

## МИГРАЦИЯ ВЕЩЕСТВА ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ И ИХ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ

КОНОВАЛОВ В. Е., GERMANOVICH Ю. Г.

*При разработке месторождений полезных ископаемых образуется специфическая техногенная среда, которая характеризуется следующими компонентами: горной массой, техноземами, рудничным воздухом и рудничными водами. Под воздействием компонентов техногенной среды в процессе добычи полезных ископаемых и их первичной переработки происходит миграция веществ в твердом, жидком и газообразном состоянии. В статье обобщены пути миграции веществ с учетом их влияния на окружающую среду и возможных последствий, в том числе негативного характера. Показано, что горные работы сопровождаются, как правило, перемещением горной массы с образованием пустых полостей на земной поверхности и в недрах и насыпей на земной поверхности, т. е. с образованием техногенного рельефа. Кроме этого, перемещение насыщенных вредными веществами атмосферного воздуха (рудничный воздух) и природных поверхностных и подземных вод (рудничные и промышленные воды) негативно воздействует на окружающую среду, являясь причиной ее загрязнения, в том числе почвенного слоя, вплоть до его полной деградации и превращения в техноземы. Следствием непосредственного воздействия природных и техногенных (антропогенных) факторов может быть возникновение чрезвычайных ситуаций, выражающихся в опасных, быстропротекающих, порой неконтролируемых процессах перемещения масс горных пород и грунтов в виде оползней и обрушений бортов карьеров и откосов отвалов, провалов и оседаний земной поверхности над подземными горными выработками, разрушения дамб накопителей жидких отходов и затопления территории ниже по рельефу и т. п. Предложены мероприятия, позволяющие уменьшить вредное влияние горных работ на окружающую среду.*

**Ключевые слова:** баланс горной массы; горнопромышленный комплекс; массив горных пород; миграция вещества; объекты горнопромышленных ландшафтов; рудничный воздух; рудничные воды; техногенная среда; техноземы.

При разработке месторождений полезных ископаемых (МПИ) компоненты природной среды (недра, почва, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный и животный мир и др.) [1] изменяются в процессе ведения горных работ и обогащения полезных ископаемых и образуются компоненты техногенной среды: горная масса (вскрышные и вмещающие породы, руды), техноземы (техногенно-измененные почвы), рудничные воздух и воды, в том числе компоненты, образуемые при первичной переработке полезных ископаемых (отходы обогащения, промышленные воздух и воды).

Монолитный массив горных пород вследствие производства горных работ превращается в несвязную горную массу различного гранулометрического состава. Это вскрышные и вмещающие породы (размер куска горной породы со-

---

**Коновалов Владимир Ефимович** – кандидат технических наук, доцент кафедры геодезии и кадастров. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: vek-1951@mail.ru

**Германович Юлия Геннадиевна** – старший преподаватель кафедры геодезии и кадастров. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет. E-mail: juli.ug@yandex.ru

ставляет от 1,5 м до 0,01 м), которые складываются в отвалы или в гидроотвалы при гидромеханизированном методе разработки МПИ. Если это рудная масса, то она перемещается, как правило, на склады усреднения руды, после чего поступает в первичную переработку. Твердые отходы горного производства, попадая на почву и перемешиваясь с ней, способствуют ее деградации, загрязнению и потере плодородных свойств, формируя своеобразные антропогенные почвы – техноземы.

В свою очередь, рудничный воздух – это атмосферный воздух, который, поступая в горные выработки и перемещаясь по ним, изменяет свои физические свойства (давление, температуру, скорость, влажность и т. д.) и химические свойства, насыщаясь выделениями из горных пород и руд, а также продуктами взрывных работ [2] и горения полезных ископаемых [3].

