

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ВОДОЗАЩИТНОЙ ТОЛЩИ ПРИ ОБРУШЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МЕЖДУПЛАСТЯ

Е.А. Губанова

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Рассмотрено изменение характера нарастания оседаний земной поверхности при обрушении технологического междупластья. Математическое моделирование процесса деформирования реализовано в двухмерной упругопластической постановке для условий плоского деформированного состояния (ПДС) методом конечных элементов. В динамике нарастания оседаний земной поверхности с использованием критериев Кулона-Мора и предельных растягивающих напряжений проведен анализ изменения напряженно-деформированного состояния (НДС) массива и выполнена итоговая критериальная оценка потенциальной возможности формирования в водозащитной толще (ВЗТ) трещин субвертикальной ориентации при обрушении технологического междупластья на примере отработки двух сильвинитовых пластов для условий Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКС).

**Ключевые слова:** математическое моделирование, водозащитная толща, субвертикальная нарушение, мульда сдвижения.

### Введение

Вопросы предотвращения аварийных ситуаций, связанных с затоплением калийных рудников, имеют первостепенное значение при их эксплуатации. Верхнекамское месторождение калийных солей разрабатывается камерной системой разработки с опорой вышележащей толщи пород на междукамерные целики. Необходимое условие разработки, связанное с исключением возможности проникновения пресных вод в горные выработки, достигается обеспечением устойчивости междукамерных целиков в процессе деформирования подработанного соляного массива. Вопросам устойчивости целиков на Верхнекамском месторождении посвящены многие работы [1-5]. В данной статье отражено изменение характера деформирования подработанной соляной толщи при снижении устойчивости целиков. Для ВКМКС построение прогнозных кривых деформирования подработанного массива регламентируется требованиями действующей нормативной документации. Форма мульды сдвижения определяется интенсивностью техногенной нагрузки, действующей на междукамерные целики и выраженной в степени их нагружения. Происходит снижение их несущей способности. Вследствие этого меняется развитие во времени кривой деформирования подработанного массива и, соответственно, динамика его промежуточного разрушения. В качестве примера представлены результаты изменения характера деформирования породного массива за счет потери несущей способности технологического междупластья при отработке сильвинитовых пластов для условий ВКМКС.

### Методические положения расчетов

Процесс разрушения соляного массива моделировался для условий плоского деформированного состояния (ПДС) с использованием метода начальных напряжений [6, 7]. При очистной выемке продуктивные пласты заменялись материалом с переменными модулями [8]. Развитие геомеханической ситуации во времени основывалось на построении прогнозных графиков нарастания оседаний земной поверхности с использованием положений действующего нормативного документа [9]. Степень разрушения подработанного массива оценивалась критериями разрушения в области сжатия [10] и

растяжения. Численная реализация упруго-пластической задачи проводилась методом конечных элементов [11].

### Постановка задачи

Пусть типовой для условий ВКМКС геологический разрез характеризуется субгоризонтальным залеганием пластов, находящихся под действием массовых сил интенсивностью  $\gamma_i$  ( $\gamma_i$  – удельный вес  $i$ -го элемента разреза) без учета аномальных особенностей строения ВЗТ (рис. 1). Камерной системой отработки с оставлением междукамерных целиков произведена очистная выемка двух сильвинитовых пластов АБ и КрII. Параметры системы разработки соответствуют тому, что расчетная степень нагружения междукамерных целиков не превышает величину допустимой, равной 0.4.

