

## Выводы

1. В режиме пуска при частотном регулировании броски тока статора и амплитуды колебаний частоты вращения коронки до 40 % меньше.

2. В режиме приложения нагрузки на коронку при частотном регулировании ток статора до 30 % меньше, чем в системе НАЭ — КБТ.

3. В режиме прихвата коронки при частотном регулировании броски напряжения и тока статора в 2 раза ниже при сравнении с системой НАЭ — КБТ.

4. Проведенный анализ энергетических показателей при бурении геологоразведочных скважин показал, что применение ЧРАЭ значительно снижает токи статора и момент приводного электродвигателя при

рассмотренных режимах. Это положительно влияет на такие показатели, как срок службы, надежность, безотказность электрооборудования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Балицкий, П.В. Взаимодействие бурильной колонны с забоем скважины / П.В. Балицкий. — М.: Недра, 1975.
2. Булатов, А.И. Техника и технология бурения нефтяных и газовых скважин. Учеб. для вузов / А.И. Булатов, Ю.М. Проселков, С.А. Шаманов. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003, Ил.
3. Калашников, В.И. Векторное управление асинхронным электроприводом / В.И. Калашников. — Донецк, ДонНТУ, 2006.

© Оливетский И.Н., Соловьев А.М., Башкуров А.Ю., 2021  
Оливетский Иван Николаевич // filimona2007@mail.ru  
Соловьев Андрей Михайлович // cyberlab@mail.ru  
Башкуров Артем Юрьевич // Bashkurov\_A@inbox.ru

## ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 631.124

Надеждина Ю.Ю. (Национальный исследовательский Томский политехнический университет)

### РОЛЬ РЕЛЬЕФА В РАЗВИТИИ СКЛОНОВЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПРИМЕРЕ РАЙОНА СТРОИТЕЛЬСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ЭЛЕГЕСТ-КЫЗЫЛ-КУРАГИНО

*Данная статья посвящена анализу рельефа и его влиянию на развитие склоновых геологических процессов в районе проектируемой железной дороги Элегест-Кызыл-Курагино. Исследуемая территория является малоизученной, в связи с чем есть необходимость в изучении природных условий, а также анализе возможности возникновения склоновых процессов и возможности их негативного влияния на инженерные сооружения. В работе проанализированы космоснимки и построены карты уклонов, экспозиции склонов. **Ключевые слова:** Кызыл, Курагино, железная дорога, инженерно-геологические процессы, космоснимки, уклон, экспозиция склона.*

Nadezhdina Yu. Yu. (National Research Tomsk Polytechnic University)

### THE ROLE OF THE RELIEF IN THE DEVELOPMENT OF SLOPE PROCESSES ON THE EXAMPLE OF THE ELEGEST-KYZYL-KURAGINO RAILWAY CONSTRUCTION AREA

*This article is devoted to the analysis of the relief and its influence on the development of sloping geological processes in the area of the designed Elegest-Kyzyl-Kuragino railway. The territory under study is poorly understood, and therefore there is a need to study natural conditions, as well as to analyze the possibility of slope processes and the possibil-*

*ity of their negative impact on engineering structures. In the work, space images are analyzed and maps of slopes and slope expositions are constructed. **Keywords:** Kyzyl, Kuragino, railway, geotechnical processes, space images, slope, slope exposure.*

### Актуальность

Актуальность исследований определена разработкой проекта железной дороги. Для Республики Тыва проектируемая железная дорога имеет важное значение. Такая высокая оценка обусловлена рядом причин: во-первых, сам факт отсутствия железной дороги в регионе; во-вторых, железная дорога станет толчком для социально-экономического развития Республики Тыва, путем повышения транспортной доступности и возможности реализации проектов разработки и экспорта перспективных месторождений; в-третьих, железная дорога свяжет Республику с Красноярским краем. Железная дорога планируется в крайне сложных инженерно-геологических условиях, в связи с чем следует оценить рельеф территории и его влияние на развитие геологических процессов, что и стало **целью работы**. Оценка необходима при принятии решений по размещению инженерных сооружений с целью наименьшего негативного влияния геологических процессов на инженерные сооружения и снижения опасности и урона окружающей среде. **Основная задача** заключается в характеристике рельефа на основе анализа космоснимков, а также построении карт уклонов, экспозиции склонов.