Рудничные воды образуются из природных поверхностных и подземных вод в результате промышленного производства, ливневых стоков, промышленных сбросов и дренажных вод. Рудничные воды можно разделить на поверхностные (карьерный водоотлив) и подземные (шахтный водоотлив). В отличие от природных в составе рудничных вод находятся механические взвеси, инертные и опасные химические вещества, поступающие при ведении горных работ из горных выработок в процессе растворения в водах выделяющихся газов из горных пород и руд, продуктов взрывных работ, химических реагентов при бурении скважин, результатов работы карьерного и шахтного оборудования [4]. Промышленные воды образуются в процессе ведения горных работ и обогащения полезных ископаемых в виде ливневых стоков с отвалов и промышленных площадок и промышленных сбросов из объектов обогатительных фабрик, в том числе из шламо- и хвостохранилищ.

Период строительства технологических объектов горнопромышленного комплекса (ГПК), т. е. период образования первичных объектов горнопромышленных ландшафтов (ГПЛ) [5], характеризуется значительным механическим переносом горных масс – пустых (вскрышных и вмещающих) пород (рис. 1) и незначительным изменением геохимического состава почв, взаимодействующих с образуемыми объектами ГПЛ. Загрязнения происходят в основном за счет работы технологического оборудования.

Геохимическое состояние образуемых ГПЛ, несмотря на то что почвы подвергаются постоянному загрязнению, нетоксичное, так как породы налегающей толщи не содержат токсичных химических элементов, в основном это грунты и горные породы. Воды, поступающие в горные выработки, в процессе водоотлива откачиваются на поверхность и содержат химические вещества только от работающего в горных выработках оборудования и продуктов производства взрывных работ. Кроме этого, вредные вещества поступают от ливневых стоков с территории строительных площадок (промышленные стоки) либо в очистные сооружения, либо на рельеф. Негативное воздействие рудничного воздуха ограничивается выбросами газов от работающего оборудования и производства взрывных работ, а также сносом ветром частиц грунта и пустых пород с отвалов и строительных площадок. Существенных негативных геохимических изменений в ГПЛ не происходит. В физическом смысле идет увеличение площади и накопление объемов образованных объектов ГПЛ.

Период добычи полезного ископаемого характеризуется значительно меньшими переносами горной массы в основном за счет вмещающих пород, перемещением добытого полезного ископаемого на обогатительную фабрику непосредственно или первоначально на усреднительные склады, где происходит перемешивание богатой и бедной руды, а далее со складов – на первичную пере-

работку (обогащение) полезного ископаемого. После обогащения отходы от первичной переработки полезного ископаемого в виде жидкой смеси (пульпы) или сухих отходов (хвостов) перемещаются либо в накопители жидких отходов – шламо- и хвостохранилища или прудки-отстойники, либо в отвалы сухих хвостов.

По технологии разработки МПИ предусматривается формирование отвалов бедных руд, т. е. вмещающих пород, с низким содержанием полезного компонента (некондиционные запасы полезного ископаемого). Такие руды в будущем, при усовершенствовании технологии переработки полезного ископаемого, могут быть использованы в виде техногенно-минерального сырья (вторичных МПИ).

При разработке месторождений жидких и газообразных полезных ископаемых возможно временное хранение отходов от бурения скважин (шламов) в шламовых амбарах, а добытого полезного ископаемого (нефти или газа) – в подземных хранилищах, т. е. специально подготовленных полостях в недрах.

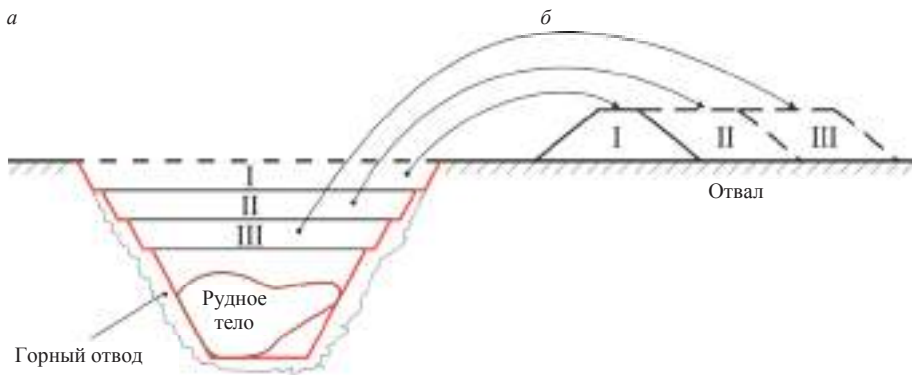


Рис. 1. Перемещение горной массы при образовании объектов ГПЛ при открытом способе разработки:  
а – карьера; б – отвала

