

УДК 622.012.2:553.495

**Воробьев Александр Егорович**  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Российский университет дружбы народов,  
г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6  
e-mail: [fogel\\_al@mail.ru](mailto:fogel_al@mail.ru)

**Шамшиев Орунбай Шамшиевич**  
доктор геолого-минералогических наук,  
профессор, директор Кызылкийского  
института геотехнологии  
и природопользования,  
Кыргызстан, г. Кызыл-Кия,  
ул. Асаналиева, 17  
e-mail: [cevara88@list.ru](mailto:cevara88@list.ru)

**Метакса Галина Павловна**  
доктор технических наук, профессор,  
заведующая лабораторией геотехнологии,  
Институт горного дела им. Д.М. Кунаева,  
Казахстан, г. Алматы, просп. Абая, 191  
e-mail: [gmetaksa@mail.com](mailto:gmetaksa@mail.com)

**Орынгожин Ерназ Советович**  
доктор технических наук, профессор,  
главный научный сотрудник,  
Институт горного дела им. Д.М. Кунаева,  
e-mail: [fogel\\_al@mail.ru](mailto:fogel_al@mail.ru)

#### УРАНОВЫЕ РУДНИКИ: ОТ УГНЕТЕНИЯ ДО МУТАГЕНЕЗА БИОТЫ

##### Аннотация:

Представлена история урановых рудников с давних пор: детализированы природно-техногенные объекты Кан-и-Гут, или «Рудник Погибели», а также Туя-Муюн. Даны основные рудные урановые минералы. Раскрыты главные аспекты воздействия урановых рудников на геосферы Земли (в том числе и на биосферу). Выделен период полураспада урана и отдельно показаны виды радиационного воздействия на геосферы от урановых рудников. Объяснены процессы угнетения биоты радиоактивным излучением, а также появление мутагенеза, вплоть до окультуренной растительности.

Ключевые слова: урановые рудники, история, воздействие, геосферы

DOI: 10.25635/2313-1586.2020.04.119

**Vorobyov Alexander E.**  
Doctor of Engineering, Professor,  
Chief Research Worker,  
Peoples' Friendship University of Russia (RUDN),  
Moscow, 6 Miklukho-Maklaya Str  
e-mail: [fogel\\_al@mail.ru](mailto:fogel_al@mail.ru)

**Shamshiyev Orunbay Sh.**  
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,  
Professor,  
Director of Kyzyl-Kia Institute of Geotechnology  
and Environmental Management,  
Kyrgyzstan, Kyzyl Kia,  
17 Asanaliyev Str.  
e-mail: [cevara88@list.ru](mailto:cevara88@list.ru)

**Metaxa Galina P.**  
Doctor of Engineering, Professor,  
Head of Laboratory of Geotechnology,  
Institute of Mining n. a. D. M. Kunayev,  
Kazakhstan, Almaty, 191 Abay Avenue  
e-mail: [gmetaksa@mail.com](mailto:gmetaksa@mail.com)

**Oryngozhin Ernaz S.**  
Doctor of Engineering, Professor,  
Chief Research Worker,  
Institute of Mining n. a. D. M. Kunayev  
e-mail: [fogel\\_al@mail.ru](mailto:fogel_al@mail.ru)

#### URANIUM MINES: FROM OPPRESSION TO THE BIOTA MUTAGENESIS

##### Abstract:

The article presents the history of uranium mines from the past to nova days: technogenic objects of Kan-i-Gut or "Misfortune Mine", as well as Tuya-Muyun are detailed. Uranic ore minerals are given. The main aspects of impact of uranium mines on geospheres of Earth (also on the biosphere) are disclosed. The half-life of uranium is highlighted and the paper shows separately the types of radiation effects on geospheres from uranium mines. The processes of biota suppression by radioactive radiation, as well as the appearance of mutagenesis, up to cultivated vegetation, are explained.

Key words: uranium mines, history, influence, geospheres

#### Введение

Человечество с давних пор, добывая полиметаллические и золотые руды, а также некоторые другие металлы, невольно сталкивалось с таким радиоактивным элементом, как уран [3, 5].

Кан-и-Гут, или «Рудник Погибели» (рис. 1), где еще до начала нашей эры добывали серебро, сурьму, цинк и свинец, расположенный в Баткенской области Кыргызстана, в 1914 г. исследовала Радиева экспедиция Академии наук России на радий. Этот природно-техногенный объект обязан своим происхождением рудному карсту и представляет собой сложное переплетение естественного лабиринта и искусственных выработок.



