УДК 504.5.06:621.039.566

# ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СРЕД В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРАХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

Шайторов В.Н., Ефремов М.В., Мариненко В.А., Жолдыбаев А.К., Кушербаева Н.Н., Шульга М.В., Утегенова М.А., Алдабергенова Г.Н.

Институт геофизических исследований Министерства энергетики Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

Представлены результаты выявления и отслеживания структурно-вещественных изменений в грунтах мест расположения некоторых объектов атомной отрасли Казахстана по геофизическим и атмогеохимическим данным. Показана пространственно-временная связь изменений электрического сопротивления, естественного сейсмического шума, газопроницаемости пород песчано-глинистого разреза с деформационными процессами. Приведены результаты опробования перспективных геофизических технологий и наблюдательных сетей мониторинга на тест-объектах.

Необходимость постановки таких работ определилась тем, что по большинству казахстанских объектов с потенциально высоким уровнем возможного ущерба отсутствуют систематизированные сведения о региональной и локальной геолого-геофизической и сейсмической ситуации. По этой причине существенно затрудняется мониторинг процессов и явлений природных и техногенных, контроля за медленно меняющимися геологическими, инженерно-геологическими и сейсмическими процессами, предписанный Техническим регламентом «Ядерная и радиационная безопасность» (статья 170). Как свидетельствует практика [1-5], с этой целью, в дополнение к сейсмическому, геодезическому и гидрогеологическому мониторингу объектов атомной отрасли, целесообразно применение технологий, основанных на изучении закономерностей изменения геоэлектрических, сейсмоэмиссионных, атмогеохимических и магнитных параметров под воздействием природных и техногенных геодинамических, деформационных процессов и изменяющейся во времени обводнённости разрезов. Показано, что, несмотря на существование большого числа нормативных документов [6-9] и определённого опыта, для выявления и изучения указанных процессов требуются технологии, адаптированные к конкретным физико-геологическим условиям. Результаты разработки таких технологий и адаптации их к некоторым объектам атомной отрасли Казахстана рассматриваются в настоящей статье. Для их получения проведены лабораторные измерения на моделях с целью уточнения взаимосвязи вариаций электрического сопротивления с изменением напряженно-деформированного состояния песчано-глинистых грунтов; режимные наблюдения на геофизическом полигоне «Каскелен»; полевые эксперименты на тест-объектах.

## **1** ВЗАИМОСВЯЗЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВ-ЛЕНИЯ С ИЗМЕНЕНИЕМ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИ-РОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЕСЧАНО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ПО ДАННЫМ ЛАБОРАТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА МОДЕЛЯХ

Модельные эксперименты состояли в измерении кажущегося электрического сопротивления и вызванной поляризации при последовательном добавлении нагрузки на испытываемый грунт, величиной 38, 27 и 17 кг (в сумме 82 кг). Измерения проводились и при последовательном снятии нагрузки и в обратном порядке. При площади сечения модели грунта 16 см<sup>2</sup> нагрузка 82 кг составляла порядка 0,51 МПа, что соответствует литостатическому давлению на глубине около 30 м.

Результаты проведённых экспериментов (рисунок 1) свидетельствуют об однозначной зависимости электрических характеристик геологической среды от её напряженно-деформированного состояния.

Показано, что при аппаратурно достижимой в настоящее время погрешности измерений электрического сопротивления ±0.1 % и поляризуемости ±0,02° вполне реальна возможность регистрации изменения литостатического давления в первом случае на 2–3 %, во втором – на 4–5 %. Такая точность измерений, согласно [10], позволит уверенно регистрировать изменения напряженно-деформированного состояния грунтов (порядка 10 кПа), возникающие при воздействии лунно-солнечных приливов.

## 2 РЕЗУЛЬТАТЫ РЕЖИМНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И АТМОГЕОХИМИЧЕСКИХ СЪЁМОК НА ГЕОФИЗИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ «КАСКЕЛЕН»

Проведены режимные съёмки с целью выяснения принципиальной возможности использования геофизических и атмогеохимических параметров для выявления и мониторинга проявлений геодинамики и деформаций на примере разрезов, сложенных песчаноглинистыми отложениями полигона «Каскелен». Выполнен парный мониторинг: электрометрический и сейсмический, а также электрометрический и атмогеохимический.