В этот период возможно образование новых специфических объектов ГПЛ – внутренних отвалов – с целью перемещения вынутых вскрышных или вмещающих пород в отработанную часть карьеров, а также использование отходов производства как основы для получения смеси при закладке подземных полостей отработанных камер при подземной разработке МПИ.

В период доработки МПИ объем перемещаемых горных масс уменьшается до минимума, прекращаясь с ликвидацией технологических объектов ГПК, в основном антропогенных объектов – зданий и части сооружений. Природно-антропогенные объекты (карьеры или разрезы, котлованы, отвалы, шламо- и хвостохранилища, прудки-отстойники) остаются на территории ГПК в рекультивированном или нереккультивированном виде.

Баланс перемещения горных масс в пределах горного и земельного отводов за период разработки МПИ показан на рис. 2, 3. На рис. 2: А – добыча полезного ископаемого; Б – размещение отходов горнодобывающего предприятия (отвалы, терриконы); В – первичная переработка полезного ископаемого (комплекс обогатительной фабрики); Гм – горная масса; I – расходы Гм на нужды предприятия, в том числе плодородно-растительный слой; II – отвалы вскрышных пород; III – отходы обогатительной фабрики; IV – конечный продукт (концентрат и т. п.).

Выемка горной массы и складирование ее неизменной или измененной после обогащения части в насыпи приводит к физическим, геохимическим и биологическим изменениям не только в природных, но и в существовавших до разработки МПИ природно-антропогенных ландшафтах.

Физические изменения имеют место в прибортовом горном массиве и в толще налегающих горных пород, во вмещающих породах и непосредственно в рудном теле, в коре выветривания, т. е. в грунтах, являющихся основанием сооружений, в том числе отвалов и накопителей жидких отходов, а также в объектах ГПЛ, расположенных на поверхности.

Нарушение структуры горного массива, в том числе налегающих горных пород, приводит к изменению гидродинамического режима, сложившегося в природном объекте. Это явление выражается в увеличении водопритоков в горные выработки, ведет к понижению природного уровня подземных вод и формированию депрессионной кривой (депрессионной воронки), к гидродинамическим прорывам и затоплению горных выработок [4]. Просчеты в строительстве, неучет особенностей рельефа и свойств грунтов могут привести к чрезвычайным ситуациям, а именно к прорыву дамб гидротехнических сооружений (накопителей жидких отходов) и затоплению территории ниже по рельефу от гидротехнических сооружений.

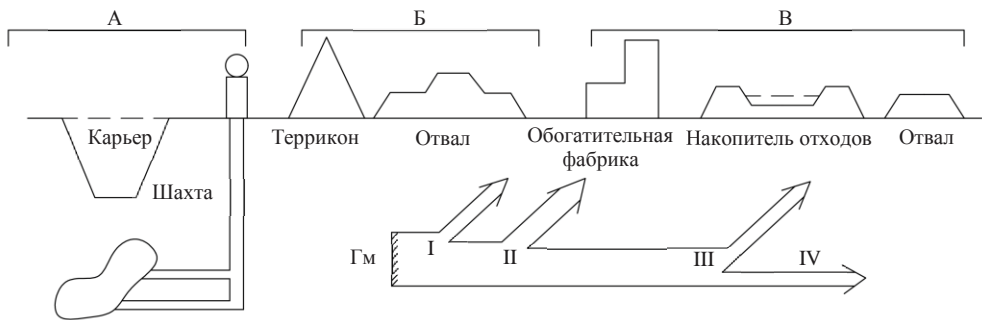


Рис. 2. Баланс перемещаемой горной массы

Ликвидация горных выработок путем «мокрой» консервации, т. е. их искусственным затоплением или прекращением водоотлива из горных выработок, приводит к подтоплению территории горного отвода или смежной с горными выработками территории. Такие явления могут спровоцировать и завалы (перекрытия) водоотливных подземных горных выработок, например лихтлог (водоотводящая подземная горная выработка) в г. Краснотурьинске, и оползни бортов отработанных карьеров (разрезов).