Рис. 1. Отвалы и вход в Рудник Погибели

Впервые этот рудник описал Авиценна. Он рекомендовал перед входом прочесть молитву: "И если пойдет по левой дороге, то пусть не желает осматривать других, дабы не потерять сил от утомления... Будет плита с письменами, согласно которым следует поступать, стеклянный чертог и люди с мечами и кинжалами в руках, которых не следует опасаться. Главное, читать стихи Корана, и вся хитрость. Начнется же галерея – тут смотри в оба, стоит там некий человек, в одной руке которого меч, а в другой – лук. Лучше к нему не подходить. И опять будет плита с письменами, будет озеро, камни которого горят, как свечи. Через 100 шагов покажется гора, дорога станет тесной и узкой. Тут цепляйся за что можешь, потому что, если сорвешься, тебе не сможет помочь даже пророк Мухаммед со всем его потомством. И там находится спящий верблюд. Глаза его блестят, как алмазы. Однако впереди – встреча с огнедышащим драконом. Из пасти его будет извергаться пламя, что потребует усиленной дозы молитв, под действием которых дракон должен уснуть. Тогда имеет смысл проследовать дальше, где откроется сад с оградой из золотых и серебряных кирпичей. Конечно, несколько кирпичей можно взять, но прежде обязательно помолиться, что придаст вашему поступку вполне добропорядочную окраску. Следующая достопримечательность – две реки. В отличие от мифического Стикса царства мертвых, эти речки вполне райские. Ибо в одной из них вода вкусная, белая, как молоко, а другая река течет медом. А когда пройдете деревья всевозможных цветов, срочно заткните уши ватой. Еще шаг – и раздадутся такие мелодии, зазвучат такие нежные голоса, что человек тут же падает без чувств и уже не приходит в себя. Сирены – с ними шутки плохи. Есть там некое зеленое растение, съев которое, можно стать божьим человеком. Отведайте, и все семь отделений неба и земли, эмпирей и престол, рай и ад откроются вам на конце ногтя".

Известны и другие аналогичные природно-техногенные горнопромышленные объекты. Так, в 1907 г. предприятие «Ферганское общество для добычи редких металлов» добыло первую урановую руду на руднике Туя-Муюн (рис. 2), который представляет собой лабиринт из естественных карстовых полостей и выработок древних рудокопов, шахт и штреков радиевого рудника. Этот природно-техногенный горнопромышленный объект также расположен в Баткенской области Кыргызстана.



Рис. 2. Вход в рудник Туя-Муюн

Первый в мире промышленный урановый рудник Шинколобве (где добывался радий, а урановая руда, содержащая до 65 % оксида урана, направлялась в отвалы) стал разрабатываться с 1921 г. в провинции Катанга (Конго, Африка). Этот рудник был расположен на высоте 1400 м над уровнем моря, а его глубина доходила до 400 м. В СССР история добычи урановых руд началась в Таджикистане в 1926 г., когда было открыто Табошарское урановое месторождение.

В настоящее время известно около 150 минералов, содержащих уран, большинство из которых относятся к уранильной группе. Минералы уранила слагают следующие промышленные руды: уранофан-бета-цеолиты (месторождения Березовое и Горное, Забайкалье, РФ); ураниловые минералы, связанные с цеолитами (месторождение Северное, Северо-Восток России, а также месторождение гранита в Болгарии); парсонит (месторождение Ла-Шо, Франция) и уранилфосфаты в аргиллитовом граните (месторождение Дурулгуй, Забайкалье, РФ). Кроме того, в Австралии и Намибии известны крупные месторождения урана, представленного в виде калькретов карнотита и калькретов с другими минералами уранила.

Также к промышленным урановым минералам относят его оксиды (настуран, уранинит, сажистую смолу), титанаты (браннерит и его переходные разновидности), силикаты (коффинит и силикаты переменного состава) и, реже, фосфаты урана (IV) и молибдаты. Кроме того, урансодержащие минералы могут быть представлены апатитом, оксидами и силикатами *Ti*, *Zr* и *Th*, а также цеолитами.

Основным компонентом рудного урана является  $U^{238}$ , период полураспада которого (рис. 3) составляет 4,5 млрд лет. Мерой радиоактивности руд и минералов служит количество нестабильных атомов, которые распадаются за 1с в данном количестве материала.