] 3 \_\_\_\_\_6 4 1 – графики ρ<sub>κ</sub> (а) и поляризуемости φ<sub>в⊓</sub> (б); 2 – интервалы времени (а) и сжимающая нагрузка (б) в кг; 3, 4 – прямая (а) и обратная (б) ветви компрессионных кривых ρ<sub>κ</sub>(3) и φ<sub>в⊓</sub> (4)

Рисунок 1. Динамика электрических свойств песчано-глинистого грунта в зависимости от его напряжённодеформированного состояния

# 2.1 Геофизический полигон «Каскелен»

a 73-0

Геофизический полигон (рисунок 2) организован в западной части промышленной площадки ГО «Каскелен» (вблизи Алматы), имеет размер ~130×150 м. Особенностью полигона является его расположение в зоне влияния разлома субмеридионального простирания (по руслу реки Каскелен) на расстоянии не более 300–500 м.



1 – территория ГО «Каскелен»; 2 – сейсмостанция; 3 – фрагменты электроразведочного профиля (а) и элемента приёмной линии (б) дипольной установки электрического зондирования; 4 – точка вертикального электрического зондирования; 5 – профили и пикеты атмогеохимической съёмки СО<sub>2</sub>; 6 – пункты мониторинга метана; 7 – положение скважины

Рисунок 2. Полигон «Каскелен». Экспериментальная сеть мониторинга

На полигоне оборудована первая очередь измерительной системы, которая включает (рисунок 2): 1) сейсмическую станцию St1 (акселерометр CMG-5TC, трёхкомпонентный сейсмометр СМG-40, регистраторы PMD-6102m), обеспечивающую регистрацию вертикальных и горизонтальных колебаний почвы в режиме реального времени; 2) стационарную электроразведочную установку дипольного электрического зондирования (ДЭЗ), состоящую из генератора (ГЭР-65W-500V) и 8-канального измерителя (ВПФ-8к, РГП ИГИ, 2015), обеспечивающих зондирование геологического разреза в интервале глубин 10-45 м; 3) два ортогональных атмогеохимических профиля с оборудованными точками наблюдений (пластиковые трубки, погружённые на глубину 0,7 м с шагом 5 м и детализацией по ПР2 до 2,5 м в зоне аномально повышенных содержаний CO<sub>2</sub>) для мониторинга содержания в почвенном воздухе углекислого газа и метана; 4) три точки ВЭЗ расположенные: ВЭЗ1 – в средней части установки ДЭЗ, ВЭЗ2 – вблизи скважины 1, ВЭЗЗ – в районе аномалии с повышенными содержаниями СО<sub>2</sub>, выявленной в начале 2016 г. (ПР2 ПК27.5) для мониторинга геоэлектрических свойств разреза,

## 2.2 Изучение динамики электрического сопротивления и естественного сейсмического шума

На рисунке 3 представлен пример результатов трёхсуточных совместных наблюдений естественного сейсмического поля на дневной поверхности и электрического сопротивления на глубине 25 м. Для обеспечения возможности сопоставления данных по сейсмическому шуму и электрическому сопротивлению в едином частотном диапазоне, запись сейсмического шума (рисунок 3-6), отфильтрована в полосе пропускания 0.01–0.07 Гц (колебания с периодами от 2–3 до 15–20 мин).



б) сейсмический шум на дневной поверхности



 наблюдённые значения ρ<sub>κ</sub> (a) и их аппроксимация полиномом 6 степени (б); 2 – волновая форма (a) и код регистрируемой компоненты (б);
–аномальное изменение ρ<sub>κ</sub> и амплитуды сейсмического шума

Рисунок 3. Результаты совместного мониторинга электрического сопротивления и сейсмического шума на полигоне Каскелен

Зарегистрировано устойчивое понижение электрического сопротивления пород разреза на глубине 25 м (с 8 до 16 час. 30 мин. 01.06.2017 г.), которому соответствует повышение уровня сейсмического шума, относительная амплитуда которого в нормальном поле составляла  $\pm 0,4$ , а в аномальном периоде увеличивалась до  $\pm 1,3-1,6$ . По электрическому сопротивлению в этом интервале времени зарегистрированы знакопеременные вариации с периодами от 20–30 мин до 1–1,5 часа. Интенсивность вариаций резко уменьшается до и после активизации сейсмического шума. Периодичность вариаций сейсмического шума в аномальной зоне изменяется от 6–10 до 30–40 мин.

