

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ОПАСНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ И ЗОН СДВИЖЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ТЫРНЫАУЗ

DETERMINATION OF THE BOUNDARIES OF DANGEROUS DEFORMATIONS AND SHEAR ZONES OF ROCKS AT THE TYRNYAUZ DEPOSIT

N. Agarkov,

post-graduate student;

V. Khaustov,

doctor of geological-mineralogical sciences,

professor;

N. Luk'yanenko,

post-graduate student;

N. Karpenko,

post-graduate student,

Belgorod State University,

Belgorod.

Displacements and deformations of rocks and the earth's surface can cause damage to engineering structures and buildings, mining facilities, an increase in water and gas permeability of rocks over the developed space, changes in the hydrogeological regime of surface and groundwater, activation of landslide processes.

The present study describes a method for determining the boundaries of rock movement zones at the Tyrnyauz tungsten-molybdenum deposit. The main causes and factors affecting the nature of the development of the process of rock movement are considered.

Keywords: zones of influence, boundaries of displacement zones, deformations, angles of displacement, deformations of the Earth's surface, collapses, geometric parameters.

Тырныаузское вольфрам-молибденовое месторождение локализовано в восточной части выклинивания геосинклинальной области Передового хребта на пересечении двух тектонических структур — субширотной Тынрыауз-Пшекишской шовной зоны и субмеридионального Транскавказского поднятия [1-3].

Район активизирован в альпийский этап складчатости и вовлечён в орогенное поднятие Большого Кавказа. Рудное поле Тынрыаузского месторождения отличается максимальной сложностью структуры домезозойского субстрата, альпийских и новейших деформаций, а также большим возрастным и формационным разнообразием стратифицированных образований и проявлений магматизма.

В геологическом строении рассматриваемой территории принимают участие протерозойские кристаллические сланцы комплекса основания, отложения раннегерцинского эвгеосинклинального, позднегерцинского орогенного, раннеальпийского субплатформенного комплексов, позднеаль-

Н.Б. Агарков,

аспирант;

В.В. Хаустов,

доктор геолого-минералогических наук,

профессор;

Н.А. Лукьяненко,

аспирант;

Н.Г. Карпенко,

аспирант,

НИУ «БелГУ»,

г. Белгород.

Ключевые слова: зоны влияния, границы зон сдвижения, деформации, углы сдвижения, деформации земной поверхности, обрушения, геометрические параметры.

пийские вулканы, а также интрузии герцинского и альпийского этапов развития [4].

В 1940 г. на базе Тынрыаузского вольфрам-молибденового месторождения был построен и введен в эксплуатацию горно-обогатительный комбинат. Месторождение отрабатывалось с 1940 по 1968 гг. подземным способом (рудником «Молибден»), с 1968 по 1993 гг. — комбинированным, одновременно подземным и открытым способами, с 1994 по 2001 гг. только подземным способом. На комбинате во второй половине XX века ежегодно перерабатывалось 6,6 млн. т. руды и производилось около 14 тыс. т. концентратов [3]. В 2001 г. комбинат приостановил свою работу. Решение о возобновлении эксплуатации крупнейшего в России вольфрам-молибденового месторождения было принято только в 2012 г. [8]. В этой связи актуальность проведенных исследований не нуждается в дополнительных доказательствах.

На месторождении вольфрам-молибденовых руд Тынрыауз имеются три природных типа руд: скарновые руды, скарнированные мраморы и роговиковые (молибденовые) руды, которые отличаются своим минералогическим составом, характером оруденения и технологией обогащения. На месторождении учитываются 22 рудных тела, трёх природных типов, из них: 14 скарнов, 5 — скарнированных мраморов и 3 — роговиковых рудных тел. Большинство рудных тел характеризуются, каким-либо одним типом руд, но в состав некоторых из них могут входить и другие типы руд при преобладании одного из них. Основным промышленным типом являются скарновые руды, среди которых наиболее крупными являются четыре рудных тела: Слепая залежь, Юго-западный фланг главного скарна, Южная рудная зона и Рудное тело 2, в которых заключено 60% всех запасов руд этого типа. Остальные 11 рудных тел скарнов являются сравнительно небольшими. Тынрыаузское месторождение представлено крутопадающими (60-80°) рудными телами крупных и средних размеров, а также рядом мелких линзообразных тел (см. рис. 1) [2-8].

