и складироваются для последующего захоронения [4].

Значительный рост атомной промышленности, ожидаемое в ближайшем будущем строительство АЭС в Казахстане повлекут за собой увеличение объемов радиоактивных отходов. В связи с этим исследования по вопросам безопасной изоляции РАО актуальны для Казахстана, как и для других стран.

Существует два способа обращения с ОЯТ [5]:

- ОЯТ перерабатывается для извлечения урана и плутония для повторного изготовления ядерного топлива (замкнутый ядерный топливный цикл);
- ОЯТ считается высокоактивными радиоактивными отходами и вместе с остаточными делящимися изотопами исключается из дальнейшего использования – поступает на хранение или захоронение (открытый ядерный топливный цикл).

Большинство стран не отправляют ОЯТ на повторную переработку. В данной работе рассматриваются вопросы изучения и оценки мест для безопасного размещения объекта, который будет использован для изоляции РАО.

ОБЗОР МНОГОЛЕТНЕГО ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УЧАСТКА КОСШОКЫ

Участок Косшоки представляет собой отдельно расположенный горный массив (в южной части Семипалатинского испытательного полигона) размером 2,5×1,0 км, возвышающийся на 160,0 м над поверхностью.

Участок расположен в пределах северо-западного обрамления горного массива Дегелен в пределах вулканоплутонической структуры центрального типа, сформированной на жестком каледонском основании. Большая часть участка, включая вершину горы, возвышающуюся над окружающей местностью на 110 м, сложена гранит-порфирами. Участок был выделен в качестве потенциально перспективного для изоляции РАО [6] и изучался с учетом стадийности. рекомендованной Стандартом безопасности МАГАТЭ [3].

На участке Косшоки проводились работы различных масштабов и видов из рекомендуемых в [3, 5], а именно [7–10]:

- топографические работы (развитие съемочного обоснования масштаба 1:5000, разбивка и привязка гидрогеологических скважин и геофизических точек наблюдения, топографическая съемка масштаба 1:2000);
- бурение скважин для исследования геологических структур и гидрогеологических условий глубины от 50 до 300 м.
- геофизические работы как наземными, так и скважинными методами (сейсморазведка рефрагированных волн, сейсмомониторинг, электроразведка методами дипольного электропрофилеирования, среднего градиента вызванной поляризации, зондирования становлением поля в ближней зоне и др.);
- гидрогеологические, в том числе, гидрогеологический мониторинг, опытно-фильтрационные работы для изучения параметров водоносного горизонта;
- изучение физико-механических свойств горных пород, сокращенный химический анализ водных проб на определение анионно-катионного состава и других параметров по отобраным пробам воды.

До принятия технического решения о сооружении хранилища РАО, как следует из международного опыта, необходимо спроектировать и создать ПИЛ и провести в ней необходимые исследования качества горного массива. Поэтому в предварительном порядке с учетом результатов исследований на участке Косшоки как потенциально пригодном участке был подготовлен проект Технического задания по проектированию Подземной испытательной лаборатории (ПИЛ) [6].

В [6] выполнена предварительная оценка параметров ПИЛ (рисунок 1) на горизонте 550 м при заглублении более 80 м. Наиболее удобное расположение портала у подножья южного склона горы. Длина подходной штольни составит 390 м, а рабочей (при углублении более 80 м) – 340 м. В ее пределах ПИЛ должны проводиться работы по оценке качества вмещающей геологической среды.

**МНОГОЛЕТНИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НА УЧАСТКЕ КОСШОКЫ,
ИЗУЧАЕМОМ ДЛЯ ГЛУБИННОГО ХРАНЕНИЯ РАО**

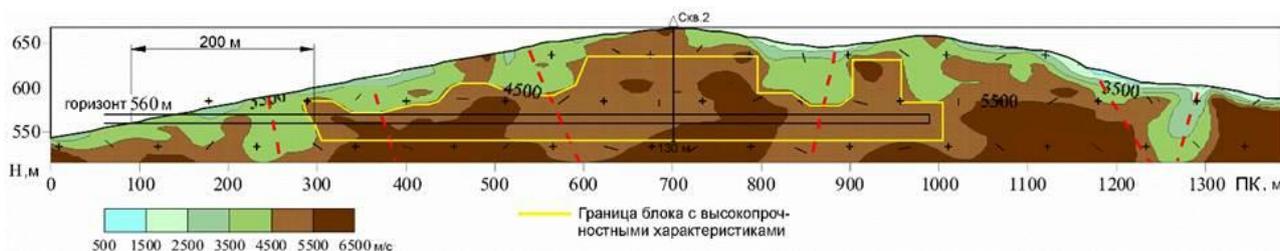


Рисунок 1. Горный массив Косшоки. Схематическое изображение ПИЛ и границ горных наиболее плотных пород (по данным сейсморазведки методом рефрагированных волн [10])

МЕТОДОЛОГИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ РАБОТ

Методология проведения работ. Необходимым условием при изучении площадок для создания объекта изоляции РАО, является ведение режимных наблюдений уровня воды в гидрогеологических скважинах. На участке Косшоки площадью 25 км² пробурено к настоящему времени 47 скважин. Измерения уровня воды проводились в течение 7 лет, обычно в весенний и осенний периоды, после желонирования скважин. При этом использовался уровнемер-хлопушка.

Результаты проведенных работ. В качестве примера приведены результаты обследования на участке Косшоки 29 скважин в 2018 году (таблица 1).

Таблица 1. Уровень воды в скважинах, 2018 год (лето)

Номер скважины	Уровень воды, м	Н _{абс.} , м	Номер скважины	Уровень воды, м	Н _{абс.} , м
1	36,10	540,23	28	0,20	518,70
4	28,05	570,10	30	32,40	544,99
6	24,60	556,70	34	14,50	506,11
7	20,30	563,10	36	51,00	660,35
9	19,15	561,60	37	21,70	509,34
13	36,10	568,30	39	6,00	490,21
14	12,90	541,65	40	17,00	505,67
17	12,40	539,96	41	21,95	518,48
18	25,10	557,28	42	19,30	513,60
19	11,55	544,12	43	6,00	492,20
22	21,80	507,99	44	5,70	497,38
23	15,95	507,57	45	17,20	512,10
24	0,80	498,24	46	13,15	506,11
26	6,65	543,45	47	33,50	525,60
27	8,60	533,64			

Диапазон изменения уровня воды находится в следующих пределах – от 0,2 м (скв. № 28) до 51 м (скв. № 36).

Для анализа гидродинамического состояния исследуемой территории бассейна подземных вод, была построена карта-схема значений коэффициентов фильтрации (рисунок 2). Рассматривая один из гидродинамических параметров, такой как коэффициент фильтрации, наиболее высокой водопроницаемостью (до 5,6 м/сут) обладает северо-восточная часть участка, в районе скважины 23. Данная область охва-

тывает 25 % территории. Светлые участки карты в районе скважин № 14, 16, 17, 19, 26, 27 свидетельствуют о низкой проницаемости, коэффициент фильтрации варьирует от 0,002 до 1 м/сут. Проанализировав данную информацию, можно судить о замедленном водообмене на прилегающих участках горы Косшоки, исключая скважину № 13 со средним значением коэффициента фильтрации (3,3 м/сут).

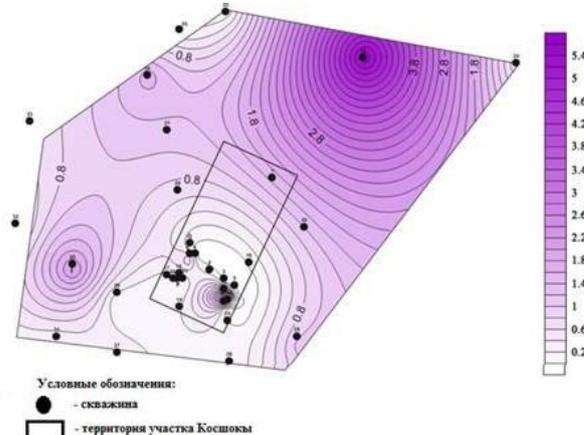
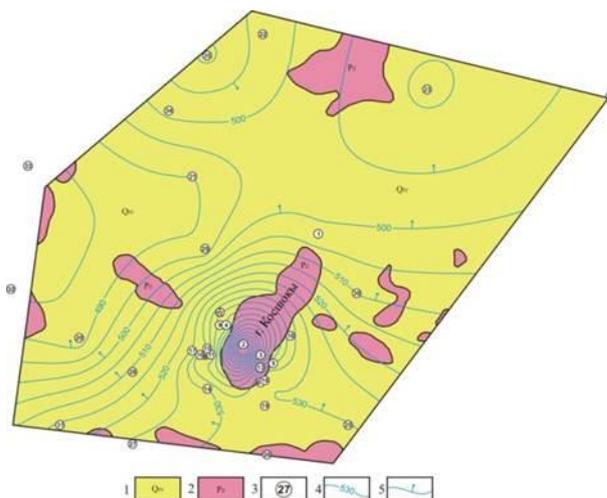