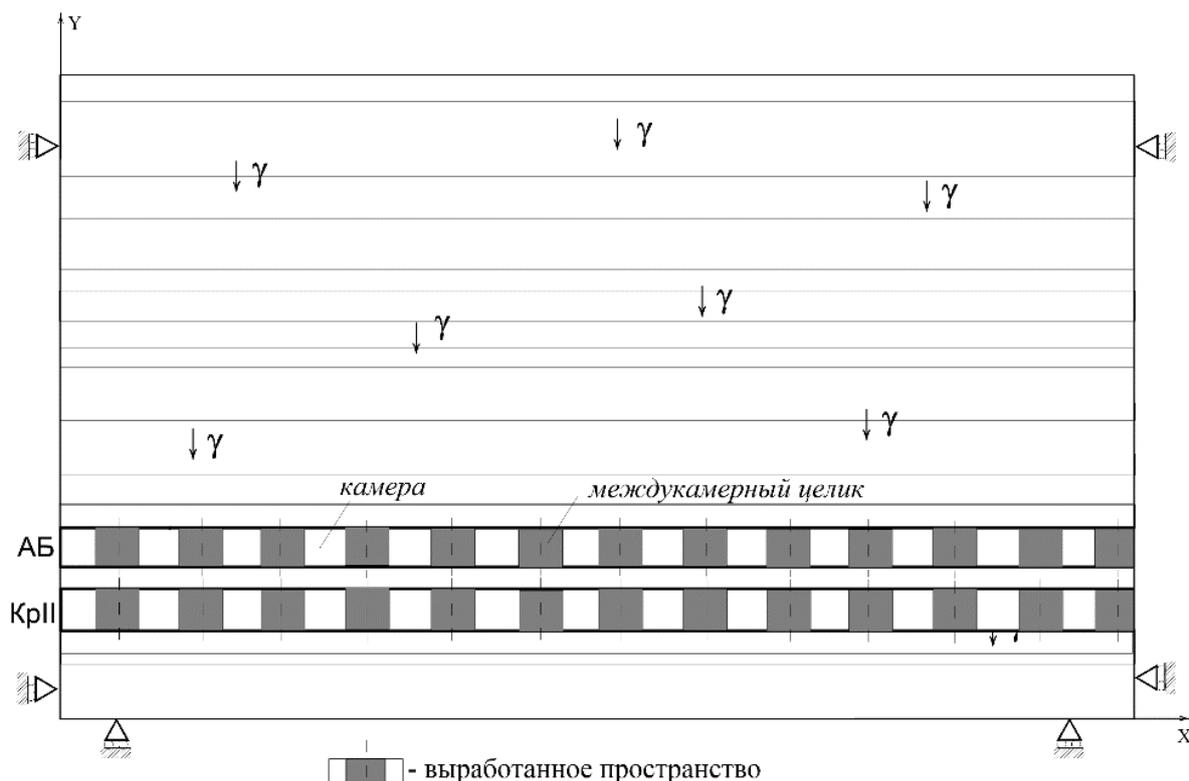


Рис. 1. Расчетная схема

В соответствии с положениями действующего нормативного документа [9] деформирование подработанного массива описывается прогнозной кривой, представленной на рис. 2. График нарастания оседаний земной поверхности во времени  $\eta(t)$  представляет собой аналог кривой ползучести: медленное увеличение вертикальных смещений на начальной стадии (1), активизация сдвижений (2) и затухание процесса сдвижений (3) с выходом на асимптотическую кривую.

Как известно, степень нагружения междукамерных целиков  $S$  определяет отношение величины действующей нагрузки к их несущей способности. Согласно нормативному документу [9], степень нагружения целиков не меняется на протяжении всего срока их службы. В действительности такой подход оказывается не отвечающим реальным процессам деформирования. С течением времени несущая способность целиков в силу реологических свойств горных пород имеет свойство снижаться. Проявление массивом реологических свойств, в свою очередь, в значительной мере зависит от уровня напря-

женного состояния. Следовательно, чем выше уровень техногенной нагрузки, тем изменчивей во времени становится степень нагружения междукамерных целиков (рис. 3). В частности, существенное снижение несущей способности целиков может быть обусловлено разрушением в какой-то момент времени технологического междупластья АБ-КрII и формированием единого целика АБ+КрII, степень нагружения которого за определенный временной промежуток может увеличиться до максимального значения.

