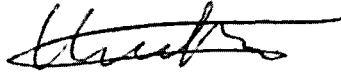


*На правах рукописи*

**ИЛЮХИН Дмитрий Александрович**



**ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ЗОНЫ ВОДОПРОВОДЯЩИХ  
ТРЕЩИН ПРИ РАЗРАБОТКЕ ЯКОВЛЕВСКОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД**

*Специальность 25.00.16 – Горнопромышленная и  
нефтегазопромысловая геоло-  
логия, геофизика, маркшей-  
дерское дело и геометрия  
недр*

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Санкт-Петербург - 2014



Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»

*Научный руководитель -*  
доктор технических наук, доцент  
*Гусев Владимир Николаевич*

*Официальные оппоненты:*

*Макаров Александр Борисович* - доктор технических наук, ФГБОУ ВПО «Российский государственный геологоразведочный университет им. С.Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ)», кафедра разработки месторождений стратегических видов минерального сырья и маркшейдерского дела, профессор

*Наумов Антон Сергеевич* - кандидат технических наук, ООО «СТИС», заместитель главного маркшейдера

*Ведущее предприятие – ЗАО «ВНИИ Галургии»*

Защита состоится 24 июня 2014 г. в 16 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.224.08 при Национальном минерально-сырьевом университете «Горный» по адресу: 199106, г. Санкт-Петербург, 21 линия, д.2, ауд. 3416а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального минерально-сырьевого университета «Горный» и на сайте [www.spmi.ru](http://www.spmi.ru).

Автореферат разослан 24 апреля 2014 г.

**УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ**  
диссертационного совета



**Корнилов**  
**Юрий Николаевич**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Гидрогеологические условия месторождения характеризуются как сложные в связи с наличием в разрезе пяти водоносных горизонтов. Водоносные горизонты разделены водоупором (глинами мощностью до 43 м) на два гидравлически изолированные комплекса: надкелловейский и подкелловейский. Нижний комплекс (подкелловейский) представлен нижнекаменноугольным водоносным горизонтом осадочной толщи и руднокристаллическим водоносным горизонтом рудовмещающей толщи. Исследованиями установлено, что основное участие в обводнении горных выработок принимают эти водоносные горизонты. Оба горизонта гидравлически связаны между собой, однако наличие глинистых отложений в подошве нижнекаменноугольного горизонта мощностью до 31 м, а также плотных переотложенных руд и карбонатизированных бокситовых образований в кровле руднокристаллической толщи мощностью до 60 м, затрудняют взаимосвязь указанных горизонтов. Работы по водопонижению в руднокристаллическом горизонте подтвердили, что подпиткой с каменноугольного горизонта можно пренебречь. В этой связи важное значение приобретает защита от образования техногенных водопроводящих трещин в разделительной водоупорной толще вследствие деформаций от ведения очистных работ. В систему защиты этого водоупора и рудника от подземных вод также входит предохранительный целик над очистным полем до подошвы каменноугольного водоносного горизонта, мощностью не менее 65 м.

На руднике принята слоевая система разработки с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. В настоящее время отрабатывается первый слой, который в дальнейшем будет являться защитной потолочиной при отработке нижележащих слоёв. За счёт недозакладки выработанного пространства, достигающего величин 0,4 м и более, в оставленном целике развиваются процессы сдвига и деформаций горных пород с образованием зон техногенных водопроводящих трещин.

Оценить степень нарушенности оставленного целика и разделительного водоупора глинистых отложений и плотных переот-

ложенных руд техногенными водопродводящими трещинами от очистных работ в первом слое является весьма актуальным для безопасной работы рудника. В связи с этим актуальным является определение границ зоны влияния сдвижения, разработка способа прогноза развития зон водопродводящих трещин для сложных горногеологических и гидрогеологических условий Яковлевского месторождения богатых железных руд.

Существенный вклад в развитие представлений о процессах сдвижений и деформаций горных пород, закономерностях образования техногенных трещин внесли С.Г. Авершин, А.Г. Акимов, И.М. Бахурин, Е.В. Бошенятов, А.С. Ведяшкин, Д.А. Казаковский, Ю.А. Кашников, И.А. Петухов, В.Н. Земисев, А.Б. Макаров, А.Н. Медянцев, Г.Л. Фисенко, А.Г. Шадрин, М.А. Шадрин, Б.Я. Гвирцман, В.Н. Гусев, В.Н. Дешковский, В.Н. Новокшенов, Ю.А. Норватов, А.С. Миронов, Ф.П. Стрельский, А.С. Ягунов и многие другие.

**Цель работы** – Повышение безопасности ведения горных работ под водоносными горизонтами.

**Основная научная идея** заключается в прогнозировании развития техногенных водопродводящих трещин с учётом данных натурных наблюдений за сдвижением горных пород, литологии, структурных особенностей и крепости пород подрабатываемой толщи.

**Основные задачи исследования:**

1. Оценка и анализ существующего опыта ведения горных разработок под водными объектами;
2. Проведение натурных наблюдений за сдвигами и деформациями подрабатываемого массива горных пород;
3. Определение зоны влияния очистных работ, исходя из особенностей геологического строения месторождения;
4. Выявление основных закономерностей распределения сдвижений и деформаций в подработанной очистными работами толще по данным наблюдений за сдвижением горных пород в подземных выработках и на поверхности;
5. Разработка методики прогноза параметров зоны водопродводящих трещин для горно-геологических условий месторождения.