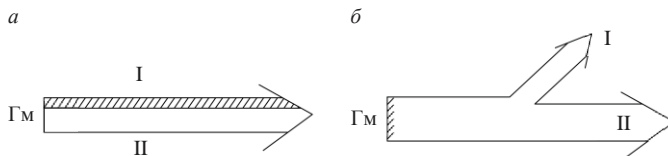


Рис. 3. Специальные случаи баланса горной массы:

- а) I – почвенно-растительный слой; II – конечный продукт (торф, песок и т. п.);  
 б) I – конечный продукт (золото рассыпное); II – отходы (отвалы переработанных песков)

К подтоплению может привести плавное оседание земной поверхности в районе действия нефте- и газодобывающих скважин, где такое оседание обусловлено сжиманием пустых пор во вмещающих горных породах нефтяного или газового пласта после откачки полезного ископаемого.

Наиболее активным фактором изменения геохимических свойств объектов ГПЛ, формируемых на поверхности, является вода. Рудничные воды попадают на

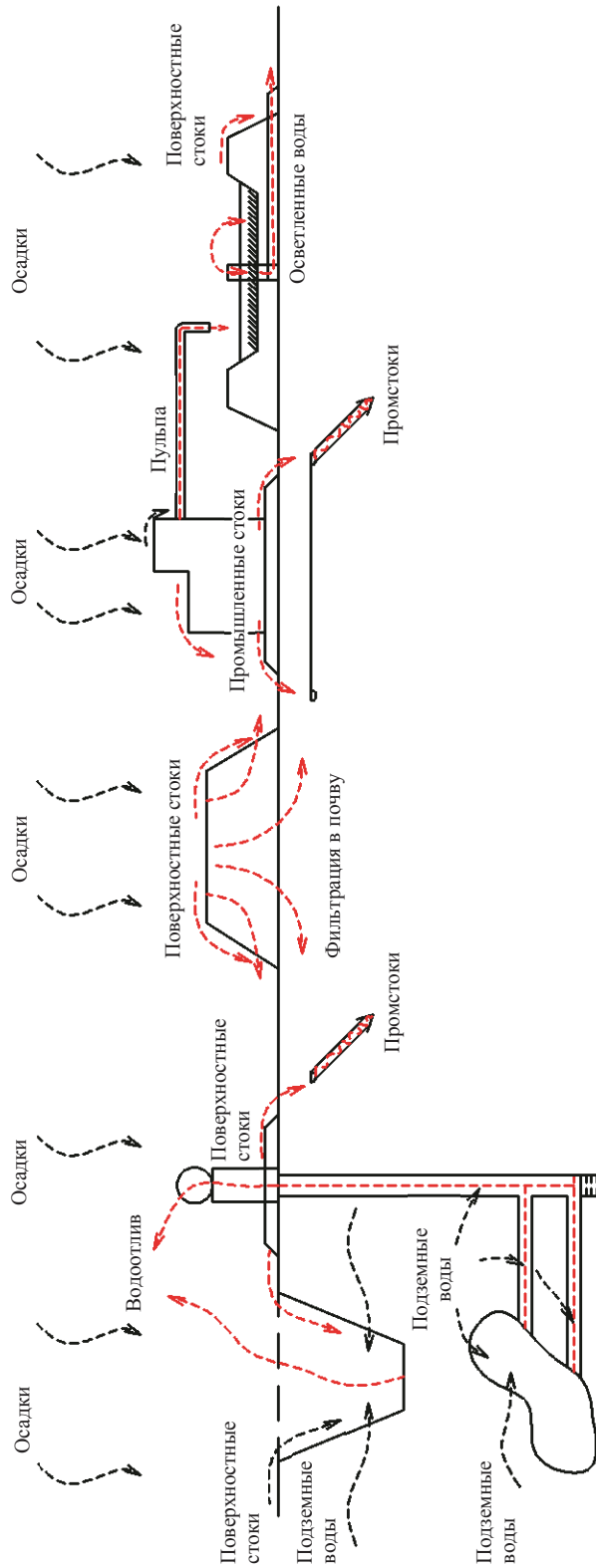


Рис. 4. Движение поверхностных и подземных вод:  
черные штриховые линии – направление движения природных вод; красные штриховые линии – направление движения рудничных и промышленных вод