### 1. Общая информация о районе исследований

Район исследований протянулся через территории двух регионов: северо-западной части Тывы (до 120 км) и юго-восточной Красноярского края (до 290 км).

Климат характеризуется как резко континентальный со среднегодовой температурой минус 5,4 °С.

Лето жаркое и короткое всего до 3,5 месяцев, зима снежная и продолжительная. Количество осадков неравномерное и варьируется от 300 мм в год в районе Центрально-Тывинской котловины и до 2850 мм в высокогорном районе.

В связи с суровостью условий район исследований является малоизученным и малоосвоенным. Плотность населения составляет 1,89 чел/км<sup>2</sup> по Республике Тыва и 1,21 чел/км<sup>2</sup> для территории Красноярского края [20].

## 2. Методика исследований

Для оценки влияния рельефа на развитие склоновых процессов района исследований использовались данные дистанционного зондирования космическим термоэмиссионным и отражающим радиометром ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), который представляет собой глобальную цифровую модель рельефа GDEM (Global Digital Elevation Model), представленную в виде растровых изображений. Растры преобразовываются в цифровую модель посредством дополнительных программных модулей. В данном случае обработка осуществлялась посредством геоинформационных программных продуктов ArcGIS. Космоснимки находятся в открытом доступе, можно извлечь необходимые фрагменты из общей базы «NASA Earthdata Search» бесплатно [21]. Территорию исследований покрывают 12 фрагментов карты, которые соединены в единую мозаику, представляющую собой шкалу оттенков серого, каждому из которых принадлежит своя высотная отметка (рис. 1).

В результате работы с цифровой моделью рельефа были построены карта уклонов, экспозиций склонов, высотных отметок и другие, на основании которых проводился анализ рельефа. Дополнительно на листы карт были нанесены планируемые железнодорожные станции и близ расположенные населенные пункты.

## 3. Основная часть

Развитие современных геологических процессов (в частности, склоновых), которые оказывают осложняющее воздействие при освоении территории являются климат, рельеф, литология, растительность и др. Развитие процессов требует проведения защитных мероприятий для безопасной эксплуатации и строительстве инженерных сооружений. Понятие склоновых процессов принято в соответствии с обобщенной инженерно-геологической классификацией процессов и явлений, составленной Т.Я. Емельяновой [7] на основании классификаций разных авторов (Золотарев Г.С. [9], Ломтадзе Г.С. [11], Саваренский Ф.П. [19]).

Анализ многочисленных публикаций показывает, что влияние рельефа на развитие геологических процессов является одним из ключевых, однако и сам рельеф изменяется под влиянием процессов.

Значительное влияние рельеф оказывает на развитие склоновых процессов. Причиной тому служит ряд факторов: распределение напряжений в верхних горизонтах земной поверхности, уклон поверхности, экспозиция склонов и другие.

*Распределение напряжений в верхних горизонтах земной поверхности* напрямую зависит от рельефа. В пределах зоны влияния горизонтальные нормальные напряжения изменяются значительно больше вертикальных. Наиболее существенные изменения наблюдаются вблизи неровных форм рельефа, а максимальные напряжения сосредоточены в местах перегибов с максимальной кривизной поверхности, например, в основаниях склонов, перевалах, днищах долин и других [15]. Наибольший интерес вызывает распределение напряжений в склонах. Максимальная концентрация напряжений приурочена к перегибам оснований склонов — в этих местах происходит потеря устойчивости в результате разрушения пород.

В частности, оценка влияния рельефа земной поверхности на распределение напряжений в основании железной дороги играет важную роль для повышения надежности железной дороги, которая будет иметь большую загруженность. Объемы грузоперевозок в первый год установлены суммарно порядка 2 млн т, для второго — пятого годов порядка 12 млн т, на последующие годы грузоперевозки уже составят — от 15 до 27 млн [5]. Скорость грузовых поездов до 90 км/ч, пассажирских до 120 км/ч. Разрешенная максимальная масса нагруженных поездов до 6 тыс. т [16].