Рисунок 2. Карта-схема значений коэффициента фильтрации



1 - четвертичные отложения; 2 - области питания, представленные палеозойскими породами; 3 - гидрогеологическая скважина; 4 - гидроизогипсы (изолинии кровли водоносного горизонта); 5 - направление потока подземных вод

Рисунок 3. Гидрогеологическая карта участка Косшоки

По результатам мониторинговых наблюдений построена гидрогеологическая карта участка Косшоки (рисунок 3).

На приведенной карте видно, что основные области питания сконцентрированы в центральной и южной и северной частях участка, представленных наиболее возвышающимися элементами рельефа, сложенные скальными породами палеозойского возраста. Зоны питания, по сравнению с ниже расположенными, характеризуются большей проницаемостью коренных пород и соответственно более высокими значениями коэффициентов фильтрации. Абсолютные отметки уровня подземных вод варьируют от 480 до 600 м. Основное направление движения подземных вод ориентировано на запад и на северо-восток.

Для изучения трещинных вод пробурены гидрогеологические скважины № 9г с экстремальным значением дебита и коэффициента фильтрации трещинных вод и № 13 с рядовыми гидрогеологическими характеристиками. Проведенные работы позволили уточнить геологическое строение ближайшего окружения гранит-порфировой интрузии, представляющего собой внешний природный барьер. В изучаемом блоке вдоль подножья горы выявлен продольный тектонический разлом, имеющий крутое (под углом 70°) погружение под гору Косшоки, расположенный на западном фланге блока. Аномальный дебит трещинных вод связан именно с этой тектонической зоной.

Зона разлома может являться потенциальным путем освобождения радионуклидов. Такой путь должен быть ограничен во вмещающих породах хранилища так, что защитные функции геологической и инженерно-технической систем барьера остаются совместимыми.

ВРЕМЕННЫЕ, СЕЗОННЫЕ ВАРИАЦИИ УРОВНЯ ВОД В СКВАЖИНАХ

Сезонные вариации. Для изучения сезонных вариаций уровней подземных вод на участке Косшоки,

построен график по усредненным значениям за 2012–2018 гг. в осенний и летний периоды (рисунок 4).

Из полученных результатов следует, что наибольшим сезонным вариациям подвержены скважины №№ 1, 13, 14, 18, 23, 26. Уровень воды для данных скважин весной выше, чем осенью на 1–3,2 м, в среднем на 2 м.

Большая часть скважин, которые подвержены сезонным вариациям, расположены у подножья горного массива, куда стекают атмосферные осадки. Следует отметить, что коэффициент фильтрации для данных скважин имеет среднее или повышенные значения, за исключением скважин №№ 14, 26.

Временные вариации. Для изучения временных вариаций уровней подземных вод на участке Косшоки взяты 5 скважин (№№ 1, 6, 9, 18, 23), где наиболее часто происходил замер воды за 2012–2018 гг. (весенний период).

Из рисунка 5 следует, что на протяжении 7 лет наблюдается однотипность характера изменения уровня вод в изучаемом наборе скважин, за исключением скважины № 1, где в 2016 г. отмечен высокий уровень подземных вод по сравнению с предыдущими и последующими годами. В 2017 г. уровень воды в данной скважине восстановился до значений, соответствующих многолетним данным мониторинга.

Наибольшие изменения за 7 лет отмечены в скважине № 23, расположенной в трех километрах на северо-запад от массива. Уровень воды в 2018 г. по сравнению с 2012 г., опустился на 3 м, а за последний год изменился на 1,3 м.