Например, радиоактивность урановой руды месторождения Кайелекера Paladin (рис. 4) составляет 119000 Бк/кг. А это означает, что более 100000 радиоактивных атомов распадаются в каждом килограмме урановой руды каждую секунду и испускают опасное ионизирующее излучение. Мощность дозы над отвалом или хвостохранилищем, заполненными такими породами, может превышать 1 мкЗв/ч (микрозиверт в час), что означает, что годовая кумулятивная доза превышает годовой предел дозы в 1 миллизиверт в год, если люди работают или находятся свыше 1000 часов в год в таких местах.

Ведущими странами с наибольшими разведанными запасами урановой руды являются Австралия, Казахстан, Россия (месторождения Хиагдинское, Количканское, Источное, Кореткондинское, Намарусское, Добрынское – в республике Бурятия, Аргунское, Жерловое – в Читинской области, где добывается 93 % всего российского урана), Канада, ЮАР, Украина, Узбекистан, США, Бразилия и Намибия.

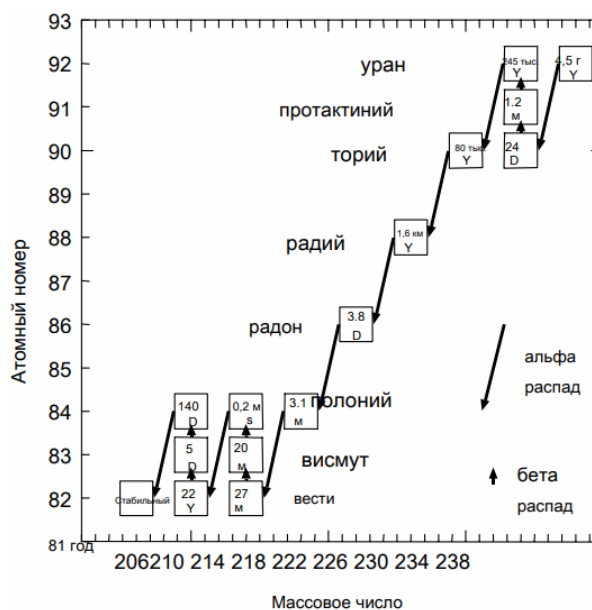


Рис. 3. Схема распада уранового ряда



Рис. 4. Урановый рудник Кайелекера Paladin (Африка)

В настоящее время существует подземная и карьерная разработка урановых месторождений, а также химическое выщелачивание урана из руд. Экономически оправданное получение урана определяется объемом руд и его концентрацией (не менее 0,05 %).

Во многих отношениях экологическое влияние уранового рудника на окружающую среду такое же, как и при добыче других металлов [4, 8]: образование открытых выемок – карьеров или подземных выработок – рудников, пыление, складирование горной массы в отвалы и хвостохранилища (которые могут содержать радон, радий, торий, полоний, иногда свинец и мышьяк), возникновение загрязненных стоков.

Так, для производства примерно 25 т уранового топлива для АЭС (среднее количество, необходимое на 1 год ее работы), следует извлечь из недр около 500000 т урановых руд (из которых чуть менее 400 тыс. т поступит в отвалы горного производства и чуть более 100 тыс. т – в хвостохранилища гидromеталлургических заводов).

В частности, в Южной Африке за более чем 120-летний опыт золотодобывающей промышленности было добыто 43500 т золота и 73000 т урана со складированием в отвалах и 270-ти хвостохранилищах 6 млрд т колчедана. Эти минеральные отходы существенно загрязняют прилегающие территории и водные объекты. Например, в водах озера Робинзон концентрация урана составляет 16 мг/л, что в 40000 раз выше, чем уровень урана в природной пресной воде.

В Казахстане общая площадь, загрязненная радиоактивными минералами, и наличие предприятий урановой промышленности оценивается примерно в 10000 га с общей активностью 250000 Кюри [6].

В 1979 г. на урановом комбинате United Nuclear Corporation, расположенном в 27 км к северу от г. Гэллап (штат Нью-Мексико, США), произошла авария на хвостохранилище. В результате прорыва более 1000 т твердых радиоактивных отходов гидрометаллургического завода (пульпы обогащения) и 360 тыс. м<sup>3</sup> кислых радиоактивных технологических растворов были выброшены в реку Пуэрко. При этом, помимо того что разлив был радиоактивным (средняя активность альфа-частиц составляла 4,7 кБк/литр) и кислым (рН = 1,2), он еще содержал токсичные металлы и сульфаты. Всего в результате этой аварии было выделено 1,7 ТБк радиоактивности.