земную поверхность путем водоотлива из горных выработок. С поверхности антропогенных объектов вредные вещества выносятся ливневым стоком. Отработанные промышленные и бытовые воды во вспомогательных объектах горнодобывающего предприятия, а также в главных и вспомогательных цехах обогатительной фабрики либо попадают через систему водоотведения на очистные сооружения, либо сбрасываются на рельеф и (или) в водные объекты. Минерализованная вода из накопителей жидких отходов через систему шлюзов и насосных станций попадает в каналы (канавы) и обычно сбрасывается в водные объекты.

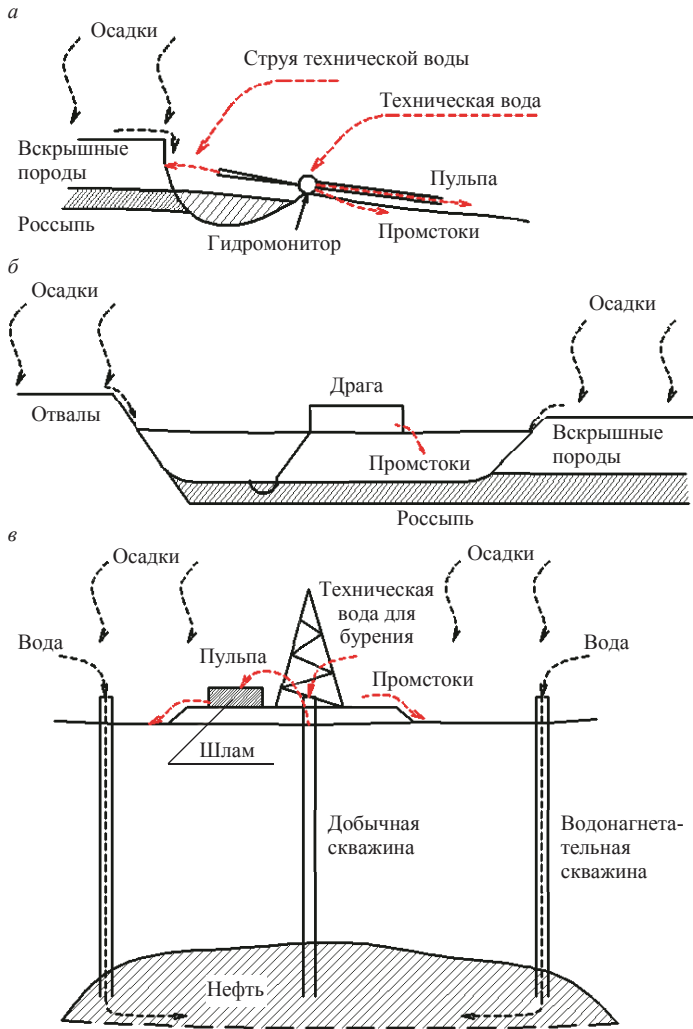


Рис. 5. Специальные случаи движения поверхностных и подземных вод:

*а* – разработка россыпных МПИ гидравлическим способом; *б* – разработка россыпных МПИ дражным способом; *в* – разработка МПИ скважинным способом

Немаловажное значение имеют естественные осадки в виде дождя и снега, которые, попадая на отвалы (насыпи) и соединяясь с частицами вмещающих пород, размещенных в отвалах и содержащих вредные компоненты, образуют водорастворимые минерализованные смеси, либо стекающие с откосов отвалов, либо просачивающиеся до основания отвалов (уплотненных грунтов), формируя но-