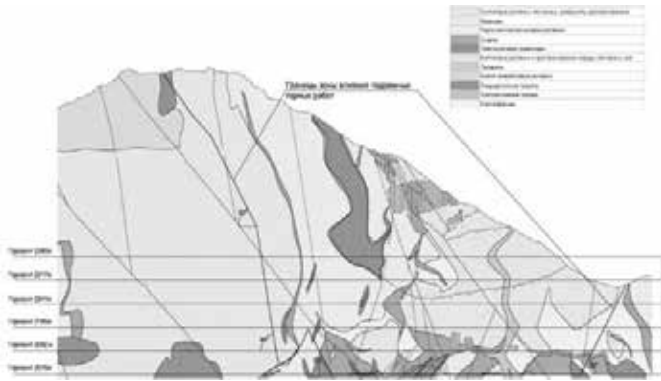


Рис. 1. Геологический разрез месторождения.

При подземной разработке рудных месторождений выделяют следующие зоны их влияния (рис. 2) [9-10]:

- ✧ зоны плавных сдвижений — часть области влияния, где отсутствуют разрывы сплошности пород, скорости оседания в этой зоне не превышают — 5 мм/месяц и максимальные деформации растяжения — 3×10^3 ;
- ✧ зона опасных сдвижений — часть области влияния, на которой возникают деформации опасные для зданий, сооружений и природных объектов;
- ✧ зона трещин — часть области влияния с разрывом сплошности пород. За внешнюю границу зоны трещин принимают крайний контур хорошо различных трещин на земной поверхности. Максимальные скорости оседания в пределах зоны трещин не превышает 300 мм/месяц; а горизонтальные деформации — 15×10^3 . Средняя скорость оседания земной поверхности при полном развитии процесса сдвижения земной поверхности в зоне трещин равна 5-30 мм/месяц;
- ✧ зону крупных трещин и террас, характеризующуюся трещинами с раскрытиями или уступом свыше 25 см.

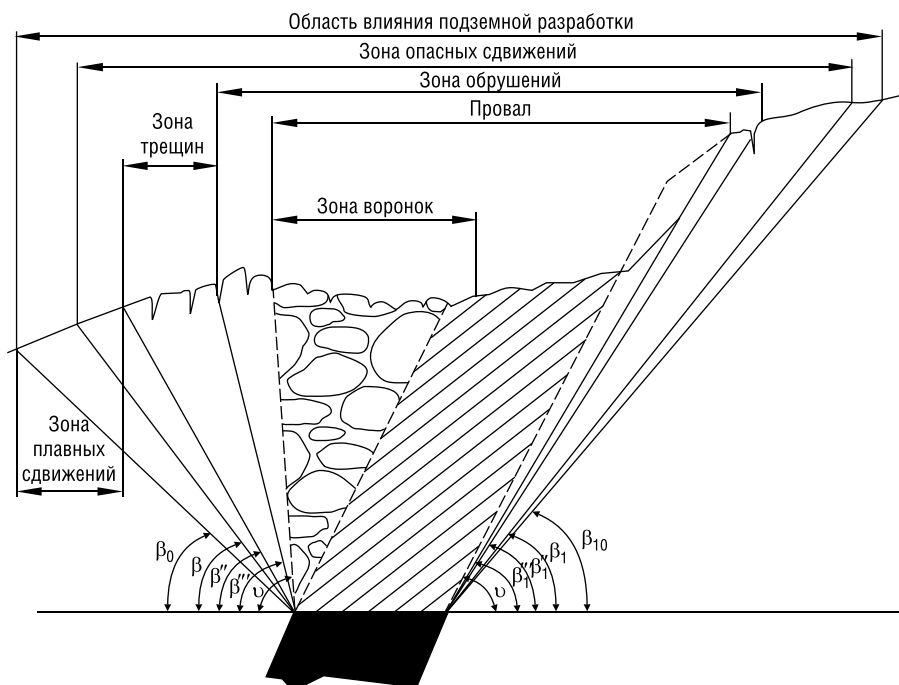


Рис. 2. Области влияния подземных выработок.