## **Методы исследований**

- методы натуральных исследований процесса сдвижений горных пород (закладка наблюдательной станции в горных выработках и на земной поверхности, производство наблюдений по реперам профильных линий);

- обработка данных наблюдений за сдвижением реперов подземной и поверхностной наблюдательных станций;

- метод аналогий для установления идентичности процессов сдвижения горных пород между месторождениями;

- методы математической статистики по обработке результатов натуральных наблюдений за сдвижением и деформациями, обобщению опыта подработки водных объектов.

## **Защищаемые научные положения**

1. Для прогноза зоны сдвижения подрабатываемый массив горных пород над рудным телом необходимо разделить по физико-механическим свойствам на две группы: осадочные и рудовмещающие породы. Внутри каждой из выделенной группы прогноз параметров зоны сдвижения следует осуществлять с учётом особенностей геологического строения и физико-механических свойств горных пород, слагающих выделенные группы.

2. Доказано, что отношение максимальной кривизны на верхней границе зоны водопрводящих трещин к максимальной кривизне, фиксируемой глубинными реперами подземной наблюдательной станции, обратно пропорционально квадрату отношения высоты зоны водопрводящих трещин к расстоянию по вертикали до заложенного в скважину глубинного репера. Эту закономерность следует использовать для определения расстояния до верхней границы зоны водопрводящих трещин.

3. Прогноз высоты развития зоны водопрводящих трещин необходимо осуществлять с учётом крепости пород, в которых образуются трещины, функциональной связи граничной кривизны с содержанием пород глинистого состава в подрабатываемой толще и относительным центром распределения мощностей осадочной толщи, разделительного водоупора и предохранительного целика рудной толщи.

### **Научная новизна работы состоит в:**

- определении зависимости высоты зоны водопродвижающих трещин от распределения по мощностям слоёв пород в подрабатываемой толще;

- установлении зависимости значения граничной горизонтальной деформации от литологического состава пород подрабатываемой толщи;

- определении местонахождения слоя породы с граничной кривизной, являющегося верхней границей зоны водопродвижающих трещин, на основе выявленной из натуральных наблюдений закономерности распределения кривизны в подрабатываемой толще при формировании защитной потолочины в рудном теле богатых железных руд;

- повышении точности и достоверности определения высоты зоны водопродвижающих трещин путём учёта крепости пород, в которых развиваются водопродвижающие трещины, содержания глинистых пород и распределения мощностей осадочной толщи, наличия разделительного водоупора (глин, переотложенных руд и карбонатизированных бокситовых образований) и предохранительного целика рудной толщи над очистными работами.

Полученные научные результаты соответствуют паспорту специальности 25.00.16 – Горнопромышленная и нефтегазопромысловая геология, геофизика, маркшейдерское дело и геометрия недр: пункт 3 - Изучение сдвижения и деформаций породных массивов и земной поверхности, разработка методов и средств наблюдений, контроля и прогноза геомеханического состояния.

**Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и результатов работы** подтверждается согласованностью теоретических и полученных практических результатов прогнозирования развития зон водопродвижающих трещин в подрабатываемом массиве.

### **Практическая значимость работы:**

1. Полученные для условий Яковлевского месторождения углы сдвижения позволяют определять зону влияния очистных работ в массиве и на поверхности.

2. Установлены общие закономерности распределения максимальных оседаний, наклонов и кривизны в подрабатываемой толще.

3. Разработана методика определения высоты распространения зоны водопродвижающих трещин (ЗВТ), адаптированная к горно-геологическим условиям Яковлевского месторождения.

4. Для прогноза высоты ЗВТ и моделирования геомеханических процессов образования техногенных водопродвижающих трещин численными методами получена граничная горизонтальная деформация.

**Апробация работы.** Основные положения и результаты исследований были представлены на научных конкурсах и конференциях в 2011-2013 г.: Общероссийских форумах-конкурсах «Проблемы недропользования», V Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» в рамках форума «Нефтегазовое дело» в г. Пермь, Международном симпозиуме «Рудничный водоприток» в г. Фрайберг, 52й международной научной конференции на базе Краковской горно-металлургической Академии (Польша), III Международной заочной научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов «Современные проблемы освоения недр».

#### **Личный вклад автора.**

- получены натурные данные оседаний поверхностных и глубинных реперов в ходе прохождения стажировок на объекте исследования;

- по данным натурных наблюдений установлено, что отношения максимальных оседаний, наклонов и кривизны слоёв массива горных пород, расположенных на различном расстоянии по вертикали от выработки, соответственно обратно пропорционально корню квадратному отношения, отношению и квадрату отношения этих расстояний до слоёв с указанными вертикальными сдвигами и деформациями;

- определена зависимость высоты зоны водопродвижающих трещин от распределения по мощностям слоёв пород в подрабатываемой толще.

**Публикации.** Результаты диссертации в полной мере освещены в 4 работах, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК Министерства образования и науки РФ и 1 патенте

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 111 наименований, изложена на 125 страницах машинописного текста и содержит 31 рисунков, 6 таблиц.

Автор выражает благодарность своему научному руководителю профессору Гусеву Владимиру Николаевичу за поддержку и помощь в подготовке диссертации.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

В **первой главе** приведены общие сведения о процессах формирования зоны техногенных водопроводящих трещин. Представлены основные способы оценки параметров зоны, приведены их основные достоинства и недостатки. Отражена общая характеристика Яковлевского месторождения.