В водных растворах ионы уранила легко образуют различные комплексы, главным образом, за счет связывания атомов кислорода. Основные из них – уранилкарбонаты, которые достаточно растворимы и подвижны. В сульфатсодержащих водах с низким рН наблюдаются уранилсульфатные комплексы. Минералы сульфата уранила (около 20 известных видов) образуются только там, где имеется возможность окисления сульфидов.

Бактерии могут изменять окислительно-восстановительное состояние урана путем восстановления, приводя к образованию нерастворимого U (IV), или окислением до U (VI) и последующей солюбилизацией металла.

Кроме того, из-за  $\alpha$ -излучения урана и его побочных продуктов минеральная матрица руд и вмещающих пород постепенно разрушается. Тот факт, что породы после извлечения из недр и складирования в отвалы и хвостохранилища теперь находятся в контакте с воздухом и осадками, также изменяет химические реакции на их поверхности и способствует растворению некоторых радиоактивных тяжелых металлов, содержащихся в них.

При этом существует радиационное облучение и выброс радона, т.к. даже пустые породы, размещенные в отвалах и хвостохранилищах, содержат довольно высокие концентрации урана, находящегося в равновесии с продуктами его распада (включая радий Ra<sup>226</sup>). Так, около 80 % начальной радиоактивности урановой руды остается в песках хвостохранилища. Ra<sup>226</sup> непрерывно распадается и производит радиоактивный газ, называемый радоном (Rn<sup>222</sup>). Именно таким радиоактивным воздействием на геосферы отличаются урановые рудники от других горных предприятий.

Следует подчеркнуть, что даже спустя несколько десятилетий после закрытия урановых рудников и гидрометаллургических заводов радиоактивное загрязнение окружающей среды будет сохраняться. Это связано с тем, что период полураспада урана-238 довольно большой (4,5 млрд лет). Поэтому уран-238 практически всегда будет присутствовать в различных типах минеральных отходов, распадаясь на свои дочерние продукты [3].

При этом необходимо отметить, что естественная радиоактивность Земли намного превышает радиоактивность, созданную человеком. Так, реакторы естественного деления существуют на Земле миллиарды лет (например, на урановом месторождении Окло, республика Габон) и генерируют весьма значительные количества радиоактивности.

С оценкой радиоактивного воздействия на живые организмы не все так просто. Биота в процессе своей жизнедеятельности отравляется соединениями урана. Так, водные растения, расположенные несколько ниже по течению от сбросов урановых шахт,

обычно имеют уровни загрязнения, превышающие 100000 Бк/кг сухого вещества, что за счет облучения клеток приводит к гибели различных их наименее резистентных видов и даже родов (рис. 5) или же к адаптации или мутационной приспособляемости других организмов.

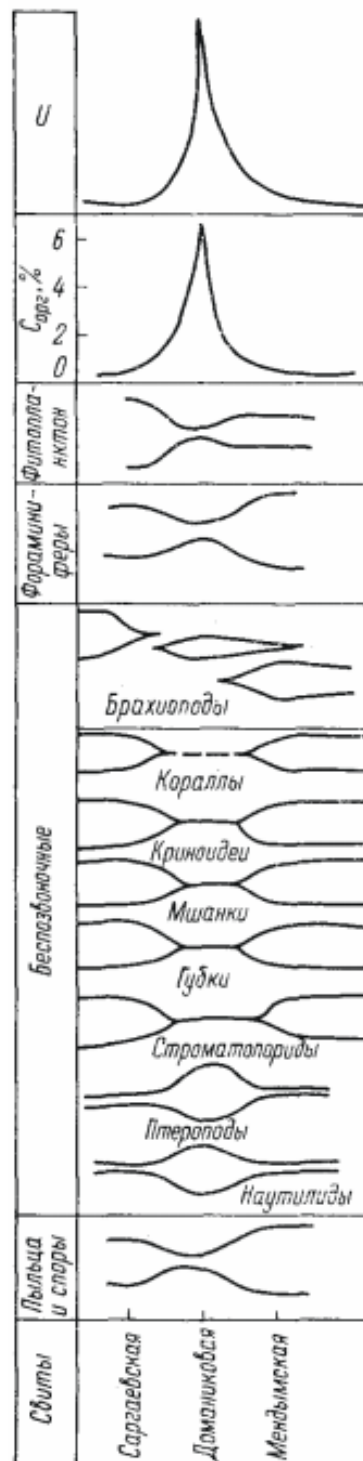


Рис. 5. Зависимость смены флоры и фауны на Русской равнине от интенсивности накопления урана в разные геологические эпохи [7]