Выявленная взаимозависимость электрического сопротивления и сейсмического шума, а также их повторяемость, проинтерпретированы как обусловленные единой природой, наиболее вероятно, связанной с деформационными процессами в песчаноглинистых грунтах на глубине.

# 2.3 Изучение вариаций электрического сопротивления на глубине и содержания метана в почвенном воздухе

На рисунке 4 приведен пример мониторинга кажущегося электрического сопротивления  $\rho_{\kappa}$  и концентрации метана, выполненного одновременно с единой дискретностью измерений (1 минута), для уточнения природы вариаций содержания метана в почвенном воздухе и генетической связи их с глубинными деформационными процессами.



б) содержание метана в почвенном воздухе

Δρ₄ среднее=0,0004 Ом⋅м, стандартное отклонение σ=±0,05 Ом⋅м; СН₄ среднее=1,0 ppm, стандартное отклонение σ=±0,7 ppm



1 – электрическое сопротивление ρ<sub>«</sub>: а – измеренное, б – трендовое (аппроксимированное полиномом 6 степени); 2 – приращение электрического сопротивления Δρ<sub>«</sub> во времени (а), содержание метана в почвенном воздухе (б) и интервал значений этих параметров, не превышающих стандартное отклонение от среднего (±σ), принятый за фон (в); 3 – интервал приращения электрического сопротивления и содержания метана в почвенном воздухе, соответствующий ±2σ (с вероятностью аномалии не менее 0,95); 4 – осевая зона в параметрах приращения ρ и содержания метана, предположительно проинтерпретированных как проявление микрогеодинамики: а – уверенно выделенных (по превышению одного из параметров уровня 2σ и сходству форм положительных аномалий), б –только по сходству форм положительных аномалий на уровне 2σ>A>1σ

Рисунок 4. Результаты совместного мониторинга электрического сопротивления и содержания метана в почвенном воздухе Результаты проведённого мониторинга показали, что наиболее контрастные аномалии обоих параметров приурочены к одним и тем же интервалам времени, т. е. они могут иметь эндогенное происхождение. С учетом [11, 12], наблюдённые аномальные эффекты, проинтерпретированы как вызванные слабо проявленными деформациями в песчано-глинистых грунтах на глубине.

В целом по проведённым лабораторным и полевым исследованиям на полигоне «Каскелен» сделаны следующие выводы:

1) принципиально возможно использовать аномальные изменения геоэлектрических характеристик песчано-глинистых разрезов в качестве диагностических признаков проявлений микрогеодинамики и деформационных процессов.

2) имеется пространственно-временная связь изменений газопроницаемости, электрического сопротивления пород песчано-глинистого разреза и аномальных проявлений в естественном сейсмическом шуме с деформационными глубинными процессами.

# **3** ПОЛЕВОЕ ИЗУЧЕНИЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТОВ КОМПЛЕКСОМ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ И АТМОГЕОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

### 3.1 Тест-объект «Скважина 104»

Эксперимент проведен на приустьевой площадке скважины 104 Семипалатинского испытательного полигона, в которой был произведен подземный ядерный взрыв (ПЯВ). Цель эксперимента – оценка возможностей выявления геодинамически активных зон в параметрах электрического сопротивления ( $\rho_{\kappa}$ ), магнитной индукции (В) и спектральных характеристик естественного сейсмического шума. Схема наблюдений представлена на рисунке 5.



1 – эпицентр ПЯВ в скважине 104 (а) и контур наземной воронки (б); 2 – профиль ДЭЗ; 3 – расположение сейсмоприёмников сети МОВЗ (а) и пункты регистрации естественных сейсмических шумов (б); 4 – пункты наблюдения вариаций магнитного поля

Рисунок 5. Тест-объект «Скважина 104». Схема наблюдения вариаций геофизических полей Наиболее тесная временная связь аномальных изменений в наблюдённых полях установлена между приращениями модуля магнитной индукции (dT) и сейсмическим шумом (рисунок 6-а, 6-в). Все интервалы времени с повышенными значениями dT вполне удовлетворительно увязываются с разрастаниями амплитуд сейсмического шума на частоте 40 Гц.

