



**ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ  
УСЛОВИЙ СИСТЕМЫ «ВНУТРЕННИЙ ОТВАЛ – ПРИБОРТОВОЙ  
МАССИВ»**

**REGULARITIES OF CHANGES IN HYDROGEOMECHANICAL CONDITIONS OF  
THE "INTERNAL DUMP – INSTRUMENT ARRAY" SYSTEM**

**Липина Александра Валерьевна**, старший преподаватель кафедры геологии и маркшейдерского дела, НИТУ МИСИС (119049 Россия, г. Москва, ул. Ленинский проспект, д. 4), тел. +7(495)821-66-19, ORCID: <http://orcid.org/>, [lipina@misis.ru](mailto:lipina@misis.ru)

**Alexandra V., Lipina** Senior Lecturer of the Department of Geology and Surveying, NUST MISIS (4 Leninsky Prospekt st., Moscow, 119049 Russia), tel. +7(495)821-66-19, ORCID:<http://orcid.org/>, [lipina@misis.ru](mailto:lipina@misis.ru)

**Аннотация.** Складирование вскрышных пород в выработанное пространство карьеров позволяет уменьшить площади нарушенных земель, а также плечо транспортирования горной массы. При этом формирование техногенного массива в выработке приводит к образованию водоносного горизонта в теле отвала и постепенному восстановлению его уровня до отметок, которые наблюдались до начала добычных работ.

Проведенное моделирование изменения гидрогеологических условий внутреннего отвала позволяет оценить его устойчивость при дальнейшем складировании горной массы и оценить влияние на прибортовой массив естественного сложения. Проведенное моделирование в совокупности с выявленными закономерностями

изменения физико-механических свойств отвальных масс позволяют осуществлять прогноз гидрогеомеханической обстановки на участке формирования техногенного массива.

**Abstract.** Storage of overburden rocks in the worked-out space of quarries allows to reduce the area of disturbed lands, as well as the shoulder of transporting rock mass. At the same time, the formation of a man-made massif in the development leads to the formation of an aquifer in the body of the dump and the gradual restoration of its level to the levels that were observed before the start of mining operations.

The modeling of changes in the hydrogeological conditions of the internal dump allows us to assess its stability during further storage of rock mass and to assess the impact on the instrument array of natural composition. The carried out modeling together with the revealed patterns of changes in the physical and mechanical properties of the dump masses make it possible to forecast the hydrogeomechanical situation at the site of the formation of the technogenic massif.

**Ключевые слова:** горное дело, внутренний отвал, устойчивость, гидрогеологические условия, водоносный горизонт, угольный разрез, гидрогеомеханические условия, устойчивость отвалов, горнопромышленная природно-техническая система.

**Keywords:** mining, internal dump, stability, hydrogeological conditions, aquifer, coal mine, hydrogeomechanical conditions, stability of dumps, mining natural-technical system.

В последние годы наблюдается активный рост добычи угля, и как следствие разрабатываются пласты на больших глубинах и с усложняющимися горно-геологическими условиями. Это приводит к увеличению объема извлекаемых вскрышных пород, для складирования которых требуются все большие территории. Как следствие увеличивается плечо транспортирования и затраты на обеспечение логистики. Сложившиеся условия требуют от добывающих компаний поиска альтернативных вариантов складирования вскрыши таких как, например, отвалообразование в выработанное пространство ближайших разрезов, в которых

горные работы завершены в связи с исчерпанием ресурсной базы. Данный способ мало исследован в практике отечественной горной науки и требует дополнительного изучения, особенно факторов, влияющих на его устойчивость [1-3].

Отдельно нужно отметить, что на сегодняшний день отсутствуют системные исследования в области изменения гидрогеологической обстановки в районе возведения внутренних отвалов, а также степени их влияния на бортовой массив выработок. Кроме того, инженерно-геологические условия Кузбасса - основного угледобывающего субъекта РФ имеют ряд особенностей, в том числе: наличие мощного слоя четвертичных отложений, представленных преимущественно глинистыми разностями. Основными углевмещающими породами являются алевролиты и песчаники на глинистом цементе, которые в приповерхностных условиях быстро разрушаются, что существенно влияет на механические свойства масс, слагающих отвальную насыпь.