На развитие склоновых процессов оказывают влияние *крутизна и длина склона*. Предпосылки склоновых процессов прослеживаются уже начиная

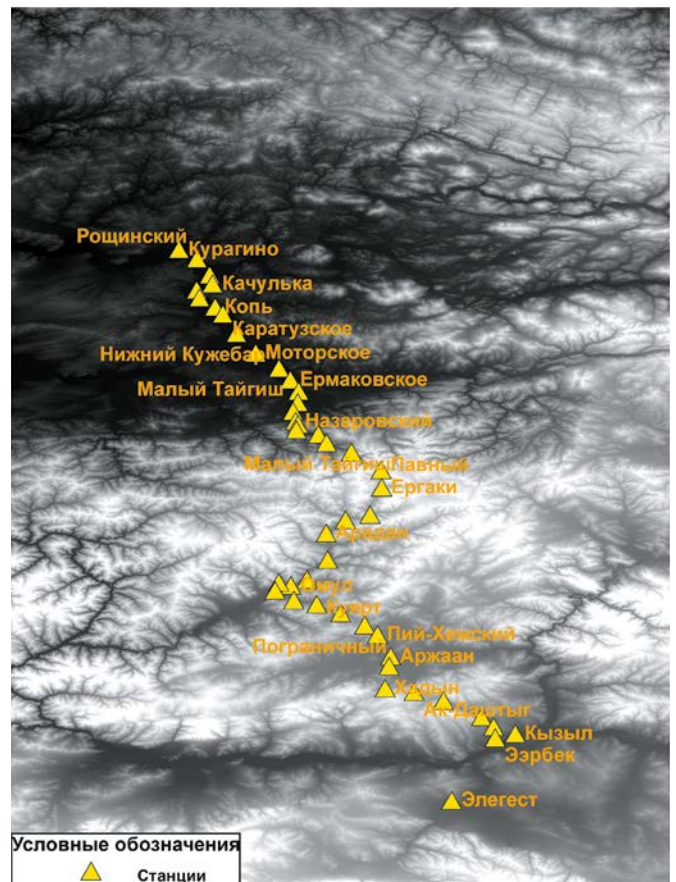


Рис. 1. Мозаика снимков SRTM. Масштаб 1 : 1 000 000



с 2–3° [4]. При увеличении крутизны склонов до 8° увеличивается интенсивность процессов. Силы тяжести способствуют сносу разрушенного материала вниз по склону, в связи с чем изменяется мощность почвенного слоя. Почвенный слой уменьшается на возвышенных и наклонных участках и увеличивается в направлении сноса материала в область понижений, где и уклон соответственно меньше. При возведении железной дороги и сопутствующей инфраструктуры для нарушенных склонов, уклон которых составляет порядка 10–12°, необходимо проводить защитные мероприятия. Величина уклона определяет многие ландшафтные характеристики и процессы: влагообменные процессы в верхних слоях грунтов, интенсивность поверхностного стока, инфильтрация влаги в верхние слои почвы, количество солнечной энергии, поглощаемое поверхностью, процессы выветривания и другие.

Интенсивность поверхностного стока увеличивается с крутизной склона. Известно, что при увеличении скорости стекания стока по склону в 2 раза увеличивается несущая сила потока в 64 раза [18]. Инфильтрация влаги в верхние слои почвы с увеличением угла уклона уменьшается.

Количество получаемой энергии оказывает влияние на процессы выветривания и микроклимат верхних слоев грунтов, что находит отражение в растительном покрове.

Диапазон углов уклона района составляет от 0° до 90°. При анализе применялась классификация, предложенная В.К. Жучковой и Э.М. Раковской [8]. Выбор классификации этих авторов объясняется тем, что она является довольно подробной, простой в понимании и в настоящее время часто употребляемой при оценке рельефа местности.

На карте уклонов (рис.2) отмечены проектируемые станции. Размещение станций в зависимости от уклона приводится ниже.

Там, где угол уклона составляет *меньше 4°, 4–10° и 10–20°*, расположены следующие станции: начальная станция — Курагино; Качулька, Копь, Верхний Кужебар, Нижний Кужебар, Ермаковское, Назаровский, Аржаан, а также конечные — Кызыл, Элегест. Согласно классификации [8] рельеф там характеризуется как равнинный с плоской поверхностью (для уклонов меньше 4°), пологими склонами (для уклонов 4–10°);

*Уклоны 20–30°, 30–45°* встречаются в районе станций Омул, Куярт, Пограничный, Хадын, Ак-Даштыг, Ээрбек. Станции приурочены к предгорной зоне и склоны характеризуются как склоны средней крутизны (для уклонов в 20–30°), крутые (для уклонов в 30–45°) и, как правило, приурочены к предгорной зоне.