Максимальные изменения электрического сопротивления (рисунок 6-б) приурочены также к интервалу времени (с 04.10 06:49 по 06.10 06:49), где имело место аномальное возрастание уровня сейсмического шума, но с запаздыванием примерно на 12 ч. Возможно, это связано с инерционностью реакции электрического сопротивления при деформационных процессах в толще, сложенной плотными глинами. Весь остальной интервал времени представлен околосуточными вариациями электрического сопротивления.







 приращение модуля магнитной индукции (dT=T<sub>M2</sub>-T<sub>Mi</sub>) (a), линии средних (б) и уровней удвоенного стандартного отклонения от среднего (б, в) значений этого параметра; 2 – кажущееся электрическое сопротивление на глубине 15 м и область аномальных значений этого параметра;
осреднённая амплитуда частоты 40 Гц (а) и области аномально повышенных (более 20) значений этого параметра (б)

Рисунок 6. Тест-объект «Скважина 104». Оценка аномальных изменений в вариациях приращения модуля магнитной индукции, электрического сопротивлени и спектральных характеристик сейсмического шума вблизи эпицентра ПЯВ

Временная связь аномальных эффектов в наблюдённых параметрах позволяет предположить единую природу, обусловленную изменением напряженнодеформированного состояния геодинамически активной техногенной зоны трещиноватости в области, прилегающей к гипоцентру ПЯВ, вследствие продолжающихся в настоящее время деструктивных процессов под воздействием внешних факторов – микроземлетрясений, промышленных взрывов и пр. Подтверждением глубинного происхождения наблюдённых аномальных эффектов можно считать результаты расчёта объёмной модели источника аномально повышенного уровня сейсмического шума (рисунок 7), который, как показано на рисунке 7-б пространственно тяготеет к очаговой зоне ПЯВ.



1 – пункт регистрации естественного сейсмического поля (а) и эпицентра ПЯВ (б); 2 – рассчитанное положение областей: а – аномально повышенной, б – повышенной, в – фоновой сейсмоакустической эмиссии, г – гипоцентр ПЯВ

Рисунок 7. Тест-объект «Скважина 104. Объёмная модель источника аномально повышенного уровня сейсмического шума

# 3.2 Площадка, прилегающая к реактору ВВР-К ИЯФ

На этой площадке (рисунок 8) по двум ортогональным профилям дважды выполнены наблюдения электрического сопротивления, вызванной поляризации и газопроницаемости по CO<sub>2</sub> (в сентябре-октябре 2016 г. и в начале июня 2017 г.).



контур площадки реактора; 2 – здание реактора;
профили электроразведочной и атмогеохимической съёмок

Рисунок 8. Площадка реактора ВВР-К ИЯФ. Система полевых электроразведочных съёмок в 2016-2017 гг.

На рисунке 9 приведены результаты изучения изменчивости грунтовых условий площадки реактора во времени в геоэлектрических параметрах (электрическое сопротивление, поляризуемость) и газопроницаемости по профилю 1 (рисунок 8). По геофизическим данным изучаемый разрез характеризуется блоковым строением. Фланговые части геологического разреза сложены преимущественно высокоомными песчано-гравийно-галечными грунтами в условиях естественной влажности, центральная часть – суглинистыми породами.

По измерениям 2017 г., как показано на рисунках 9-в и 9-г, наибольшие изменения (по сравнению с 2016 г.) в параметрах электрического сопротивления и поляризуемости отмечены в центральной части (ПК120-190). Электропроводящая зона с сопротивлением р<sub>к</sub> менее 10 Ом·м имеет чёткую линейную форму и падение в северном направлении. Зона с максимальной поляризуемостью также является линейной структурой. По атмогеохимической съёмке зафиксированы значительно большие значения содержания СО2 в почвенном воздухе, что вписывается в сезонную закономерность усиления газовыделения летом и снижения в осенне-весенний период. Ранее установленные локальные газопроницаемые зоны на флангах профиля (ПКО-50 и 210-250) подтвердились и в 2017 г.