Максимальные скорость оседания в пределах зоны крупных трещин достигает величин 600 мм/месяц, а горизонтальные деформации — 20×10^{-3} . Средние скорости оседания земной поверхности при полном развитии процесса сдвижения равны 50-100 мм/месяц;

- ✧ зона обрушения — часть области влияния, характеризующаяся образованием воронок, провалов, террас и крупных трещин. Границы зоны влияния, зоны опасных сдвижений, трещин, обрушения, воронок на земной поверхности и массиве определяются относительно границ выработанного пространства соответственно граничными углами, углами сдвижения, разрывов, обрушения, воронко-образования (см. рис.2): со стороны висячего бока залежи — от нижней границы выработанного пространства — $\beta_0, \beta, \beta', \beta''$; со стороны лежачего бока залежи от нижней границы выработанного пространства — $\beta_{10}, \beta_1, \beta_1', \beta_1''$; по простиранию залежи от нижней границей выработанного пространства — $\delta_0, \delta, \delta', \delta''$, γ .

Граница зоны опасных сдвижений и углы сдвижения определяются по критическим деформациям земной поверхности. В настоящее время принимаются следующие критические величины деформаций земной поверхности [11]:

- а) горизонтальные растяжения — 2×10^{-3} (2 мм/месяц);
- б) наклонные — 4×10^3 (4 мм/месяц);
- в) кривизна — $0,2 \times 10^{-3}$ 1 м (0,2 мм/м²).

Основными факторами, определяющими характер и параметры процесса сдвижения горных пород и земной поверхности, являются:

- а) структурные особенности массива горных пород (слоистое и неслоистое строение, трещиноватость, крупные тектонические трещины, зоны дробления);
- б) физико-механические свойства вмещающих пород;
- в) углы падения рудных тел и вмещающих пород;
- г) форма и размеры рудных тел и мощность, соотношение размеров выработанного пространства и глубины разработки.

На процесс сдвижения горных пород и земной поверхности существенное влияние может оказывать рельеф земной поверхности. Подработка крутых склонов в условиях высокогорного рельефа приводит к образованию обширных оползней и обвалов пород, представляющих значительную опасность сооружениям и природным объектам, расположенным в зоне их влияния.

Оползни и обвалы при подработке крутых склонов происходят, как правило, по контактам коренных пород или по тектоническим нарушениям, угол падения которых превышает угол внутреннего трения, заполняющего их материала. Поэтому возможность появления оползня или обвала должна обязательно учитываться при ведении горных работ в условиях резко пересеченного рельефа. При разработке мощ-

ных крутопадающих залежей на небольшой глубине системой с обрушением вмещающих пород (Главный скарн, Слепая залежь) на земной поверхности обычно возникают воронки, провалы, террасы и трещины. С увеличением глубины горных работ, при прочих равных условиях, деформации земной поверхности уменьшаются или приобретают более плавный характер. Из всех форм проявления процесса сдвижения горных пород наибольшую опасность представляет внезапно образующиеся воронки. По условиям образования воронки разделяются на первичные и вторичные. Первичные воронки обрушения образуются при отработке верхних частей слепых залежей, в то время как вторичные воронки образуются в результате перепуска ранее обрушенных пород в выработанное пространство. При наличии в массиве тектонических нарушений большой протяженности, сдвижение пород может происходить в виде сдвигов по поверхностям этих ослаблений. Углы сдвижения достигают своих минимальных значений в условиях полной подработки, когда размеры выработанного пространства по простиранию и по падению залежи не меньше глубины разработки и площадь рудных и безрудных целиков не обеспечивают устойчивого состояния вмещающих пород [13-14].

Определение границ зоны опасного влияния подземных работ выполнено в соответствии с «Временными правилами охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород» (Л.: ВНИМИ 1986 г.) [11] и «Выполнение комплексных исследований сдвижения горных пород и разработка мер охраны сооружений при совместной разработке Тырнаузского месторождения открытым и подземными способами (заключительный отчет)» (Л.: ВНИМИ 1980 г.) [12].

В период эксплуатации на подземном руднике Тырнауз применялись системы разработки с обрушением налегающих пород: этажно-камерная система, система этажного принудительного обрушения, система подэтажного обрушения, а также в небольших объемах камерная система с сухой закладкой выработанного пространства.