Уклоны 45–60°, больше 60° встречаются в районе станций Павный, Ергаки. Станции приурочены к зоне максимальных высотных отметок, которые достигают 2900 м (рис. 2) и имеют чрезвычайно трудные условия строительства, склоны характеризуются как очень крутые (для уклонов 45–60°) и скалистые (обрывистые) (для уклонов больше 60°) (рис. 2).

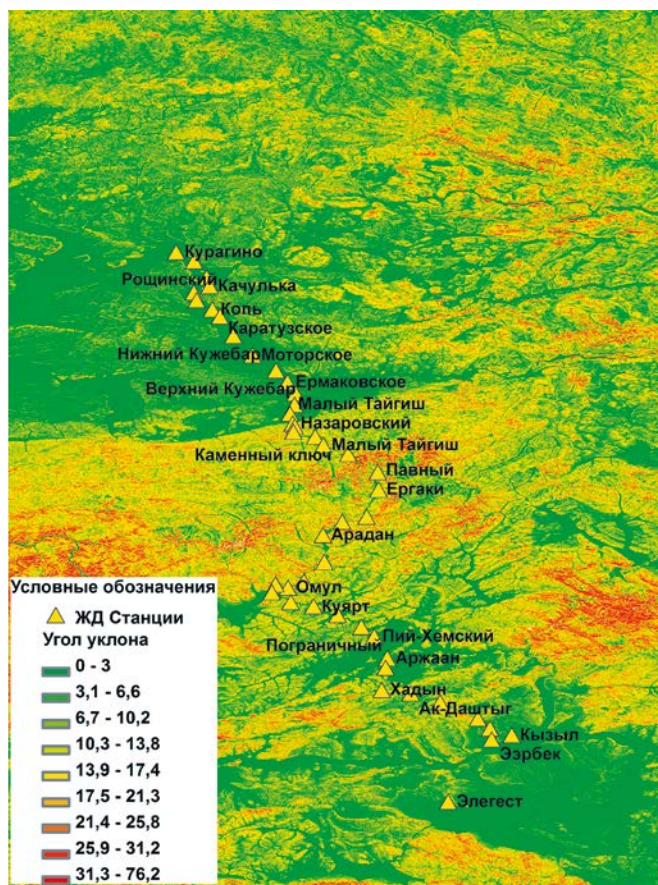


Рис. 2. Карта уклонов. Масштаб 1:1 000 000

В соответствии с ранжированием территории по углам уклонов при строительстве необходимо учитывать возможность возникновения гравитационных процессов.

*Экспозиция* относится к одной из основных морфометрических показателей склонов. Пространственная ориентация склонов относительно сторон горизонта характеризует степень теплообеспеченности солнечной энергией дневной поверхности (радиационный и термический режимы), направление ветра, затенение склонов, снеговой и влажностный режимы, глубину промерзания и оттаивания. Все вышеуказанные параметры оказывают влияние на развитие процессов в целом, а также на хозяйственное освоение территорий [12,13]. Склоны с южной экспозицией характеризуются рыхлым быстро тающим снегом, поверхность прогревается и просыхает быстрее склонов с другими экспозициями, что предопределяет приоритет размещения сооружений на склонах южной экспозиции на исследуемой территории.

В северном полушарии солнечная радиация убывает в следующем порядке: южные склоны, западные, восточные и меньше всего попадает на северные. В связи с тем, что южные склоны подвержены более интенсивному прогреванию, границы высотных поясов сдвигаются вверх, северные располагаются ниже. На северные склоны солнечные лучи падают под острым углом, а днем рассеиваются, что существенно