Во **второй главе** приведена геологическая характеристика пород Яковлевского месторождения, на основе которой произведено разделение массива на два комплекса пород. Создана и описана обобщенная геологическая модель подработанного массива. Произведена оценка степени подработанности Яковлевского месторождения. Приведены углы сдвижения с учетом особенностей строения подрабатываемой толщи.

В **третьей главе** изложены основные принципы получения натуральных данных о сдвижениях массива и земной поверхности. Описаны конструкция и схемы расположения наблюдательных станций. Приведены результаты обработки натуральных данных. Определены основные закономерности распределения сдвижений и деформаций в подрабатываемой толще горных пород. Предложен способ учета взаимного расположения слоев различной мощности в подработанной толще при прогнозе высоты распространения зоны водопроводящих трещин.

**Четвертая глава** посвящена расчету высоты зоны водопроводящих трещин с учетом свойств подработанного массива. Предложен способ перехода от граничной кривизны к граничной горизонтальной деформации. Установлена зависимость граничной гори-



зонтальной деформации от содержания глинистых пород в подработанном массиве. Произведен прогноз развития зоны водопроводящих трещин с учетом физико-механических свойств пород.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Для прогноза зоны сдвижения подрабатываемый массив горных пород над рудным телом необходимо разделить по физико-механическим свойствам на две группы: осадочные и рудовмещающие породы. Внутри каждой из выделенной группы прогноз параметров зоны сдвижения следует осуществлять с учётом особенностей геологического строения и физико-механических свойств горных пород, слагающих выделенные группы.

На основе анализа геологического материала разведки и до-разведки месторождения составлен обобщенный геологический разрез, на котором выделены два комплекса пород (рисунок 1):

- 1-й комплекс: породы кристаллического фундамента, названный как «рудовмещающая толща»

- 2-й комплекс: породы осадочной толщи, названный как «перекрывающая толща».

К рудовмещающим породам 1-го комплекса в зоне выветривания приурочено месторождение богатых железных руд, которое на разрезе показано в виде незакрашенной зоны около контура отработки **абем** (рисунок 1). Месторождение сложено слабыми, неустойчивыми породами с крепостью  $f < 0,3$ . Со стороны лежачего и висячего боков и нижней части месторождения залегают крепкие устойчивые породы (железистые кварциты, кристаллические сланцы), имеющие крепость  $f = 3 \div 4$ . Сверху рудовмещающая толща перекрыта породами осадочной толщи мощностью 470 – 550 м. Структурно слои пород перекрывающей толщи залегают практически горизонтально (угол падения до  $3^\circ$ ). Породы рудовмещающей толщи имеют угол падения  $65-70^\circ$ . Такое строение Яковлевского месторождения (горизонтальная слоистость перекрывающей толщи, крутонаклонная слоистость рудовмещающей толщи, особенности залегания рудного тела) предопределяет особенности протекания геомеханических процессов в 1-ом и 2-ом комплексах пород.

Гидрогеологическими исследованиями на месторождении установлено, что основное участие в обводнении горных выработок принимает нижний водоносный комплекс (подкелловейский), представленный нижнекаменноугольным водоносным горизонтом осадочной толщи и руднокристаллическим водоносным горизонтом рудовмещающей толщи (рисунок 1). В пределах существующего шахтного поля руднокристаллический водоносный горизонт осушен до нижней границы ведения горных работ до горизонта  $-425$  м. Между указанными горизонтами присутствуют глинистые отложения в подошве нижнекаменноугольного горизонта (мощность до 31 м) и плотные переотложенные руды и карбонатизированные бокситовые образования (мощность до 60 м). Как показывают гидрогеологические наблюдения глинистые отложения и плотные переотложенные руды относительного водоупора затрудняют взаимосвязь указанных горизонтов. Работы по водопонижению в руднокристаллическом горизонте подтвердили, что подпиткой с нижнекаменноугольного горизонта можно пренебречь. В этой связи важное значение приобретает предупреждение деформаций относительного водоупора (разделительной водоупорной толщи) вследствие ведения очистных работ (рисунок 1).

Углы сдвижения в рудовмещающей толще определялись для различных степеней подработанности по методике ВНИМИ для сложных условий залегания рудных тел. В рамках этой методики был осуществлен прогноз зоны опасных сдвижений для двух крайних условий разработки рудного тела:

- для неполной подработки при минимальной степени подработанности  $U = 0 \div 0,2$ ;

- для полной подработки при максимальной степени подработанности  $U = 0,8 \div 1,0$ .

Для  $U = 0 \div 0,2$  углы сдвижения в рудовмещающих породах составили  $\beta = 90^\circ$ ;  $\beta_1 = 58^\circ$ ;  $\delta = 90^\circ$ . Для  $U = 0,8 \div 1,0$  -  $\beta = 40^\circ$ ;  $\beta_1 = 50^\circ$ ;  $\delta = 55^\circ$ .