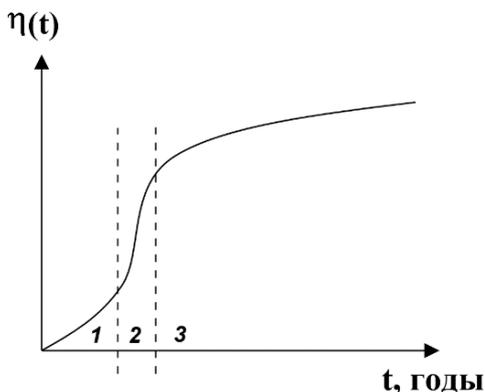


Рис. 2. Прогнозная кривая нарастания оседаний земной поверхности

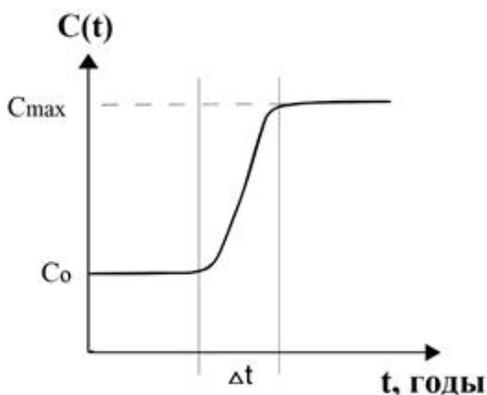


Рис. 3. Зависимость степени нагружения целиков от времени

Соответственно, при дальнейшем деформировании подработанного массива изменится вид графика нарастания оседания земной поверхности (рис. 4, кривая 2) и характер его последующего разрушения.

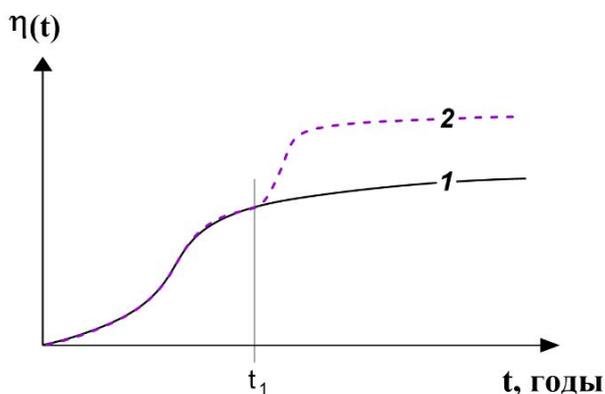
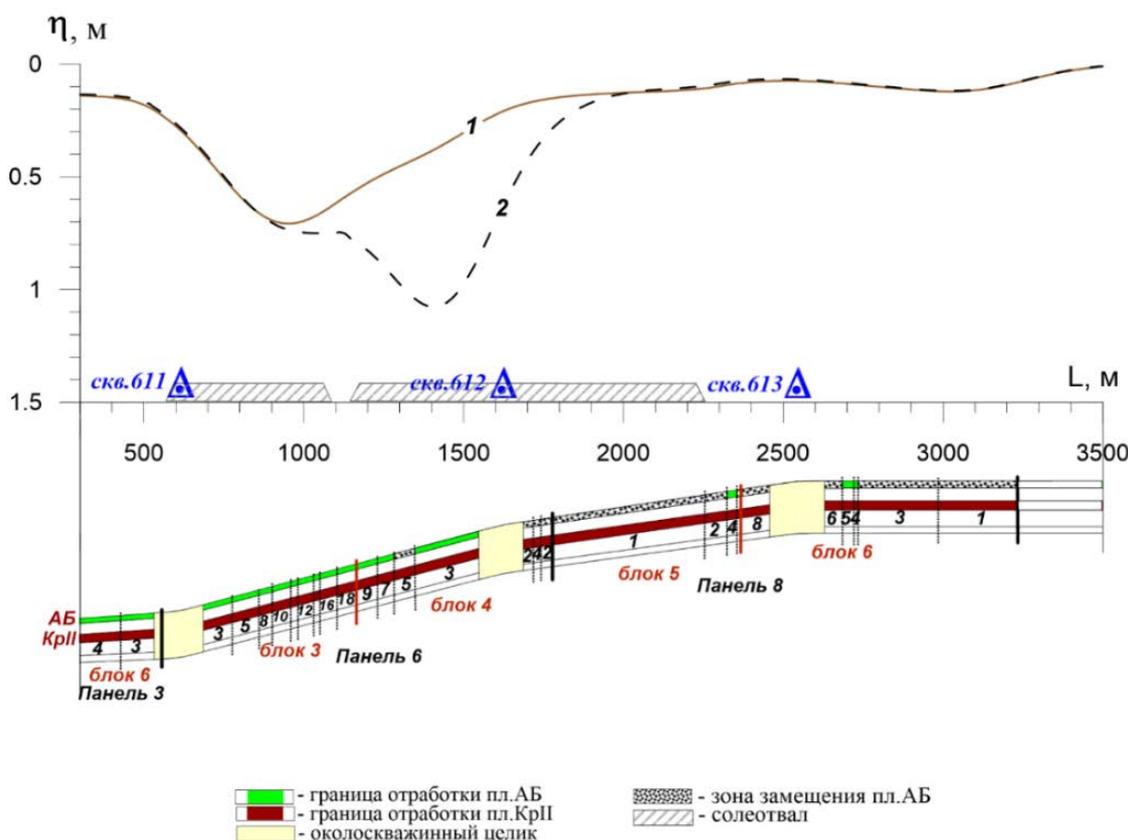