Причина, по которой радиоактивное излучение урановых руд считается угрозой для живых организмов, заключается в том, что оно содержит достаточно много жесткой энергии, чтобы ионизировать стабильный атом, отделив от него электроны. Если ионизирующее излучение попадает в тело живого организма, то оно ионизирует

молекулы, находящиеся в нем. Это приводит к образованию значительного количества свободных радикалов, которые вступают в реакции с жизненно важными компонентами организма, образуя на их месте кардинально новые соединения.

Однако во многих странах признана лечебной радиоактивная вода, которая содержит гидрокарбонаты кальция и магния, а также радон и зачастую применяется при лечении хронических заболеваний органов опорно-двигательного аппарата и при реабилитационном лечении после ортопедических операций [1].

В связи со значительными уровнями радиоактивности среды на земной поверхности, обусловленной в основном выходом урановых руд, существенное влияние на изменчивость организмов в таких зонах наблюдается даже в настоящее время. Так, Н.И. Вавилов в 1928 г. сообщил, что им «выявлен факт капитальной важности, именно географическая локализация видообразовательного процесса». По его мнению, на земной поверхности имеются особые «горячие точки», где в силу каких-то причин продолжается постоянное и интенсивное видообразование [7]. Дальнейшие исследования показали, что такие центры, выделенные академиком Н.П. Лаверовым, приурочены к зонам выхода на земную поверхность урановых руд и минералов. Причем такие места совпадают с ареалами распространения многих видов и даже родов биоты, характеризующимися доминантными генами.

Ранее в них происходило облучение антропоидов, приводящее к мутациям, обуславливающим изменение наследственных признаков, в результате которых произошло появление *Homo habilis* (Человека Умелого) и других, более поздних и развитых форм современного человека.

О проявлении в таких зонах интенсивного мутационного процесса свидетельствуют также и исследования изменения растительности [7]: к этим зонам тяготеют одомашненные злаки и другие виды сельскохозяйственных культур (рис. 6).



Очаги и центры видообразования по Н.И. Вавилову:

- |   |   |
|---|---|
| - очаги (1928 г.)   | - Микрогенцентры узкоэндемичных видов по П.М. Жуковскому (1969 г.)  |
| - очаги (1935 г.)   | - Флористическое Капское царство и Мадреанское подцарство по А.Л. Тахтаджяну (1978 г.)  |
| - центры: Капский, Бразильский, Боготанский (1929, 1940 г.г.) | - центры (1935 г.)  |
| - центры (1935 г.)  | - Урановорудные зоны и месторождения по Н.П. Лаверову и др. (1983, 1986 г.г.), Ю.М. Шувалову (1980 г.), И.С. Оношко (1989 г.) |

Рис. 6. Карта размещения окультуренных растений и урановорудных зон [7]

Чтобы сдерживать губительное или мутагенное влияние, для урановых рудников (как и для других горных предприятий) необходимо применять природоподобные технологии их разработки и рекультивации [2]. Например, в Танзании (Африка) имеется обширная естественная замкнутая дренажная система, развитая над выветрившимися гранитами, довольно богатыми ураном. Этот дренаж улавливает уран (растворенный из подстилающих пород) и переносит его к более подходящим участкам ловушек (например, к озерам Плайя) и, в конечном итоге, в огромное озеро Бахи Плайя размером 40×30 км, что существенно снижает возможные последствия для биоты от радиоактивного ионизирующего излучения.