Задача определения углов сдвижения в перекрывающей толще решалась на основе метода аналогий, предложенного Д.А.Казаковским. согласно которому аналогия в протекании про-

# Вскрытие I

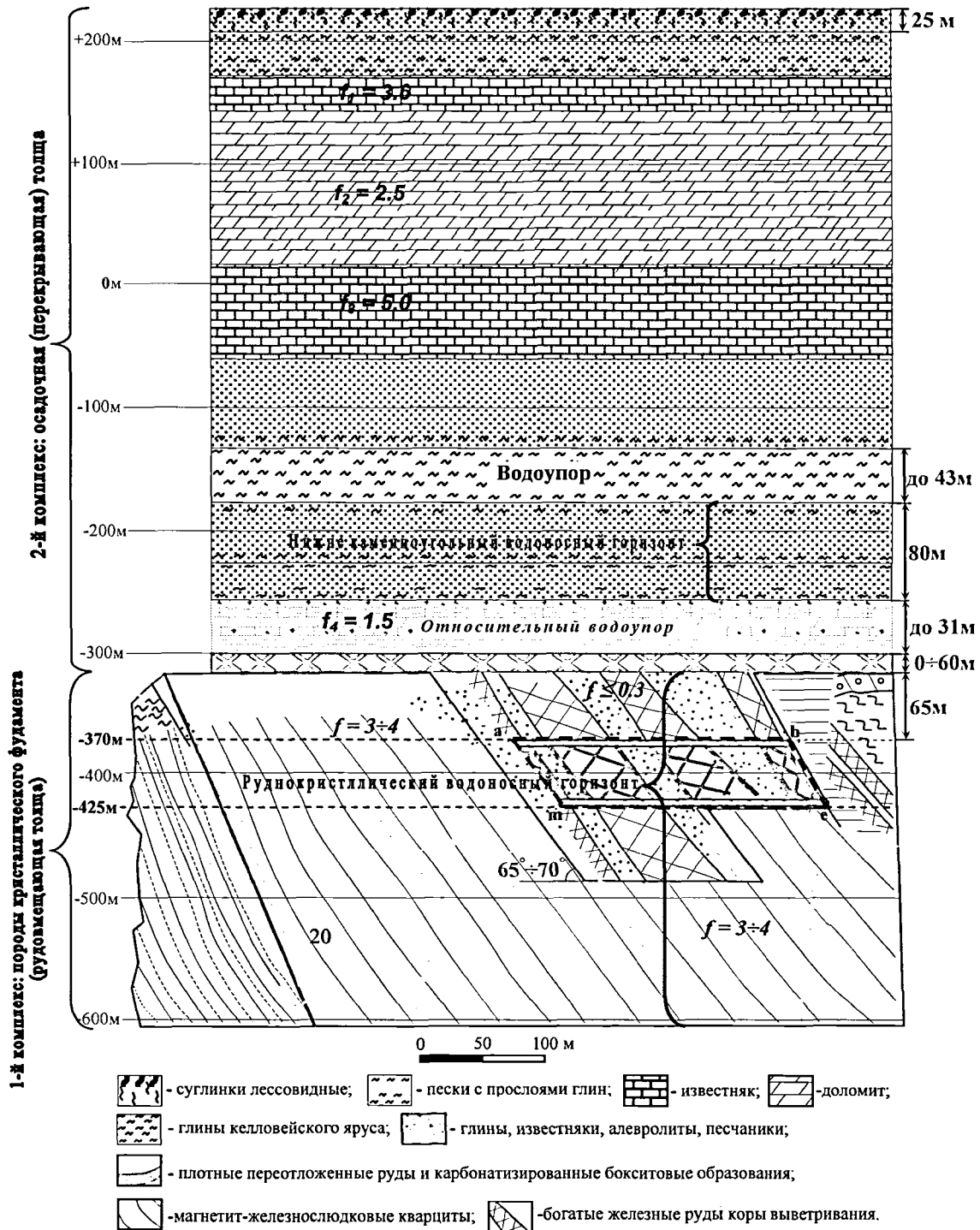


Рисунок 1 - Обобщённый геологический разрез месторождения богатых железных руд, принятый в качестве модели среды, в которой развиваются геомеханические процессы сдвига горных пород, и образование техногенных водопроницаемых трещин:

abem – контур отработки между гор. -370м и гор. -425м.