Было замечено, что для многих показателей состояния откосных сооружений ключевую роль играет техногенный водоносный горизонт, поскольку именно его характеристики определяют состояние внутреннего отвала и прибортового массива пород естественного сложения [4,5]. В процессе проведенных исследований было выявлено, что на значения физико-механических свойств отвальной насыпи напрямую влияет на показатель «Период нахождения породы в отвале». Он находится в выраженной отрицательной корреляционной зависимости находится с углом внутреннего трения.

На рисунке 1 приведен пример изменения характеристик двух свойств отложений от периода их нахождения в теле массива в одной из скважин, пройденной через внутренний отвал горнодобывающего предприятия Кузбасса. Коэффициента корреляции между периодом нахождения отложений в отвале и углом внутреннего трения составляет  $-0,7368$ . При проведении анализа данных прослеживается закономерность уменьшения угла внутреннего трения от продолжительности нахождения пород в теле отвала, данные взяты за последние пять лет.

Следовательно, воздействие экзогенных процессов, в том числе выветривания, а также обводнение отвальных пород оказывают большее воздействие на механические свойства отложений, чем процессы уплотнения, которые номинально должны иметь положительную корреляционную связь во времени с механическими свойствами пород. Также в связи с формированием техногенного водоносного горизонта вскрышные породы, уложенные в более ранний временной промежуток более обводненные, таким образом в основании отвала массив горных пород имеет показатели механических свойств ниже, чем при их складировании.

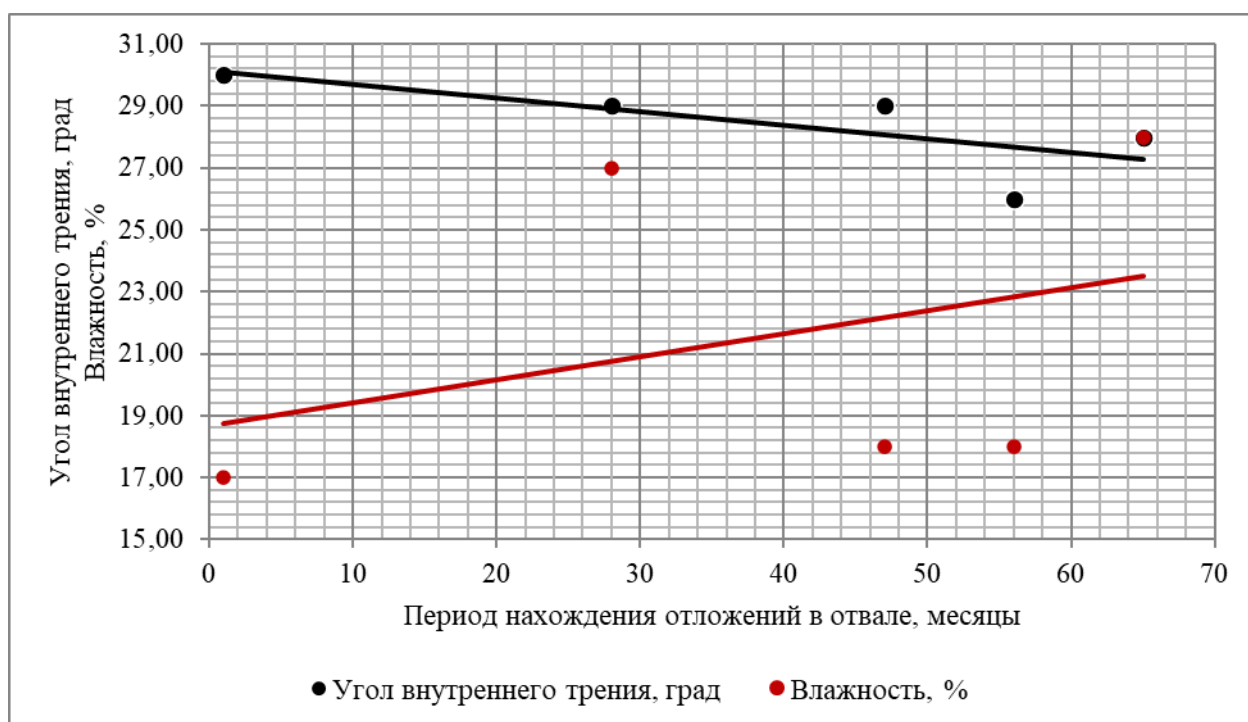


Рисунок 1. Закономерности изменения угла внутреннего трения и влажности техногенных отложений в зависимости от продолжительности их нахождения в теле внутреннего отвала