### Список литературы

1. Беседа Розы, 2018. *Факторы конкурентоспособности Венгрии на рынке лечебно-оздоровительного туризма*. Санкт-Петербург: СПбГУ, 77 с.
2. Воробьев А.Е., Воробьев К.А., Ходжаев Р.Р., 2020. Конструирование и обоснование природоподобных технологий возобновления минеральных ресурсов. *Горный журнал Казахстана*, № 5, С. 11 - 15.
3. Воробьев А.Е., Чекушин А.В., 1998. Радиационная безопасность урановорудных горнопромышленных районов. *Горный вестник*, № 2, С. 61 - 65.
4. Воробьев А.Е., Чекушина Е.В., Дребенштедт К., Чекушина Т.В., Щелкин А.А., 2010. *Геохимия техногенеза отвалов урановых рудников как основа эффективной рекультивации и утилизации заскладированной горной массы*. Москва: РУДН, 190 с.
5. Воробьев А.Е., Чекушина Е.В., Абдулатипов Ж.Ю., Синченко А.В., Байлагасова И.Л., Роман А.Т., Мастонов Р.А., 2011. Роль природных факторов в оценке условий разработки месторождений и рекультивации последствий деятельности урановых рудников. *Естественные и технические науки*, № 6 (56), С. 302 – 306.
6. Воробьев А.Е., Юров В.М., Портнов В.С., 2011. Влияние природных факторов на гидродинамические процессы и процессы разрушения в отвалах урановых рудников. *Вестник Карагандинского университета. Серия «Физика»*, № 4 (64), С. 67 – 78.
7. Неручев С.Г., 2007. Эпохи радиоактивности на поверхности Земли и их влияния на развитие органического мира. *Нефтегазовая геология. Теория и практика*, № 2.
8. Портнов В.С., Воробьев А.Е., Турсунбаева А.К., Хамитова А.С., Ермек Е.Е., Камаров Р.К., 2012. *Влияние природных факторов на отвалы и карьеры урановых рудников*. Караганда (Казахстан): КРУ, 148 с.

### References

1. Beseda Rozi, 2018. *Faktory konkurentosposobnosti Vengrii na rynke lechenno-ozdorovitel'nogo turizma* [Factors of Hungary's competitiveness on the market of recreational tourism]. Saint Petersburg: SPbGU, 77 p.
2. Vorob'ev A.E., Vorob'ev K.A., Khodzhaev R.R., 2020. *Konstruirovaniye i obosnovaniye prirodopodobnykh tekhnologii vozobnovleniya mineral'nykh resursov* [Design and substantiation of natural-like technologies for the renewal of mineral resources]. Gornyi zhurnal Kazakhstana, № 5, P. 11 - 15.
3. Vorob'ev A.E., Chekushin A.V., 1998. *Radiatsionnaya bezopasnost' uranovorudnykh gornopromyshlennykh raionov* [Radiation safety of uranium ore mining areas]. Gornyi vestnik, № 2, P. 61 - 65.
4. Vorob'ev A.E., Chekushina E.V., Drebenshtedt K., Chekushina T.V., Shchelkin A.A., 2010. *Geokhimiya tekhnogeneza otvalov uranovykh rudnikov kak osnova effektivnoi rekul'tivatsii i utilizatsii zaskladirovannoi gornoj massy* [Geochemistry of technogenesis of uranium mine dumps as basis for effective reclamation and utilization of deposited rock mass]. Moscow: RUDN, 190 p.



5. Vorob'ev A.E., Chekushina E.V., Abdulatipov Zh.Yu., Sinchenko A.V., Bailagasova I.L., Roman A.T., Mastonov R.A., 2011. *Rol' prirodnykh faktorov v otsenke usloviy razrabotki mestorozhdenii i rekul'tivatsii posledstviy deyatel'nosti uranovykh rudnikov* [The role of natural factors in assessing the conditions of field development and reclamation of uranium mining consequences]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, № 6 (56), P. 302 – 306.

6. Vorob'ev A.E., Yurov V.M., Portnov V.S., 2011. *Vliyanie prirodnykh faktorov na gidrodinamicheskie protsessy i protsessy razrusheniya v otvalakh uranovykh rudnikov* [Influence of natural factors on hydrodynamic processes and destruction processes in uranium mine dumps]. *Vestnik Karagandinskogo universiteta. Seriya "Fizika"*, № 4 (64), P. 67 – 78.

7. Neruchev S.G., 2007. *Epokhi radioaktivnosti na poverkhnosti Zemli i ikh vliyaniya na razvitie organicheskogo mira* [Epochs of radioactivity on the Earth's surface and their influence on development of the organic world]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, № 2.

8. Portnov V.S., Vorob'ev A.E., Tursunbaeva A.K., Khamitova A.S., Ermek E.E., Kamarov R.K., 2012. *Vliyanie prirodnykh faktorov na otvaly i kar'ery uranovykh rudnikov* [Influence of natural factors on dumps and quarries of uranium mines]. Karaganda (Kazakhstan): KRU, 148 p.