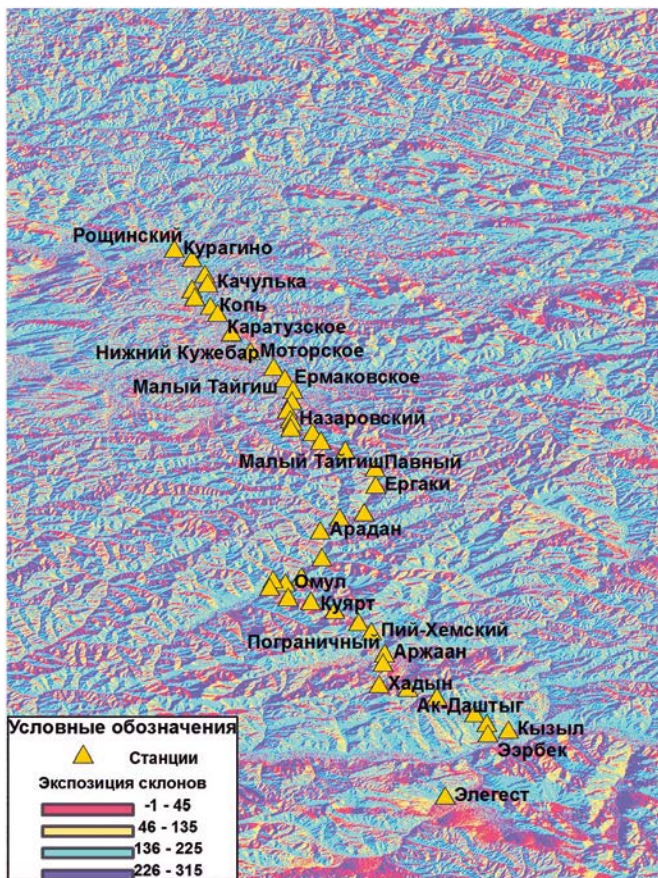


Рис. 3. Экспозиции склонов. Масштаб 1:1 000 000

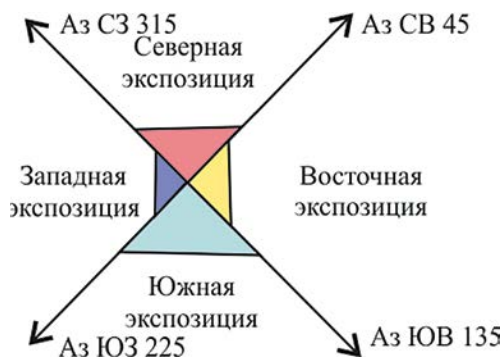


Рис. 4. 4 основных румба

сказывается в прогревании воздуха и поверхности земли, в том числе и снеготаянии [6]. Процессы, развивающиеся на склонах разной экспозиции, являются рельефообразующими. Они определяют формирование асимметрии гор, речных долин, оврагов и других форм рельефа. Обвалы и осыпи характерны крутым берегам рек, бортам оврагов и др. Участки сползания характерны крутым склонам преимущественно южной экспозиции [10,14]. На более крутых склонах интенсивнее сток воды и соответственно смыв почвенно-растительного слоя, что затрудняет условия для развития растений. Вышеуказанные факторы, действующие на склонах разной экспозиции, определяют интен-

сивность и направление развития геологических процессов преимущественно гравитационного характера [1, 3, 17].

Экспозиция склонов исследуемой территории оценивалась по 4 основным румбам: северному, южному, восточному и западному (рис. 3, 4).

На северных склонах исследуемой территории количество осадков варьируется в пределах от 800 до 1000 мм (район Верхнего Амыла). Резко контрастирует количество осадков на южных и восточных склонах, которое не превышает 500 мм [1, 3, 17].

Мощный снежный покров, достигающий 150–250 см, на северных склонах (Ергаки, Таргак, Тайга) способствует проявлению лавинного процесса. В высокогорьях северных склонов развиты снежники, которые сохраняются на протяжении всего лета. Сеть лавинных очагов густотой в 5–10 шт/км приурочена наветренным склонам северо-западной и западной экспозиций Саянского хребта, которые имеют сильно расчлененный рельеф. Хребты Танну-Ола, нагорье Сангилен и значительная доля Западного Саяна, имеющие средне расчлененный рельеф, характеризуются густотой лавинной сети лоткового типа до 5 шт/км. Густотой лавинной сети, не превышающей 1 шт/км, характеризуются восточные склоны Тувинской котловины [1, 3, 17].