1 – изолинии кажущегося электрического сопротивления ρ<sub>k</sub>: пониженные (а) и повышенные (б) значения, г – границы между блоками; 2 – электропроводящие зоны; 3 – изолинии поляризуемости φ<sub>BΠ</sub>: а – фоновые; б - аномально повышенные значения φ<sub>BΠ</sub> (более стандартного отклонения от среднего); 4 – зоны повышенной поляризации; 5 – содержание CO₂ в почвенном воздухе: а – 2016 г., б – 2017 г.; 6 – изолинии параметра относительной поляризуемости η<sub>k</sub>; 7 – контур максимальной влажности суглинистых грунтов в параметре η<sub>к</sub>

Рисунок 9. Площадка реактора ВВР-К ИЯФ, профиль 1. Результаты мониторинга в 2016 и 2017 гг.

Особенностью съёмки 2017 г. является небольшое (относительно фона) повышение газопроницаемости в интервале ПК145–155, в той части профиля, где отмечены максимальные изменения геоэлектрических характеристик разреза, сложенного суглинистыми образованиями. Более контрастно (после исключения влияния электрического сопротивления на эффекты вызванной поляризации) проявлена динамика обводнённости суглинистой части разреза в параметре относительной поляризуемости [13] (рисунки 9-е, 9-ж).



а) относительная поляризуемость суглинков (1) и песков (2) согласно [14]



б) модуль деформации глинистых и пылеватых грунтов согласно [14]

Рисунок 10. Зависимость относительной поляризуемости и модуля деформации от относительной влажности грунтов

### Литература

- Бугаев, Е.Г. Перспективы использования геофизических полей при выборе площадки и обосновании стабильности геодинамических и сейсмических условий при эксплуатации АС / Е.Г. Бугаев Е.Г., А.А. Спивак, С.П. Соловьев: [Электронный ресурс] – Режим доступа свободный. http://www.secnrs.ru/publications/nrszine/4-70-2013/bss2.pdf.
- Сараев, А.К. Опыт изучения приливных вариаций кажущегося сопротивления в аудиочастотном диапазоне / А.К. Сараев [и др.] // Вопросы геофизики. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006. – Вып. 39. – 148 с.
- Максимочкин, В. О связи вариаций геомагнитного поля с сейсмическими событиями / В. Максимочкин, Т. Версан // Физические проблемы экологии. — М.: Физический факультет МГУ, 2011. - Т. 17 – С. 498–507.
- Белослюдцев, О.М. Геомагнитные аномалии накануне землетрясений в Северном Тянь-Шане. / О.М. Белослюдцев, Н.Б. Узбеков, С.Б. Жарасова, Е.М. Мусаев, С.Ж. Узбекова, Б.К. Райимбеков: [Электронный ресурс] – Режим доступа свободный. http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/69/2147/2147.pdf.
- Селюков, Е.И. Структурно-геодинамическое картирование в комплексе инженерно-геологических изысканий. / Е.И. Селюков, Л.Т. Стигнеева // Промышленное и гражданское строительство. – М.: Геофизический центр Российской АН. Лаборатория динамики, 2013. – № 1.
- Учет внешних воздействий природного и техногенного происхождения на объекты использования атомной энергии. НП-064-05: Федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии. – 2006.
- Мониторинг инженерно-геологических условий размещения объектов ядерного топливного цикла (РБ 036-06). -Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. – 2007.
- 8. Закон РК о промышленной безопасности на опасных производственных объектах, от 3 апреля 2002 г. № 314 Ведомости Парламента Республики Казахстан, 2002 г., № 7–8.

Значения относительной поляризуемости (рисунок 10-а) возрастают пропорционально повышению влажности и, исходя из величины перепада значений относительной поляризуемости, максимальная влажность суглинистой части разреза увеличилась почти в 1,5 раза. Зависимость, приведённая на рисунке 10-б, позволяет сделать вывод о том, что при установленном повышении влажности суглинистых грунтов следует ожидать в них и снижение модуля деформации, а, следовательно, и нагрузочной способности.