Рис. 4. Кривые деформирования земной поверхности при постоянной степени нагружения целиков (1) и при изменении ее во времени (2)

В качестве примера приведем характерный для условий ВКМКС участок с двухпластовой отработкой сильвинитовых пластов АБ и КрII. Выемочные зоны характеризуются различием параметров отработки. Для контрастности результатов в расчетной схеме учтено воздействие значительного по площади и высоте солеотвала и наличие вдоль профиля предохранительных околоскважинных целиков. При математическом моделировании влияние солеотвала учитывалось посредством задания в расчетной схеме распределенной нагрузки  $\gamma_s H_s$  ( $\gamma_s$  – объемный вес,  $H_s$  – высота солеотвала). С увеличением высоты солеотвала произошла потеря несущей способности междупластья в пределах зоны 3 блока 4 панели № 6. Покажем, как в последующем меняется во времени процесс нарастания оседаний земной поверхности, а также представим прогнозную критериальную оценку состояния массива, к примеру, на 2030 год.

Расчетные кривые оседаний земной поверхности вдоль геомеханического профиля с учетом обрушения технологического междупластья и без него представлены на рис. 5. Отличие мульды сдвижения заключается в том, что при обрушении междупластья на участке зоны 3 блока 4 формируется локальный максимум оседаний с гораздо более «резким» градиентом вблизи околоскважинного целика СКВ.612 и перегибом мульды в районе границы раздела блоков 3, 4, что свидетельствует о значительном повышении техногенной нагрузки на пласты ВЗТ на данном участке.



**Рис. 5.** Прогнозные расчетные оседания земной поверхности при отсутствии обрушения (кривая 1) и с его учетом (кривая 2)

Результаты, иллюстрирующие техногенную нарушенность пластов как в отсутствие разрушения междупластья, так и с его учетом, представлены соответственно на рис. ба и б.