Из рисунка 5 видно, что на протяжении 7 лет наблюдается некоторая тенденция подъема уровня подземных вод. В связи с чем, представляется возможным спрогнозировать вероятное изменение уровня подземных вод на несколько лет вперед, а также предположить наихудший вариант достижения уровня вод горизонта подземной испытательной лаборатории.

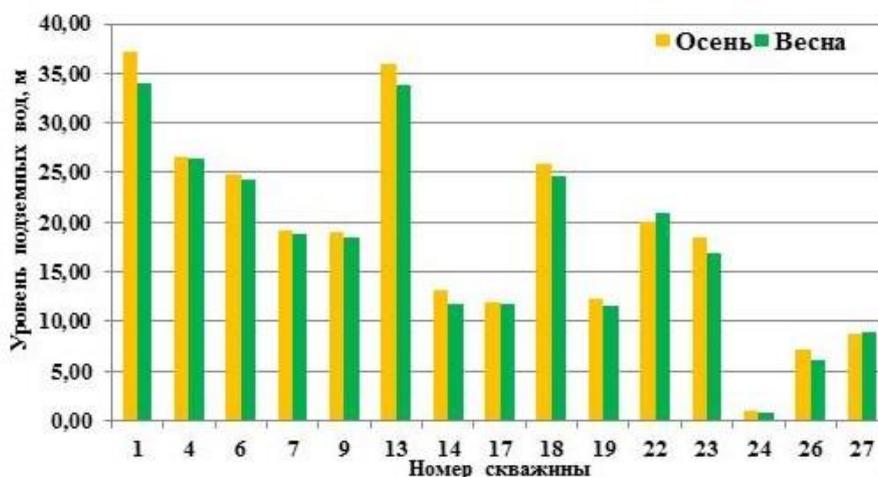


Рисунок 4. Сезонные вариации уровня подземных вод на участке Косшоки (2012–2018 гг.)

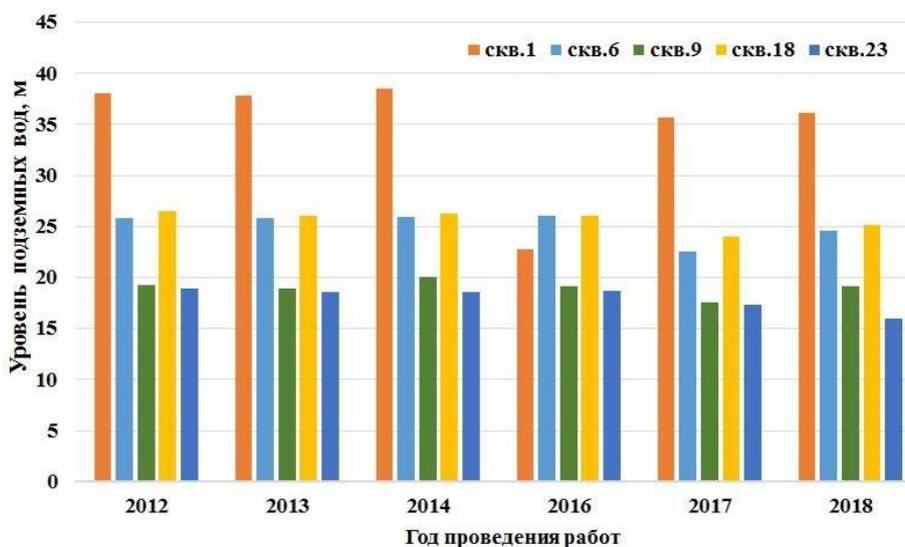


Рисунок 5. Результаты мониторинга уровня подземных вод на участке Косшоки за 2012–2018 гг. (весна)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе изложены результаты интерпретации проведения мониторинговых гидрогеологических исследований на участке Косшоки за 2012–2018 годы. По результатам проведения работ построены карта-схема значений коэффициентов фильтрации, карта изогипс, получена оценка сезонного изменения уровня подземных вод (в среднем на 2 м).