Вариант 2

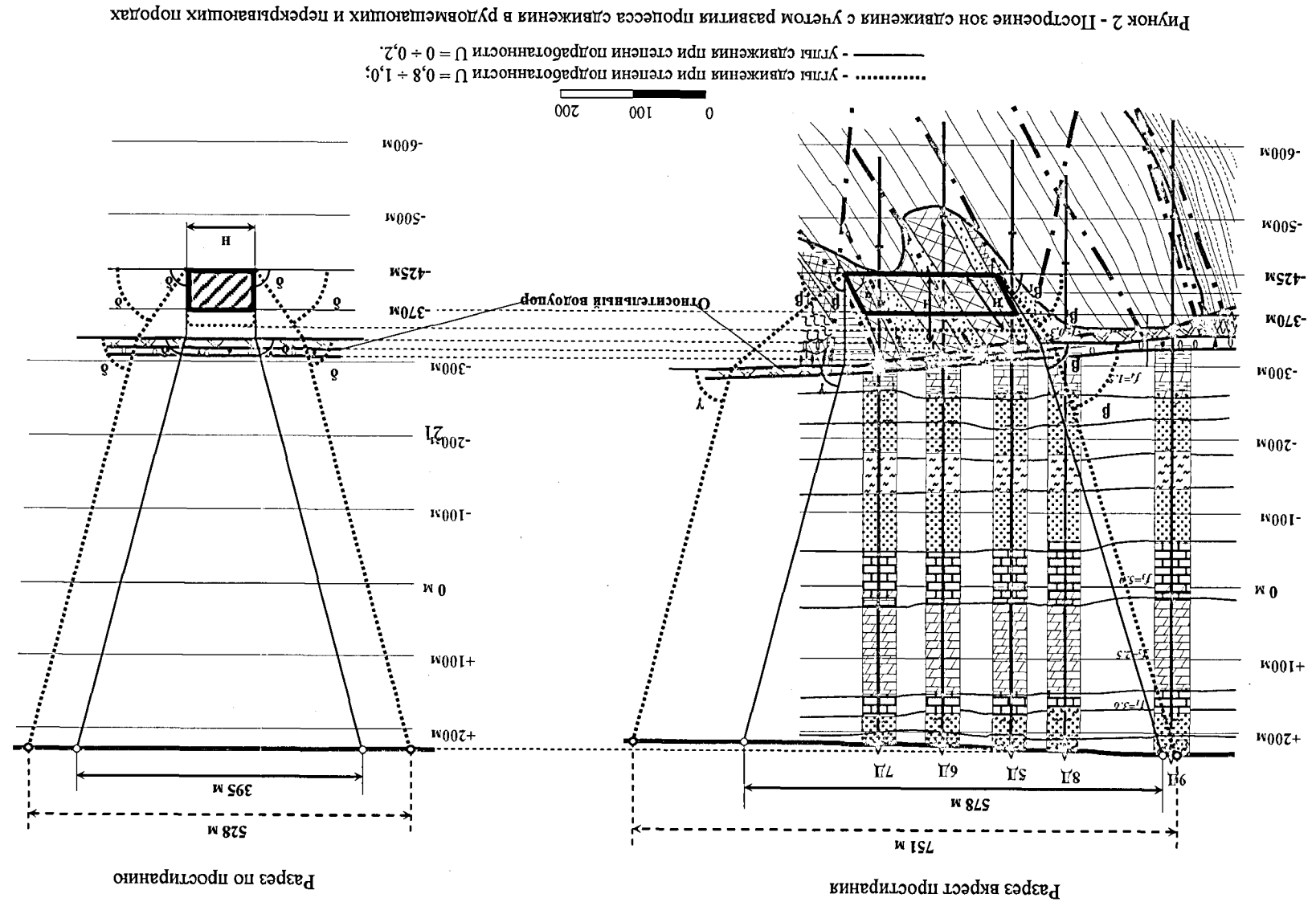


Рисунок 2 - Построение зон сдвига с учетом развития процесса сдвига в рудомещающих и перекрывающих породах

цесса сдвижения горных пород между различными месторождениями устанавливается по следующим признакам:

- общей геологической характеристике перекрывающих пород (слоистое строение, наличие известняков, алевролитов, песчанников, глин);

- физико-механическим свойствам (крепости) покрывающих пород.

Аналог определялся среди угольных месторождений с неизученным характером сдвижения горных пород, параметры процесса сдвижения для которых изложены в Правилах охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на угольных месторождениях (СПб, ВНИМИ, 1998 г.). На основе первого и второго признаков перекрывающие породы месторождения были отнесены к IV группе угольных месторождений, для которой углы сдвижения составили  $\beta = 73^{\circ}$ ,  $\gamma = 75^{\circ}$ ,  $\delta = 75^{\circ}$ .

Построение прогнозной зоны опасных сдвижений осуществлялось следующим образом. Сначала в пределах рудовмещающей толщи по соответствующим углам сдвижения строится зона опасных сдвижений от контура выработанного пространства до нижнего контура (подшвы) относительного водоупора (рисунок 2). Выше нижнего контура относительного водоупора зона опасных сдвижений прогнозируется по углам сдвижения в перекрывающих породах, которые откладываются от границ нижнего контура относительного водоупора как продолжение соответствующих углов сдвижения в рудовмещающих породах (рисунок 2).

**2. Доказано, что отношение максимальной кривизны на верхней границе зоны водопроводящих трещин к максимальной кривизне, фиксируемой глубинными реперами подземной наблюдательной станции, обратно пропорционально квадрату отношения высоты зоны водопроводящих трещин к расстоянию по вертикали до заложенного в скважину глубинного репера. Эту закономерность следует использовать для определения расстояния до верхней границы зоны водопроводящих трещин.**

Принципиально высоту зоны водопроводящих трещин (ЗВТ) можно определить по расстоянию от выработанного пространства до слоя с граничной кривизной (максимальной кривизной на верх-

ней границе ЗВТ). Для решения в таком виде поставленной задачи необходимо знать закономерности распределения кривизны в подрабатываемой толще.

На основе данных наблюдений за сдвижением горных пород С.Г. Авершинным были установлены соотношения между максимальными величинами оседаний, наклонов и кривизны слоев толщи, расположенных на различном удалении от выработанного пространства. Так, отношение величин максимальных оседаний поверхности и слоя пород массива обратно пропорционально корню квадратному из расстояний до точек фиксирования максимальных оседаний:

$$\eta_1 / \eta_2 = \sqrt{H_2 / H_1}, \quad (1)$$

где  $\eta_1$  – максимальное оседание поверхности, находящейся на расстоянии по вертикали от выработки  $H_1$ ;  $\eta_2$  – максимальное оседание слоя пород, расположенного на расстоянии по вертикали от выработки  $H_2$ . Отношение максимальных наклонов поверхности и слоя пород массива обратно пропорционально расстояниям до точек фиксирования максимальных наклонов:

$$\eta'_1 / \eta'_2 = H_2 / H_1, \quad (2)$$

где  $\eta'_1$  – максимальный наклон поверхности, находящейся на расстоянии по вертикали от выработки  $H_1$ ;  $\eta'_2$  – максимальный наклон слоя пород, расположенного на расстоянии по вертикали от выработки  $H_2$ . Отношение максимальной кривизны поверхности и слоя пород обратно пропорционально квадрату расстояний от выработки до поверхности и от выработки до слоя породы:

$$\eta''_1 / \eta''_2 = H_2^2 / H_1^2, \quad (3)$$

где  $\eta''_1$  – максимальная кривизна поверхности, находящейся на расстоянии по вертикали от выработки  $H_1$ ;  $\eta''_2$  – максимальная кривизна слоя пород, расположенного на расстоянии по вертикали от выработки  $H_2$ .