Выемка с применением систем с обрушением рудных тел на 12 горизонтах с общей высотой более 900 м повлекла за собой обрушение вмещающих пород в карьере «Мукуланский», что привело к множественному образованию провалов и сдвижения северного борта карьера.

На сегодняшний день в пределах карьера «Мукуланский» зафиксировано 37 воронок перепуска (обрушения), причем образовались они как впоследствии добычи руд на глубинах 150-300 м, так и от разработки блоков новых горизонтов на глубинах 300-560 м. Установлено, что скорость оседания земной поверхности перед воронкообразованием составляет 50 мм/сутки и более.

Геометрические параметры, определяющие устойчивость горных пород и земной поверхности при отработке Тырнаузского месторождения, представлены в таблице 1 и на рисунке 3.

Для построения зон опасных сдвижений приняты угловые параметры (таб. 2) в соответствии с данными натурных наблюдений и указаниям «Временных правил» [11].

Построение зон сдвижения производилось в программном комплексе ГИС «Геомикс 3D» по принятым угловым параметрам для каждой залежи (рис. 4).

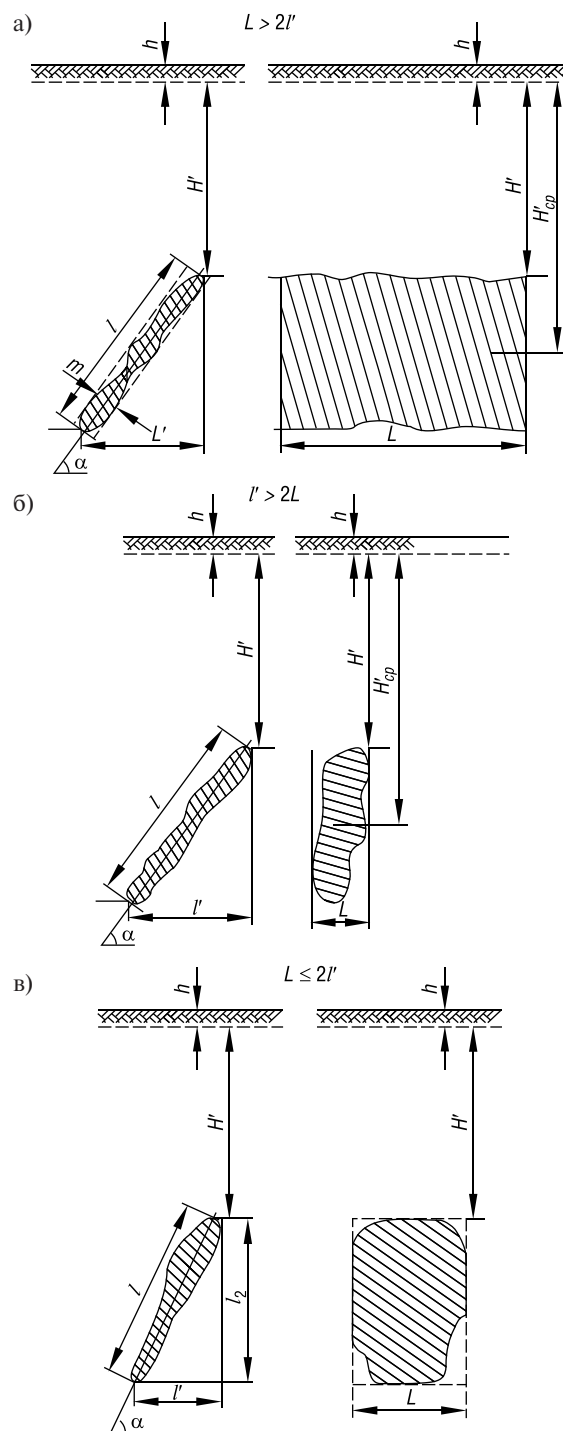


Рис. 3. Основные геометрические параметры, определяющие устойчивость горных пород и земной поверхности: а) залежи, вытянутые по простиранию; б) залежи ограниченных размеров по простиранию.

На рисунке 5 приведены результирующие зоны опасных сдвижений на поверхности.