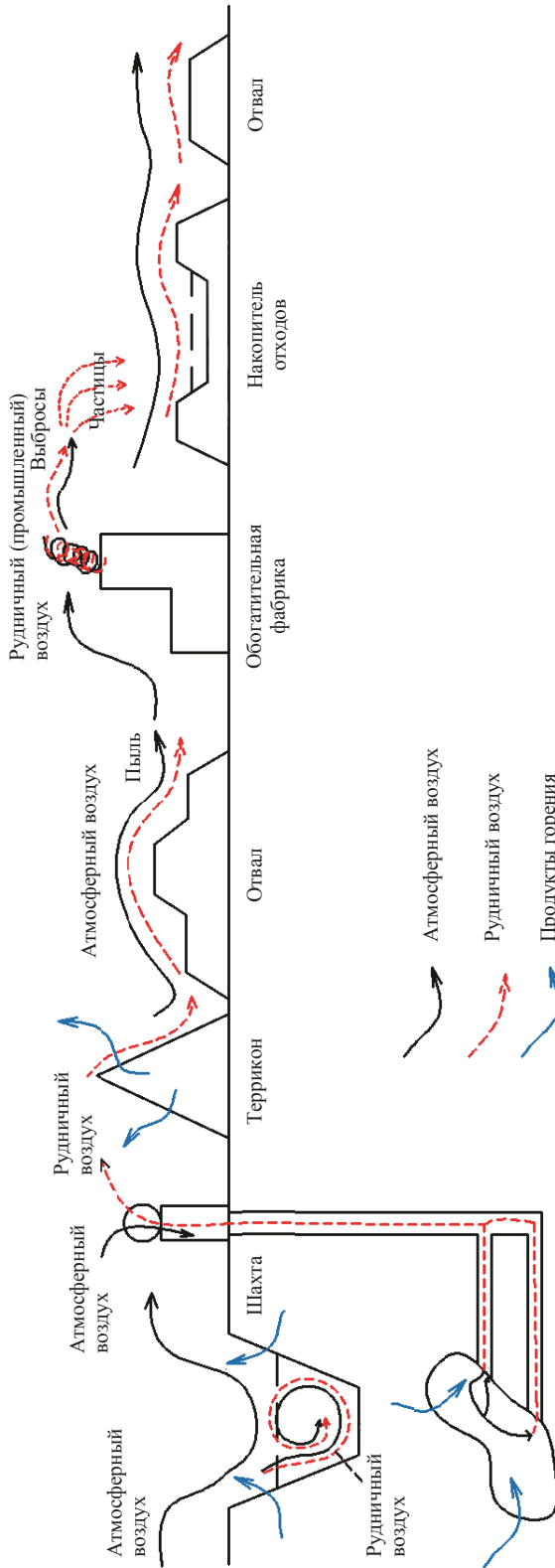


Рис. 6. Пути движения атмосферного и рудничного воздуха

вый водоносный горизонт и разгружаясь на рельеф, где с грунтовыми водами перемещаются вниз по рельефу и попадают в почву, загрязняя ее.

В процессе водной эрозии размываются слои глинистых пород, которыми закрывают заполненные шламо- и хвостохранилища, и выносятся наружу загрязненные вредными веществами и тяжелыми металлами отходы перерабатывающего производства.

Пути миграции водных стоков показаны на рис. 4, 5.

Негативное воздействие воздуха выражается в изменении свойств элементов ландшафтов, т. е. геохимии ландшафта, в двух аспектах: в виде атмосферного воздуха; в виде рудничного воздуха.

Атмосферный воздух выносит пыль и другие вредные вещества из выемок (неглубоких карьеров, разрезов), сносит пыль и другие вредные вещества с поверхности насыпей (отвалов), промплощадок, зданий и сооружений, а также перемещает выбросы из точечных источников объектов ГПК и переносит эти вещества на почву, в основном согласно розе ветров, т. е. по направлению преобладающих ветров.