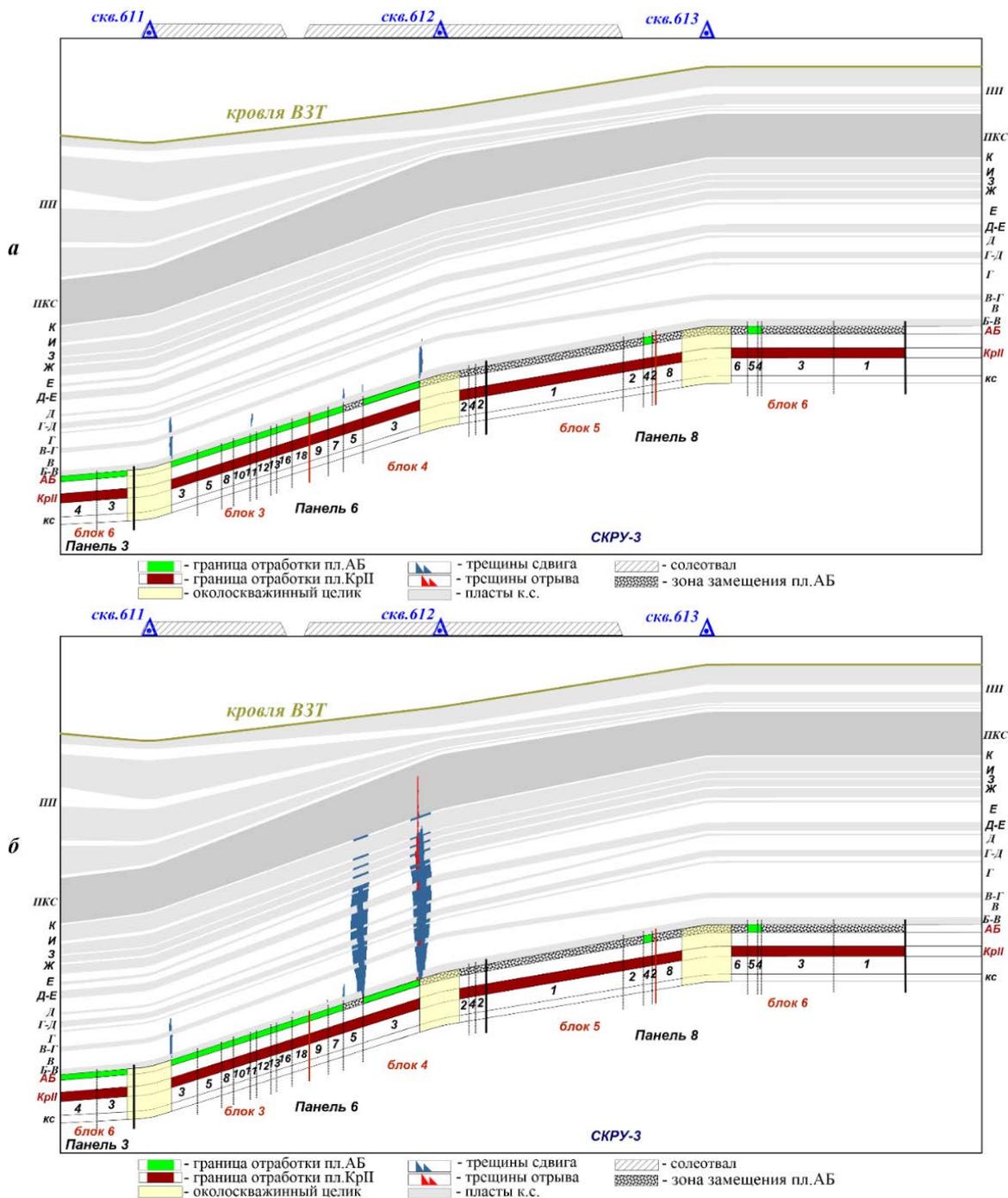


Рис. 6. Характер техногенного нарушения сплошности V3T:  
 а) при отсутствии обрушения междупластья; б) с учетом обрушения