#### 4. Заключение

Космические снимки в настоящее время широко применяются в геологии в связи с доступностью, периодической актуализацией и широтой методов и инструментов интерпретации данных. В данной работе проведена интерпретация данных дистанционного зондирования (SRTM) при помощи программного пакета ArcGis, на основании которой охарактеризован рельеф района исследований и его влияние на развитие склоновых геологических процессов. Оценка проводилась по картам уклонов, экспозиции склонов, а также на основе литературных источников информации. В дальнейшем для количественной характеристики рельефа необходимо посчитать площади склонов различных экспозиций, площади уклонов по процентам, также провести интерпретацию данных по метеорологическим станциям и другие исследования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Божинский, А.Н. Основы лавиноведения / А.Н. Божинский, К.С. Лосев. — Л.: Гидрометеиздат, 1987. — 280 с.
2. Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова [электронный ресурс]: режим доступа к информации: <http://www.geogr.msu.ru/avalanche/regions/als/sa.doc/sa.htm>.
3. География лавин. — М.: МГУ, 1992. — 334 с.
4. Дьяконов, К.Н. Мелиоративная география / К.Н. Дьяконов, В.С. Аношко. — М.: МГУ, 1995. — 257 с.
5. Единая информационная система в сфере закупок [электронный ресурс]: режим доступа к информации: <https://zakupki.gov.ru/223/purchase/public/purchase/info/common-nfo.html?regNumber=31908597144>.
6. Елисеева, М.В. Ландшафтная асимметрия степного предуралья как фактор неоднородности свойств почв / М.В. Елисеева // Вестник Оренбургского государственного университета. — Оренбург, 2015. — Вып. 6 (116). — С. 123–126.
7. Емельянова, Т.Я. Инженерная геодинамика / Т.Я. Емельянова. — Томск: Изд-во ТПУ, 2009. — 135 с.

8. Жучкова, В.К. Методы комплексных физико-географических исследований / В.К. Жучкова, Э.М. Раковская. — М.: Изд-во Академия, 2004. — 368 с.
9. Золотарев, Г.С. Инженерная геодинамика / Г.С. Золотарев. — М.: Изд-во МГУ, 1983. — 328 с.
10. Кравченко, И.В. Оценка морфологических особенностей рельефа центрального Кавказа для анализа формирования ландшафтов / И.В. Кравченко, Л.А. Галачиева, Т.З. Джандубаева, А.Д. Ибрагимов // Известия ДГПУ. — Махачкала, 2014. — Вып. 3. — С. 92–97.
11. Ломтадзе, В.Д. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. — Л.: Недра, 1977. — 479 с.
12. Мехбалиев, М.М. Влияние экспозиции склонов на естественно-хозяйственную систему (на примере междуречья Мазымчая и Гирдыманчая) / М.М. Мехбалиев // Матер. III Междунар. науч.-практ. конф.: Молодежь и наука: Реальность и будущее. Т.V. Естественные и прикладные науки: Сб. статей. — Невинномысск, 2010. — С. 286–287.
13. Мехбалиев, М.М. Прикладная морфометрия / М.М. Мехбалиев // Матер. IV Междунар. науч.-практ. конф.: Молодежь и наука: Реальность и будущее. Т.IV. Естественные и прикладные науки: Сб. статей. — Невинномысск, 2011. — С. 400–404.
14. Попов, Ю.В. Общая геология: Учеб. пособие к разделу «Континентальные склоновые процессы и отложения» / Ю.В. Попов, О.Е. Пустовит. — М-Берлин: Директ-Медиа, 2016. — 48 с.
15. Смолин, И.Ю. Численное исследование влияния распределения прочности в области земной коры блочной структуры на напряженно-деформированное состояние / И.Ю. Смолин, А.Ж. Ахметов, П.В. Макаров // Перспективные материалы с иерархической структурой для новых технологий и надежных конструкций: Междунар. конф.: Сб. тезисов. — Томск, 2015. — С. 553–554.
16. Степанов, И.В. Железная дорога Кызыл — Курагино: из прошлого в будущее [электронный ресурс]: Континент Сибирь Онлайн, 2015 — режим доступа: <https://ksonline.ru/207646/zheleznaya-doroga-kyzyl-kuragino-iz-proshlogo-v-budushhee>.
17. Трошкина, Е.С. Лавинный режим горных территорий СССР / Е.С. Трошкина. — М.: ВИНТИ, 1992. — 196 с.
18. Танасиенко, А.Д. Экологические аспекты эрозийных процессов: Аналит. обзор / А.Д. Танасиенко, А.Ф. Путилин, В.С. Артамонова / СО РАН. ГПНТБ. Институт почвоведения и агрохимии / Науч. ред. И.М. Гаджиев. — Новосибирск, 1999. — 95 с. — (Сер. Экология. Вып. 55).
19. Сергеев, Е.М. Инженерная геология / Е.М. Сергеев. — М.: Изд-во МГУ, 1978. — 384 с.
20. Федеральная служба государственной статистики [электронный ресурс]: режим доступа к информации: <https://gks.ru/folder/12781>.
21. EARTHDATA [электронный ресурс]: режим доступа к информации: <https://search.earthdata.nasa.gov/search>.