Рудничный воздух формируется как в открытых горных выработках (глубоких карьерах, разрезах), так и в подземных горных выработках. В глубоких карьерах вредные вещества, содержащиеся в рудничном воздухе, осаждаются на поверхности горных выработок с атмосферными осадками и после орошения на карьерах и с рудничными водами путем водоотлива попадают на поверхность в почву и водные объекты. Из подземных горных выработок рудничный воздух попадает наружу путем проветривания, часть содержащихся в нем вредных веществ осаждается на стенках выработок и частично попадает на поверхность путем водоотлива. Кроме этого, в атмосферный воздух попадают продукты самовозгорания полезных ископаемых и вмещающих горных пород, расположенных в открытых и подземных горных выработках (в бортах карьеров и разрезов, полигонах торфоразработок, лавах шахт и камерах рудников) и отвалах вмещающих пород, формирующихся в основном при добыче угля (терриконах).

Пути движения атмосферного и рудничного воздуха показаны на рис. 6.

Разработка МПИ изменяет такие компоненты природной среды, как растительный и животный мир, оказывая влияние на жизнедеятельность человека.

Во-первых, физические источники: шум, свет, тепло и др. – изменяют образ жизни крупных и средних животных и птиц, заставляя их менять места постоянного обитания. Это является негативным фактором для мест, где охотничий промысел – средство жизнедеятельности, например на территориях традиционного природопользования общин коренных малочисленных народов России.

Вторым таким примером можно считать влияние на среду обитания водных биологических ресурсов, что присуще ландшафтам, формирующимся при разработке МПИ на дне морей, водоемов и водотоков. В жидкой среде звук разносится по-другому и очень негативно воздействует на биологические сообщества.

Нарушение почвенного покрова, вплоть до его ликвидации, приводит к нарушению растительных сообществ, усугубляют ситуацию попадающие в почву вредные вещества, а также скопление на поверхности пыли с отвалов, карьеров и других объектов ГПК. Например, магнезитовая мелкодисперсная пыль покрывает непроницаемой коркой земную поверхность, обрекая растительность на полное исчезновение [6]. Кислые рудничные воды из шахт и рудников, а также промышленные воды отходов обогащения угнетают растительность вплоть до полной деградации.

С другой стороны, при отсутствии вредных химических веществ, например подвижных химических соединений полиметаллических руд и отходов разрабо-



ток угля, объекты ГПЛ в виде отвалов, карьеров, неиспользуемых транспортных магистралей и инженерных сетей зарастают самостоятельно лесной и луговой растительностью, формируют новые растительные сообщества и новые территории для обитания представителей животного мира.

Рассмотренные пути миграции веществ, содержащихся в компонентах природной и техногенной среды, образующихся в пределах горнопромышленной территории, и их учет позволяют не только рационально сформировать объекты ГПЛ, но и уменьшить вредное влияние горных работ на окружающую среду.

С этой целью необходимо проводить следующие мероприятия:

- организационно-правовые (рациональное формирование участка недр, земельного отвода);
- технологические (оптимальное размещение промышленных зданий и сооружений, в том числе горных выработок, транспортной и инженерной инфраструктуры, объектов по первичной переработке полезных ископаемых с учетом рационального использования земель);
- информационные (формирование мониторинга ГПЛ, кадастра объектов ГПК, ГИС ГПЛ);
- экологические (природоохранная деятельность и методы утилизации (ликвидации), рекультивации и консервации накопленного экологического ущерба);
- экономические (платежи за вредное влияние горных работ на окружающую среду, расходы на рекультивацию объектов ГПЛ, формирование и использование вторичных техногенно-минеральных ресурсов, привлечение инновационных технологий, налоги на землю и недвижимое имущество).