#### Выводы

1. По результатам физического моделирования и комплексных мониторинговых съёмок на геофизическом полигоне «Каскелен» показана возможность использования комплекса методов и состава геофизических и атмогеохимических показателей для выявления и мониторинга глубинных деформационных процессов (проявлений микрогеодинамики). Физической основой для решения этой задачи является проявленность и пространственно-временная связь глубинных деформационных процессов с аномальными эффектами в естественном сейсмическом поле, геоэлектрических параметрах и газопроницаемости песчано-глинистого разреза.

2. На тест-объектах подтверждена эффективность применённых технологий и наблюдательных сетей мониторинга деформационных процессов в песчано-глинистой толще. Полученные сведения могут быть использованы для разработки сетей геолого-геофизического мониторинга безопасности объектов. Выполненные исследования позволяют приступить к определению критериев для прогнозирования возникновения неустойчивого состояния площадок под воздействием природно-техногенных факторов, а также непосредственно к изучению техногенных изменений на конкретных площадках объектов атомной отрасли.

- 9. Ядерная и радиационная безопасность : Технический регламент // нформационная система «Параграф».
- Ребецкий, Ю.Л. Величина и особенности распределения в коре планетарных напряжений, вызванных центробежными силами вращающейся Земли. М.: ИФЗ: [Электронный ресурс] – Режим доступа свободный. http://www.ifz.ru/fileadmin/ user\_upload/subdivisions/506/OMTS/2016/19.01/Rotation3.pdf.
- 11. Спивак, А.А. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и
- геодинамических характеристик среды / А.А. Спивак, С.Б. Кишкина // Физика Земли. 2004. № 7. С. 35–49. 12. Шулейкин, В.Н. Геофизические поисковые критерии картирования зон локализованной разгрузки метана в земной коре:
- [Электронный ресурс] Режим доступа свободный. http://oilgasjournal.ru/vol\_10/shuleikin.html. 13. Комаров, В.А. О природе электрических полей вызванной поляризации и возможностях их использования при поисках рудных месторождений. / В.А. Комаров // Вестник Ленинградского гос. ун-та. Сер. геол и геогр. 1957, № 16. – С.37–46.
- Рекомендации по методике прогноза изменения строительных свойств структурно-неустойчивых грунтов при подтоплении /ПНИИИС. – М.: Стройиздат, 1984. – 156 с.

## АТОМ САЛАСЫ ОБЪЕКТІЛЕРІНІҢ ҚАУІПСІЗДІГІНЕ МОНИТОРИНГІ ҮШІН ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАЛАР ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІНДЕ ТЕХНОГЕНДІ ӨЗГЕРІЛУЛЕРІН ЗЕРДЕЛЕУ

### Шайторов В.Н., Ефремов М.В., Маринеко В.А., Жолдыбаев А.К., Кушербаева Н.Н., Шульга М.В., Утегенова М.А., Алдабергенова Г.Н.

## Казақстан Республикасы Энергетика министрлігінің Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Қазақстанның атом саласының кейбір объектілері орналасу жерлердің грунттарында құрылымды-заттық өзгерістерін геофизикалық және атмогеохимиялық деректері бойынша айқындау мен қадағалау нәтижелері келтірілген. Құм-сазды қимасы таужыныстардың электрлік кедергісі, табиғи сейсмикалық шуы, газөтімділігі деформациялық процестеріне байланысты өзгерілулердің кеңістік-уақыттық байланысы көрсетілген. Тестобъектілерінде мониторингтің перспективті геофизикалық технологиялары мен бақылау желілерін сынамалау нәтижелері келтірілген.

# STUDY OF TECHNOGENIC CHANGES OF GEOLOGICAL MEDIA IN GEOPHYSICAL PARAMETERS FOR THE MONITORING OF NUCLEAR ENERGY FACILITIES' SAFETY

V.N. Shaytorov, M.V. Efremov, V.A. Marinenko, A.K. Zholdybayev, N.N. Kusherbayeva, M.V. Shulga, M.A. Utegenova, G.N. Aldabergenova

Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, Kurchatov, Kazakhstan

The paper presents the results of detection and tracing of structural and material changes in the soil of some nuclear energy facilities placements of Kazakhstan based on geophysical and athmogeochemical data. Spatial and temporal connection of changes of electrical resistivity, natural seismic noise, gas permeability of the sand-clay section rocks, connected with deformation processes has been demonstrated. The results of the testing of potential geophysical technologies and observational networks of monitoring at the test facilities are presented.