© Надеждина Ю.Ю., 2021

Надеждина Юлия Юрьевна / levak.yuliya@mail.ru

УДК 550.8.028+553.495

Теровская Т.С.<sup>1</sup>, Кеслер А.Г.<sup>1</sup>, Лаптев Ю.И.<sup>2</sup>, Носков М.Д.<sup>1</sup>, Солодов И.Н.<sup>3</sup> (1 — Северский технологический институт НИЯУ «МИФИ», г. Северск, 2 — АО «Далур», 3 — АО «Атомредметзолото»)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ УРАНА СПОСОБОМ ПОДЗЕМНОГО ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ

Рассматривается поведение различных индикаторов загрязнения, таких как уран, серная кислота, сульфат ион, железо, алюминий и др. Представлено программное обеспечение, способное описывать миграцию загрязня-

ющих компонентов в процессе скважинного подземного выщелачивания и после его завершения. **Ключевые слова:** геотехнологическое моделирование, скважинное подземное выщелачивание, геоэкология, миграция загрязняющих веществ, экология, математическое моделирование.

Terovskaya T.S.<sup>1</sup>, Kesler A.G.<sup>1</sup>, Laptev Yu.I.<sup>2</sup>, Noskov M.D.<sup>1</sup>, Solodov I.N.<sup>3</sup> (1 — Seversk Technological Institute of National Research Nuclear University MEPHI, 2 — DALUR, 3 — Atomredmetzoloto)

## MODELING THE GEOECOLOGICAL CONSEQUENCES OF THE DEVELOPMENT OF URANIUM DEPOSITS BY THE IN-SITU LEACHING PROCESS

The behavior of various pollution indicators, such as uranium, sulfuric acid, sulfate ion, iron, aluminum, etc., was considered. The software that can describe the migration of polluting components in the process of downhole leaching and after its completion is presented. **Keywords:** geotechnological modeling, in situ leaching, geoecology, migration of pollutants, ecology, mathematical modeling.

### Введение

Важным условием развития уранодобывающих предприятий является мониторинг состояния геологической среды и обеспечение экологической безопасности разработки месторождений. Метод скважинного подземного выщелачивания (СПВ) оказывает меньшее влияние на окружающую среду по сравнению с традиционными подземным и открытым горными способами. Добыча урана осуществляется с помощью сооружения системы технологических скважин, вскрывающих содержащий рудное тело продуктивный горизонт. В нагнетательные скважины подаются выщелачивающие растворы, способные избирательно растворять урансодержащие минералы. Наибольшее распространение в мире получил способ серноокислотного СПВ. Продуктивный раствор извлекается на поверхность откачными скважинами и поступает на перерабатывающий комплекс для сорбционного извлечения урана. Таким образом, добыча осуществляется без извлечения руды на поверхность путем избирательного растворения минералов урана непосредственно в недрах. При этом разработка месторождения не сопровождается образованием отвалов вскрышных пород и хвостохранилищ, осушением подземных водоносных горизонтов, образованием сбросных вод гидрометаллургических заводов и др. Однако при разработке месторождения методом СПВ в результате нагнетания выщелачивающего раствора и взаимодействия его с вмещающей породой происходит загрязнение подземных вод петрогенными и техногенными веществами [1, 2, 6].

Для проведения мониторинга состояния продуктивного горизонта и оценки геоэкологических последствий СПВ целесообразно использовать методы математического моделирования. Это обусловлено сложностью происходящих при СПВ процессах и их высокой инерционностью, недостатком информации о