Для проверки соответствия распределений вертикальных сдвижений и деформаций в горно-геологических условиях рудника закономерностям (1), (2), (3) использованы данные геомеханического мониторинга, структура которого имеет следующий вид:

- геомеханический мониторинг в подземных горных выработках горизонтов –370м и –425м;

- геомеханический мониторинг на поверхности.

Мониторинг в подземных горных выработках проводится по глубинным реперам, заложенным в скважины, которые системно пробурены в кровле горных выработок, околнуривающих очистные панели или камеры. Реперы заложены в скважины на глубину 9 м для фиксации смещений массива горных пород, а не отслоений кровли, мощность которых по оценкам геолого-маркшейдерской службы рудника составляет величину порядка 4 м. Мониторинг на поверхности проводится по профильным линиям реперов, заложенных в пределах вероятной зоны влияния горных работ.

Совместный анализ данных геомеханического мониторинга по реперам подземных горных выработок и поверхности показал, что распределение вертикальных сдвижений и деформаций подчиняется закономерностям вида (1), (2), (3). Отсюда следует, что

$$\frac{K_G}{K} = \frac{H^2}{H_T^2},$$

где  $K_G$  – граничная кривизна (максимальная кривизна на верхней границе зоны водопродвдющих трещин);  $K$  – максимальная кривизна, фиксируемая глубинными реперами подземной наблюдательной станции;  $H$  – расстояние по вертикали от кровли выработки до заложенного в скважину глубинного репера ( $H = 9$  м);  $H_T$  – высота зоны водопродвдющих трещин. Решив это уравнение относительно  $H_T$ , определяют высоту зоны водопродвдющих трещин для соответствующего уровня максимальной кривизны, полученного из геомеханического мониторинга в подземных горных выработках.

**3. Прогноз высоты развития зоны водопродвдющих трещин необходимо осуществлять с учётом крепости пород, в которых образуются трещины, функциональной связи граничной кривизны с содержанием пород глинистого состава в подрабатываемой толще и относительным центром распределения мощностей осадочной толщи, разделительного водоупора и предохранительного целика рудной толщи.**

Согласно методу типовых кривых, связь высоты зоны водопродводящих трещин ( $H_T$ ) с граничными значениями кривизны ( $K_T$ ) и горизонтальной деформации ( $\varepsilon_T$ ) запишется следующим образом:

$$K_T = \frac{q_0 m \cos \alpha N_1 N_2}{H_T^2 (ctg \delta_0 + ctg \psi_3)^2} \cdot S''(z_x); \quad (4)$$

$$\varepsilon_T = \frac{0.5 a_0 q_0 m N_1 N_2 \cos \alpha}{H_T (ctg \delta_0 + ctg \psi_3)} S''(z_x), \quad (5)$$

где  $q_0$ ,  $a_0$  - соответственно относительное максимальное оседание и горизонтальное сдвигение;  $m$  - вынимаемая мощность пласта (слоя);  $\alpha$  - угол падения пласта (слоя);  $N_1$ ,  $N_2$  - коэффициенты, учитывающие степень подработанности, соответственно, вкрест и по простиранию извлекаемого пласта (слоя);  $S''(z_x)$  - функция типовой кривой кривизны и горизонтальных деформаций;  $H_T$  - высота зоны водопродводящих трещин (ЗВТ) или расстояние по вертикали от кровли выработанного пространства до слоя с граничной кривизной ( $K_T$ ) или граничной горизонтальной деформацией ( $\varepsilon_T$ );  $\delta_0$ ,  $\psi_3$  - соответственно граничный угол и угол полных сдвижений в главном сечении мулды сдвижения по простиранию пласта (слоя).

Из анализа данных натуральных определений высоты ЗВТ была получена граничная кривизна ( $K_T$ ) как функция содержания пород глинистого состава в долях от подрабатываемой толщи ( $A$ ):

$$K_T = 0.8 e^A \cdot 10^{-3}. \quad (6)$$

С учетом относительного центра распределения по мощности слоев подрабатываемой толщи ( $c$ ) граничная кривизна ( $K_{Tc}$ ) составит:

$$K_{Tc} = c \cdot K_T = c \cdot 0.8 e^A \cdot 10^{-3}. \quad (7)$$

Входящая в формулу (7) величина  $c$  находится по формуле

$$c = L_\phi / L, \quad (8)$$

где  $L_\phi$  - фактическое положение центра распределения мощностей слоёв, определяемое как  $L_\phi = \sum l_i / n$ , где  $l_1, l_2, \dots, l_n$  - расстояния по вертикали от кровли разрабатываемого пласта до кровли каждого из породных слоёв толщи;  $n$  - количество породных слоёв подрабатываемой толщи;  $L = H/2$  расстояние до центра распределения мощностей слоев в случае их одинаковой мощности;  $H$  - глубина очистной выработки.