Как видно, при обрушении междупластья в пределах зоны 3 блока 4 отличия, связанные с формированием зон субвертикальной трещиноватости, касаются только данного участка. Влияние обрушения выражается в том, что к 2030 году имеет место увеличение техногенной нагрузки на пласты V3T (рис. 4б), выраженное в существенном ухудшении геомеханической ситуации по сравнению с исходным вариантом деформирования массива (рис. 4а). Здесь в пределах предохранительного целика СКВ.612 на участке зоны 3 блока 4 прогнозируется максимальная по интенсивности зона разрушения карналлитовых пластов во всем интервале V3T (В, Г, Д, Е, Ж, З, И). Отмечается и потеря устойчивости межпластовой каменной соли

нижнего и среднего интервала ВЗТ (Б-В, В-Г, Г-Д, Д-Е, Е-Ж, Ж-З, З-И, И-К). Целостность сохраняют ПП и верхняя часть ПКС. У западной границы зоны 3 прогнозируется похожая ситуация с единственным отличием, что развитие субвертикальной нарушенности пластов каменной соли ограничено интервалом верхней части карналито-сильвинитовой зоны (Б-В, В-Г, Д-Е).

Таким образом, изменение характера кривой деформирования подработанного массива приводит к изменению динамики его разрушения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Барях А.А., Самоделкина Н.А. К расчету устойчивости целиков при камерной системе разработки // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2007. – № 1. – С. 11-20.
2. Baryakh A.A., Lobanov S.Y., Lomakin I.S. Estimation of salt rocks' long-term strength in natural conditions // Solid State Phenomena. – 2016. – V. 243. – P. 11-16.
3. Барях А.А., Телегина Е.А. Анализ условий разрушения водозащитной толщи при различных вариантах камерной системы разработки // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 1. – С. 34-40.
4. Барях А.А., Асанов В.А., Самоделкина Н.А., Паньков И.Л., Телегина Е.А. Геомеханическое обеспечение защиты калийных рудников от затопления // Горн. журн. – 2013. – № 6. – С. 30-34.
5. Цаюков А.А., Ломакин И.С. О деформационном критерии оценки устойчивости междукамерных целиков / А.А. Цаюков, И.С. Ломакин // Стратегия и процессы освоения георесурсов: сб. науч. тр. Вып. 16 / ГИ УрО РАН. – Пермь, 2018. – С. 106-109. DOI: 10.7242/gdsp.2018.16.27.
6. Малинин Н.Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М.: Машиностроение, 1975. – 400 с.
7. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике. – М.: Недра, 1987. – 221 с.: ил.
8. Барях А.А., Самоделкина Н.А. Об одном подходе к реологическому анализу геомеханических процессов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2005. – № 6. – С. 32-41. – DOI: 10.1007/s10913-006-0015-x.
9. Указания по защите рудников от затопления и охране подрабатываемых объектов на Верхнекамском месторождении калийно-магниевых солей: (технологический регламент): утв. ПАО «Уралкалий», ЗАО «Верхнекамская калийная компания», ООО «ЕвроХим-Усольский Калийный комбинат». – введ. в действие 30.03.2017 в ред. 2014 г. – Пермь; Березники, 2014. – 130 с.
10. Кузнецов Г.Н. Механические свойства горных пород. – М.: Углетехиздат. – 1947. – 180 с.
11. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с.: ил.

УДК 622.831

DOI:10.7242/echo.2021.4.6

## К ОЦЕНКЕ СТЕПЕНИ НАГРУЖЕНИЯ МЕЖДУКАМЕРНЫХ ЦЕЛИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ И В ШАХТЕ

А.В. Евсеев

*Горный институт УрО РАН, г. Пермь*

**Аннотация:** Согласно действующим нормативным документам для обеспечения равномерного характера деформирования водозащитной толщи степень нагружения целиков не должна превышать допустимых величин. Для оценки принятых параметров системы разработки на земной поверхности и в очистных камерах ведется инструментальный контроль протекающих процессов. В статье выполнен анализ результатов мониторинга для различных участков месторождений и сделан вывод о соответствии фактической степени нагружения расчетной величине.

**Ключевые слова:** оседание земной поверхности, междукамерные целики, степень нагружения, скорость деформирования, содержание Н.О., глинистые прослои.