Уточнение углов сдвижения с учетом закладки выработанного пространства будет производиться посредством инструментальных наблюдений, по мере возобновления отработки месторождения. Расчет выполнен на основании ранее построенной блочной модели месторождения, без учета тектонических нарушений и предохранительного целика, предусматриваемого проектом. Максимальные смещения наблюдаются в районе дна карьера и составляют 31 мм.

Таблица 1

Геометрические параметры, определяющие устойчивость горных пород и земной поверхности при отработке Тырнаузского месторождения.

Название залежи	H, м	L, м	Г, м	α°	l_2 , м	m, м	$S_{пл}$, м ²	S_p , м ²
Слепая залежь	231	930	159	66	375	18	23758	7128
ЛС1	505	240	5	90	76	4	943	328
ЛС2	523	160	7	87	225	4	698	723
ЛС3	474	74	3	90	225	3	198	220
Слепая залежь СЗ	491	167	40	67	73	10	1161	744
ЮЗФ	325	483	110	75	373	11	6435	3969
Нижняя залежь 1	523	172	72	63	149	34	5028	3050
Нижняя залежь 2	341	69	225	53	62	10	404	1582
Нижняя залежь 3	257	225	15	83	149	6	1955	529
Нижняя залежь 4	336	151	42	78	152	11	2081	1874
Главный скарн	312	380	28	88	225	3	2254	650
СЗ скарн 1	543	275	46	76	148	4	1033	707
СЗ скарн 2	615	89	23	86	227	3	208	618
ЮРЗ 1	372	301	20	79	77	10	1660	783
ЮРЗ 2	333	280	24	86	303	4	2024	1200

Таблица 1

Углы сдвижений породного массива для расчета зон влияния подземных горных работ.

Название залежи	Висячего бока β	Лежачего бока β_1	По простиранию δ
Слепая залежь	55°	55°	55°
ЮЗФ	55°	65°	55°
Главный скарн	60°	65°	75°
СЗ скарн	60°	65°	80°
Остальные рудные тела	65°	65°	70°

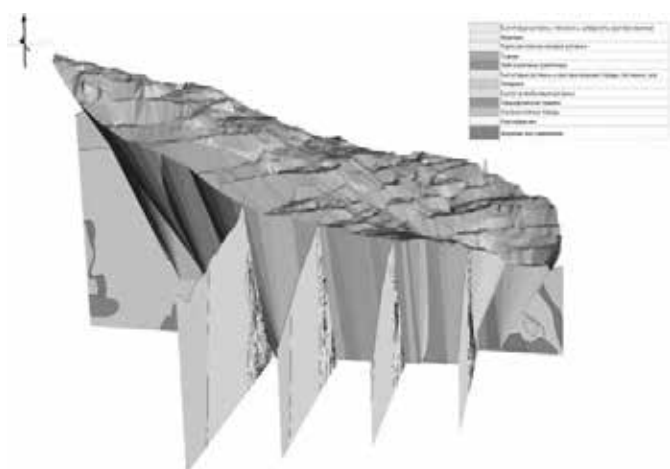


Рис. 4. Построение зон вероятного сдвижения земной поверхности.

Таким образом, при увеличении производительности горнодобывающих предприятий, в результате применения высокопроизводительных систем разработки, механизации добычи полезного ископаемого, усовершенствования организации труда и модернизации управления производствен-

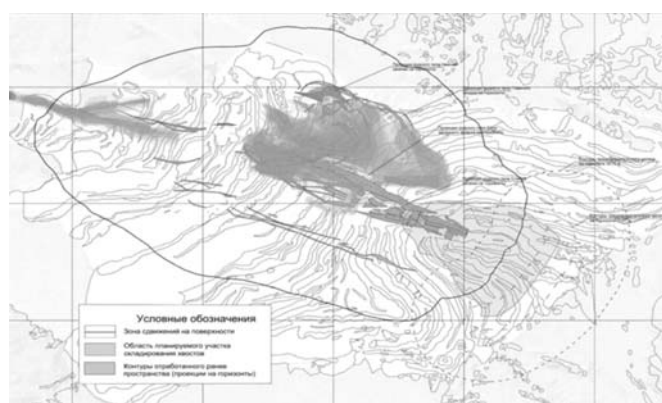


Рис. 5. Построение зоны вероятного сдвижения земной поверхности.