Наибольшим сезонным вариациям подвержены скважины, расположенные преимущественно у подножия массива (№№ 1, 13, 14, 18, 23, 26). Отмечено наличие тектонического ограничителя на западном фланге блока, выделенного в качестве перспективного для изоляции РАО, выявлены основные направления фильтрации трещинных вод, что важно для организации мониторинга над водной системой планируемого хранилища РАО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Atomic Energy Agency. Safety Series No. 111-G-1.1: Classification of Radioactive Waste (1994).
2. Гупало, Т.А. Комплексный подход к выбору перспективных участков изоляции РАО в Российской Федерации / Т.А. Гупало, В.И. Миловидов, О.А. Прокопова // Сб. тр. Международной Конференции по захоронению радиоактивных отходов, DisTec, Германия.
3. SSG-14, VIENNA, 2011. – Серия стандартов безопасности МАГАТЭ № SSG-14. «Захоронение радиоактивных отходов в геологических структурах».
4. Атомная энергетика: полный цикл от ископаемого до АЭС [Электронный ресурс] – Режим доступа: kazpravda.kz.
5. Радиоактивные отходы ядерно-топливного цикла [Электронный ресурс] – Режим доступа: eneretika.in.ua.
6. Геолого-геофизическое сопровождение строительства энергетических установок и объектов захоронения РАО на территории РК: Отчет о НИР за 2004–2008 (заключит.) / РГП «Национальный ядерный центр», ДГП «Институт геофизических исследований» (РГП НЯЦ, ДГП ИГИ); Рук.: В.Е. Коновалов, А.Е. Великанов. – Курчатов, 2009. – 179 с. – ГР № 0104РК00193.
7. Развитие геолого-геофизических методов изучения глубинных геологических формаций на СИП для экологически безопасной изоляции РАО: отчет о НИР (промежуточный по теме 03.04. за 2015 г.) / РГП ИГИ МЭ; авторы: Е.Ю. Пестов [и др.] Курчатов, 2015. – 65 с. – Фонды НЦ НТИ, № ГР № 0116РК0034.
8. Развитие геолого-геофизических методов изучения глубинных геологических формаций на СИП для экологически безопасной изоляции РАО: отчет о НИР (промежуточный по теме 03.04. за 2016 г.) / РГП ИГИ МЭ; авторы: Е.Ю. Пестов [и др.]. – Курчатов, 2016. – 71 с. – Фонды НЦ НТИ, № ГР № 0117РК00009.
9. Развитие геолого-геофизических методов изучения глубинных геологических формаций на СИП для экологически безопасной изоляции РАО: отчет о НИР (заключительный по теме 03.04. за 2017 г.) / РГП ИГИ МЭ; авторы: Е.Ю. Пестов [и др.] – Курчатов, 2017. – 92 с. – Фонды НЦ НТИ, № ГР № 0117РК02347.

**РАҚ ТЕРЕҢДЕ САҚТАУ ҮШІН ЗЕРДЕЛЕНУДЕГІ ҚОСШОҚЫ УЧАСКЕСІНДЕГІ
КӨПЖЫЛДЫҚ ГИДРОГЕОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГ**

И.О. Марченко, Е.Ю. Пестов, А.В. Комлев

Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Мақалада, радиоактивті қалдықтарды (РАҚ) тереңде сақтау үшін зерделенудегі Қосшоқы учаскесіндегі көпжылдық гидрогеологиялық мониторингі бойынша деректері келтірілген, 7 жыл осы аумақтың гидрогеологиялық жағдайларын зерделеудің нәтижелері қорытындалған, РАҚ окшаулауына пайдалануға мүмкін объектіні орналастыру жерлері бағаланған.

Жұмыстарды жүргізу нәтижелері бойынша сүзілу коэффициенттері мәндерінің карта-сұлбасы, изогипстер картасы салынған, жерсаты сулардың маусымдық және уақыттық өзгерілуін бағалауы алынған.

**LONGSTANDING HYDROGEOLOGICAL MONITORING AT KOSSHOKY SITE
STUDIED FOR THE RW GEOLOGICAL STORAGE**

I.O. Marchenko, E.U. Pestov, A.V. Komlev

Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents data on longstanding hydrogeological monitoring at Kosshoky site that is studied for radioactive waste (RW) geological storage, where the results of the study of hydrogeological conditions of this area have been generalized for the period of 7 years, the locations are estimated for the facility, which can be used for RW isolation.

Based on the results of conducted works, a map-scheme has been built on values of filtration coefficients, iso-lines map was created, and an assessment of seasonal and temporal change of underground waters has been obtained.