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Об охране окружающей среды [Электронный ресурс]: Закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 25.06.2012). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».
2. Порцевский А. К. Вентиляция шахт. Аэрология карьеров (Аэрология горных предприятий): учеб. пособие. М.: Моск. гос. открытый ун-т, 2004. 70 с.
3. Уголь и торф Урала / под ред. И. В. Деметьева. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2007. 705 с.
4. Елохина С. Н. Гидрогеоэкологические последствия горного техногенеза на Урале. Екатеринбург: УНПЦ, 2013. 187 с.
5. Коновалов В. Е. Кадастр объектов горнопромышленного комплекса: науч. монография. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2012. 168 с.
6. Ковалев М. Н., Чистяков Ю. Н., Староверов Б. Н. Опыт ОАО «Комбинат «Магнезит» по рекультивации нарушенных земель (к столетию начала добычи магнезита) // Земельный вестник России. 2001. № 1(15). С. 20–25.

Поступила в редакцию 19 января 2018 года

#### SUBSTANCE MIGRATION AT MINERALS PRODUCTION AND PRIMARY PROCESSING

**Konovalev V. E., Germanovich Iu. G.** – The Ural State Mining University, Ekaterinburg, the Russian Federation.  
E-mail: vek-1951@mail.ru

At the exploitation of mineral deposits, specific technogenic medium is generated, which is characterized by the components which generate it: rock mass, technosol, mine air, and mine water. Under the influence of technogenic medium components in the process of minerals production and their primary processing there occurs the substances migration in solid, liquid and gaseous form. The article generalizes the ways of substances migration with the account of their impact on the environment and possible consequences, including negative ones. It has been shown that mining works, as a rule, are accompanied by the displacement of rock mass with the generation of empty spaces at the earth surface, in the subsoil, and mounds at the surface, i.e. the generation of technogenic relief. Besides, the displacement of the atmosphere air (mine air) filled with harmful substances and natural surface and subsoil water (mine and industrial water) negatively affect the environment being the reason for its pollution, including the soil layer, up to its total degradation and turning into technosol. The result of the direct impact of natural and technogenic (anthropogenic) factors may be the occurrence of emergency situations, consisting in hazardous, fast, and sometimes uncontrolled processes of rock masses and grounds displacement in the shape of landslides and pit edge and dump slopes downfalls, depression and subsidence of surface over the mine workings, destruction of liquid wastes accumulator dams and flooding

of the lower territory, etc. The activities are suggested, which make it possible to reduce the harmful effect of mining on the environment.

**Key words:** rock mass balance; mining complex; rock massif; substance migration; mining landscapes units; mine air; mine water; technogenic medium; technosol.

#### REFERENCES

1. On the protection of the environment [electronic source]: the Federal law of January 10, 2002, no. 7-FZ (with the amendments and additions of December 29, 2015). Access from the legal reference system ConsultantPlus. (In Russ.)
  2. Portsevskii A. K. *Ventiliatsiia shakht. Aerologiya kar'erov (Aerologiya gornnykh predpriyatii): ucheb. posobie* [School book "Shaft ventilation. Open pit aerology (mining enterprises aerology)"]. Moscow, MSOU Publ., 2004. 70 p.
  3. *Ugol' i torf Urals. Pod red. I. V. Dement'eva* [Coal and peat of the Urals. Edited by I. V. Dement'ev]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2007. 705 p.
  4. Elokina S. N. *Gidrogeoeologicheskie posledstviia gornogo tekhnogeneza na Urals* [Hydrogeoeological consequences of mining technogenesis in the Urals]. Ekaterinburg, UNPTs Publ., 2013. 187 p.
  5. Konovalov V. E. *Kadastr ob'ektov gornopromyshlennogo kompleksa: nauch. monografiia* [Scientific monograph "Mining complex units cadaster"]. Ekaterinburg, UrSMU Publ., 2012. 168 p.
  6. Kovalev M. N., Chistiakov Iu. N., Staroverov B. N. [Experience of OAO Kombinat Magnezit on the mined land reclamation (to the hundreds anniversary of the beginning of magnesite production)]. *Zemel'nyi vestnik Rossii – Russian Land Gazette*, 2001, no. 1(15), pp. 20–25. (In Russ.)
-