ными процессами, необратимо возникает реакция горного массива на интенсивность ведения горных работ, которая на поверхности отражается в виде мульды сдвижения — на земной поверхности образуется зона негативного влияния горных работ на здания, инженерные сооружения и различные объекты горнорудного производства.

Результаты изучения горно-геологических, горнотехнических и геомеханических особенностей на площади планируемых работ по возобновлению эксплуатации месторождения вольфрам-молибденовых руд Тырныауз позволяют утверждать, что проектируемые системы даль-

нейшей отработки с закладкой выработанного пространства и подэтажного обрушения руды и налегающих пород, не исключают рисков образования новых зон сдвижений и даже обрушений горных пород и руд в пределах горного отвода. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Пэк А.В. Геологическое строение рудного поля и месторождения Тырныауз. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 168 с.
2. Кононов О.В. Скарны Тырныауза, минеральные ассоциации и физико-химические условия образования // Докл. АН СССР. 1976. Т. 1, № 1. С. 51-62.
3. Курдюков А.А. Структура Тырныаузского рудного узла // Советская геология. 1979. № 7. С. 110-119.
4. Ляхович В.В. Связь оруденения с магматизмом (Тырныауз). М.: Наука, 1976. 424 с.
5. Хаустов В.В. Подземные воды и глубинная геодинамика Тырныауза. - Курск, изд-во КурскГТУ, 2009. - 180 с.
6. Хаустов В.В., Лушников Е.А. Карст мраморов месторождения Тырныауз // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер. Техника и технологии. 2011. № 1. С. 76-83.
7. Khaustov V.V., Ustiugov D.L. Formation of drainage waters of Tyrnauz deposit in ecological aspect // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2017. Vol. 87. P. 1-5.
8. Хаустов В.В., Тюпин В.Н., Агарков Н.Б. О дренажных водах месторождения Тырныауз на эксплуатационной и постэксплуатационной стадиях // Горный журнал. 2020. № 10. С. 100-104.
9. Sergeev S.V., Zinchenko A.V. & Yurchenko G.Y. In-situ estimation of stress-strain behavior of reinforced-concrete landing support. EUROCK 2018: Geomechanics and Geodynamics of Rock Masses, VOLUME 2. С. 1311.
10. Сергеев С.В., Сеница И.В. Совершенствование метода наблюдений за сдвижением массива пород при разработке глубоких месторождений // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и на сопредельных территориях. Материалы VII Международной научной конференции (памяти проф. Петина А.Н.). 2017. Издательство: Издательство «ПОЛИТЕРРА». 2017. С. 362-364.
11. «Временные правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния горных разработок месторождений руд цветных металлов с неизученным процессом сдвижения горных пород». - Л.: ВНИМИ, 1986. - 76 с.
12. «Выполнение комплексных исследований сдвижения горных пород и разработка мер охраны сооружений при совместной разработке Тырныаузского месторождения открытым и подземными способами (заключительный отчет)». - Л.: ВНИМИ, 1980 г. - 66 с.
13. Тагильцев С.Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во УГГА, 2003.
14. Хархордин И.Л., Гурин А.Н., Назима В.В., Иванов И.Н. Организация системы гидрогеомеханического мониторинга на месторождении им. М.В. Ломоносова // Горный журнал. 2012. № 7. С. 40-43.



РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ (МГРИ)

Информируем Вас

Университет берет свое начало с геологоразведочного факультета Московской горной академии, созданной в сентябре 1918 г.

Факультеты:

- ◆ Геологоразведочный факультет,
- ◆ Факультет технологии разведки и разработки,
- ◆ Факультет геологии и геофизики нефти и газа,
- ◆ Гидрогеологический факультет,
- ◆ Факультет экономики и управления,
- ◆ Экологический факультет

Для зачисления в Университет в 2022 году необходимо подать заявление о согласии на зачисление и оригинал документа об образовании не позднее 18 часов 28 июля 2022 года.

Контакты : 117997, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23; +7(495)255-40-20 10:00-18:00 e-mail: priem@mgri.ru,
<https://www.mgri.ru/commission/poryadok-postupleniya/>



WWW.N-GN.RU