Используя результаты наблюдений за сдвижением глубинных реперов подземной наблюдательной станции и закономерности (3) и (7), можно получить расстояние по вертикали от кровли закладочных выработок до слоя с граничной кривизной, то есть высоту ЗВТ, следующим образом:

$$\frac{K_{Гс}}{K_{15,м}} = \frac{H^2}{H_T^2}, \quad (9)$$

откуда

$$H_T = \sqrt{\frac{H^2 \cdot K_{15,м}}{K_{Гс}}} \quad (10)$$

где  $H_T$  – высота ЗВТ над очистными закладочными выработками гор. – 370 м;  $H$  – расстояние по вертикали от кровли выработки до глубинных реперов, по которым определяется кривизна;  $K_{15,м}$  – максимальная кривизна по глубинным реперам, приведённая к интервалу  $l_{15,м} = 15$  м, при котором была получена граничная кривизна  $K_{Гс}$  по формуле (7) при обработке натуральных данных. Расчёты по формулам (9) – (10) с привлечением данных геомеханического мониторинга по глубинным реперам показали, что максимальная высота развития ЗВТ, считая от кровли закладочных выработок гор. – 370 м Яковлевского рудника, составила 11 м. Исходя из этого, толща мощностью 60 – 70 м, оставляемая как защитная для относительного водоупора, будет на 15 ÷ 18 % нарушена техногенными водопроводящими трещинами.

Определение высоты ЗВТ через соотношение (10) даёт возможность, в комплексе с мониторингом геомеханических процессов, постоянно контролировать местоположение верхней границы ЗВТ, что важно для обеспечения безопасности ведения горных работ под водоносными горизонтами каменноугольной толщи.

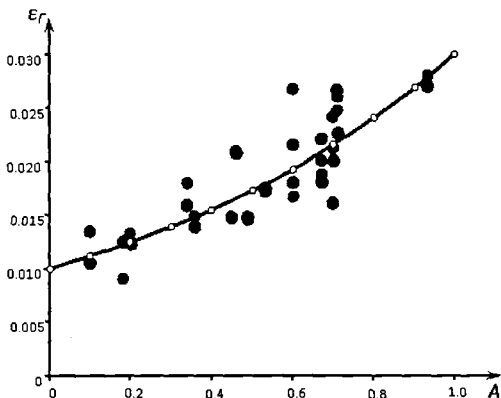
Между распределениями кривизны и горизонтальными деформациями существует взаимосвязь, основанная на качественном сходстве их распределений: кривизне выпуклости соответствуют горизонтальные деформации растяжения, кривизне вогнутости – деформации сжатия. Эту взаимосвязь можно записать как

$$\varepsilon_r = \rho K_r, \quad (11)$$

где  $K_G$  – граничная кривизна, определяемая по формуле (4);  $\varepsilon_G$  – граничная горизонтальная деформация, определяемая по формуле (5);  $p$  – переходный коэффициент взаимосвязи. После подстановки в (11) выражений (4) и (5) переходный коэффициент  $p$  определится из выражения

$$p = \varepsilon_G / K_G = 0.5 a_0 H_T (\text{ctg} \delta_0 + \text{ctg} \psi_3). \quad (12)$$

На основании натуральных данных определения высоты ЗВТ ( $H_T$ ) и граничной кривизны ( $K_G$ ) в различных угольных бассейнах, используя переходные формулы (11) и (12), были рассчитаны значения



● -  $\varepsilon_G$  рассчитанные по натуральным данным,  
 — график функции  $\varepsilon_G = 0.011 \cdot e^{1.14A}$ .

Рисунок 3 – Зависимость граничной горизонтальной деформации от содержания пород глинистого состава.

граничной горизонтальной деформации в этих конкретных горно-геологических условиях. По этим данным выведена зависимость граничной горизонтальной деформации от содержания глинистых пород в подрабатываемой толще (рисунок 3):

$$\varepsilon_G = 0.011 e^{1.14A}, \quad (13)$$

где  $\varepsilon_G$  – граничная горизонтальная деформация;  $A$  – содержание пород глинистого состава в долях от подрабатываемой толщи. С

учетом относительного центра распределения по мощности слоев подрабатываемой толщи ( $c$ ) граничная горизонтальная деформация ( $\varepsilon_{Gc}$ ) составит:

$$\varepsilon_{Gc} = c \cdot \varepsilon_G = c \cdot 0.011 e^{1.14A} \cdot 10^{-3}. \quad (14)$$

В результате, для оценки высоты ЗВТ по формулам (4) и (5) имеем входящие в эти уравнения величины  $K_G$  и  $\varepsilon_G$ , определяемые соответственно из выражений (6) и (13). Составной частью формул (4) и (5) является элемент  $(\text{ctg} \delta_0 + \text{ctg} \psi_3)$ , в котором  $\delta_0$  и  $\psi_3$ , являясь

угловыми параметрами процесса сдвижения, зависят от крепости пород ( $f$ ), слагающих месторождения. Значит можно записать, что  $ctg\delta_0 = F_1(f)$ ,  $ctg\psi_3 = F_2(f)$ , и  $(ctg\delta_0 + ctg\psi_3) = F_3(f)$  или  $(ctg\delta_0 + ctg\psi_3) = [F_1(f) + F_2(f)]$ . В результате обработки методами математической статистики были получены аналитические выражения этих зависимостей:

$$ctg\delta_0 = F_1(f) = 1.219 \cdot e^{-0.162 \cdot f} - 0.197; \quad (15)$$

$$ctg\psi_3 = F_2(f) = 0.517 \cdot e^{0.070 \cdot f} + 0.036; \quad (16)$$

$$(ctg\delta_0 + ctg\psi_3) = F_3(f) = 1.604 \cdot e^{-0.058 \cdot f} - 0.093, \quad (17)$$

где  $\delta_0$  и  $\psi_3$  – соответственно граничный угол и угол полных сдвижений на разрезе по простиранию пласта (слоя);  $f$  – крепость пород.

После преобразований (4) и (5) относительно  $H_T$  и подстановки выражений (7), (14) и (17), получим

$$H_T = \frac{100 \cdot c^{-1} m e^{-1.1A}}{(1.6 \cdot e^{-0.06f} - 0.09)}; \quad (18)$$

$$H_T = \frac{70 \cdot \sqrt{c^{-1} m e^{-A}}}{(1.6 \cdot e^{-0.06f} - 0.09)}. \quad (19)$$

Формулы (18) и (19) позволяют определять высоту распространения ЗВТ с учётом трех параметров: крепости пород, распределения мощностей слоев подработанной толщи и содержания в ней пород глинистого состава. Такой подход повышает достоверность оценки распространения зоны водопроводящих трещин в конкретных горно-геологических условиях и расширяет диапазон условий их применения для прогнозных оценок нарушенности техногенными водопроводящими трещинами.

### Заключение

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи по повышению безопасности ведения подземных работ под водоносными горизонтами при разработке железорудных месторождений на основе прогноза развития зоны водопроводящих трещин.

Основные научные и практические результаты работы заключаются в следующем:

1. Установлено, что для прогноза зоны сдвижения подрабатываемый массив горных пород над рудным телом необходимо разделить по физико-механическим свойствам на две группы: осадочные и рудовмещающие породы. Для каждой группы, на основе метода аналогий, определены углы сдвижения, с помощью которых в подрабатываемом массиве и на поверхности осуществляется построение границ зоны опасного влияния очистных работ.

2. По данным натуральных наблюдений установлено, что отношения максимальных оседаний, наклонов и кривизны слоёв массива горных пород, расположенных на различном расстоянии по вертикали от выработки, соответственно обратно пропорционально корню квадратному отношения, отношению и квадрату отношения этих расстояний до слоёв с указанными вертикальными сдвигами и деформациями.

3. Определена зависимость высоты зоны водопродвижающих трещин от распределения по мощностям слоёв пород в подрабатываемой толще.

4. Разработана методика прогноза высоты развития зоны водопродвижающих трещин, основанная на учёте крепости пород, в которых образуются трещины, содержания пород глинистого состава в подрабатываемой толще и распределения мощностей осадочной толщи, разделительного водоупора и предохранительного целика рудной толщи.

5. Определение высоты зоны водопродвижающих трещин (ЗВТ), через установленную по данным наблюдений за сдвижением горных пород закономерность распределения кривизны в подрабатываемой толще, даёт возможность, в комплексе с геомеханическим мониторингом, постоянно контролировать местоположение верхней границы ЗВТ, что важно для обеспечения безопасности ведения горных работ под водоносными горизонтами каменноугольной толщи.

6. Для прогноза высоты распространения зоны водопродвижающих трещин и моделирования геомеханических процессов их образования численными методами получена граничная горизонталь-

ная деформация, как функция литологического состава пород подрабатываемой толщи.

**Основные результаты диссертации представлены в следующих печатных работах:**

1. Илюхин, Д.А. Геомеханическая оценка развития зон водопроницаемых трещин в подрабатываемой толще. [Текст] / В.Н. Гусев А.С.Миронов, Д.А. Илюхин, Е.В.Анопов // Маркшейдерский Вестник. – 2011. – №5. – С. 39-44.

2. Илюхин, Д.А. Применение цифровых нивелиров для наблюдения за осадками сооружений. [Текст] / Д.А. Илюхин // Записки Горного института. – 2012. – т. 196. – С. 65-67.

3. Илюхин, Д.А. Определение параметров зоны водопроницаемых трещин через горизонтальные деформации подрабатываемой толщи. [Текст] / В.Н. Гусев, Д.А. Илюхин, А.Г. Алексенко // Записки Горного института. – 2013. – т. 204. – С. 69-73.

4. Илюхин, Д.А. Оценка степени нарушенности подрабатываемой толщи техногенными водопроницаемыми трещинами по данным геомеханического мониторинга в горных выработках Яковлевского рудника. [Текст] / В.Н. Гусев, Д.А. Илюхин, А.Е. Алексенко // Записки Горного института. – 2013. – т. 204. – С. 74-81.

5. Патент № 2477792 Российская Федерация, МПК E21C39/00 (2006.01) Способ определения высоты зоны водопроницаемых трещин над выработанным пространством на пластовых месторождениях / Гусев В.Н., Миронов А.С., Илюхин Д.А.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный горный университет»; - 2011141240/03; Заявл. 11.10.2011; Оpubл. 20.03.2013, Бюл. № 8 – 10 с.

РИЦ Горного университета. 23.04.2014. З.340. Т.100 экз.

---

199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, д.2