Многолетний опыт наблюдений за состоянием откосных, в том числе горнотехнических сооружений показывает, что наиболее частым фактором, который обуславливает активизацию негативных процессов, связанных с деформациями - является изменение гидрогеологической обстановки территории. Как правило, это вызвано или природными факторами, например, интенсивные осадки, таяние снега или техногенными снижением интенсивности дренажных

работ, изменение технологии формирования массива. Также нужно отметить, что изменение гидрогеологических условий отличается наибольшей динамикой во времени, что требует проведения мероприятий по их фиксации с высокой частотой. В практике современных горных работ для оперативной оценки устойчивости откосных сооружений и анализа влияния гидрогеологических факторов выполняются путем осуществления наблюдений в соответствующих скважинах [3,6,7]. Количество последних определяется сложностью объекта, а также изменчивостью в пространстве измеряемых параметров. При этом на стадии проектирования объекта необходимо осуществлять прогноз гидрогеологической обстановки на участке путем разработки моделей. Основой, для которых становятся данные о строении района, его инженерно-геологических особенностях, физических свойствах пород, климатические, а также гидрологические условия, рельеф и т.д.

При формировании отвальных насыпей в их телах в результате накопления талых, дождевых, поверхностных, в некоторых случаях и грунтовых вод происходит формирование техногенного водоносного горизонта. Степень обводненности массива во многом зависит от свойств слагающего его материала. Наибольшей мощности водоносные горизонты достигают при складировании в отвал пород и отложений с высоким содержанием глинистого материала. В условиях Кузнецкого угольного бассейна часто коренные породы, представленные песчаниками и алевролитами, в результате размокания образуют также образуют суглинистый материал с невысокими фильтрационными способностями.

При складировании вскрышных пород в выработанное пространство карьеров дренаж из техногенного водоносного горизонта затруднен, в связи с ограниченной проницаемостью пород борта, чаще всего движение воды происходит в стороны еще незаполненной техногенным массивом части выработки. При этом дополнительное питание осуществляется за счет перетекания подземных вод из бортового массива естественного сложения в отвальные массы.

Нужно отметить, что в процессе формирования внутреннего отвала нужно выделить, как минимум две принципиальные стадии. Первая, при которой фронт

добычных работ опережает фронт ведения отвальных работ, этот этап имеет наибольшую протяженность и завершается при достижении бортом карьера своего конечного положения в соответствии с проектом. На втором этапе отвальная насыпь формируется в том числе на контакте с бывшем рабочем бортом. Очевидно, что данных этапах существенные отличия имеет гидродинамическая обстановка, а соответственно и все характеристики техногенного водоносного горизонта.

В рамках проведенных исследований для оценки положения уровня техногенного водоносного горизонта в теле отвала была построена гидрогеологическая модель на основе закона Дарси. Исходными данными для моделирования являлись результаты гидрогеологического мониторинга, свойства пород, слагающих массив, а также результаты маркшейдерских съемок прилегающих к отвалу территорий. Нужно отметить, что ранее карьером, а в текущем положении горных работ отвалом пересечено несколько русел небольших водотоков, что привело к формированию с запада от массива водоемов, которые также являются источником питания для техногенного водоносного горизонта.

Созданная модель позволяет оценивать уровень водоносного горизонта в произвольной точке техногенного массива на разных этапах его формирования (рис.2). Для отображения депрессионных поверхностей было разработано программное обеспечение, которое на основании координат точек и абсолютных отметок уровня водоносного горизонта методом триангуляции отстраивает поверхности в трехмерном пространстве. Данное программное обеспечение позволяет визуально оценить расположение водоносного горизонта и получить информацию для дальнейших геомеханических расчетов, позволяющих оценить состояние всей горнопромышленной природно-технической системы “внутренний отвал - бортовой массив”.

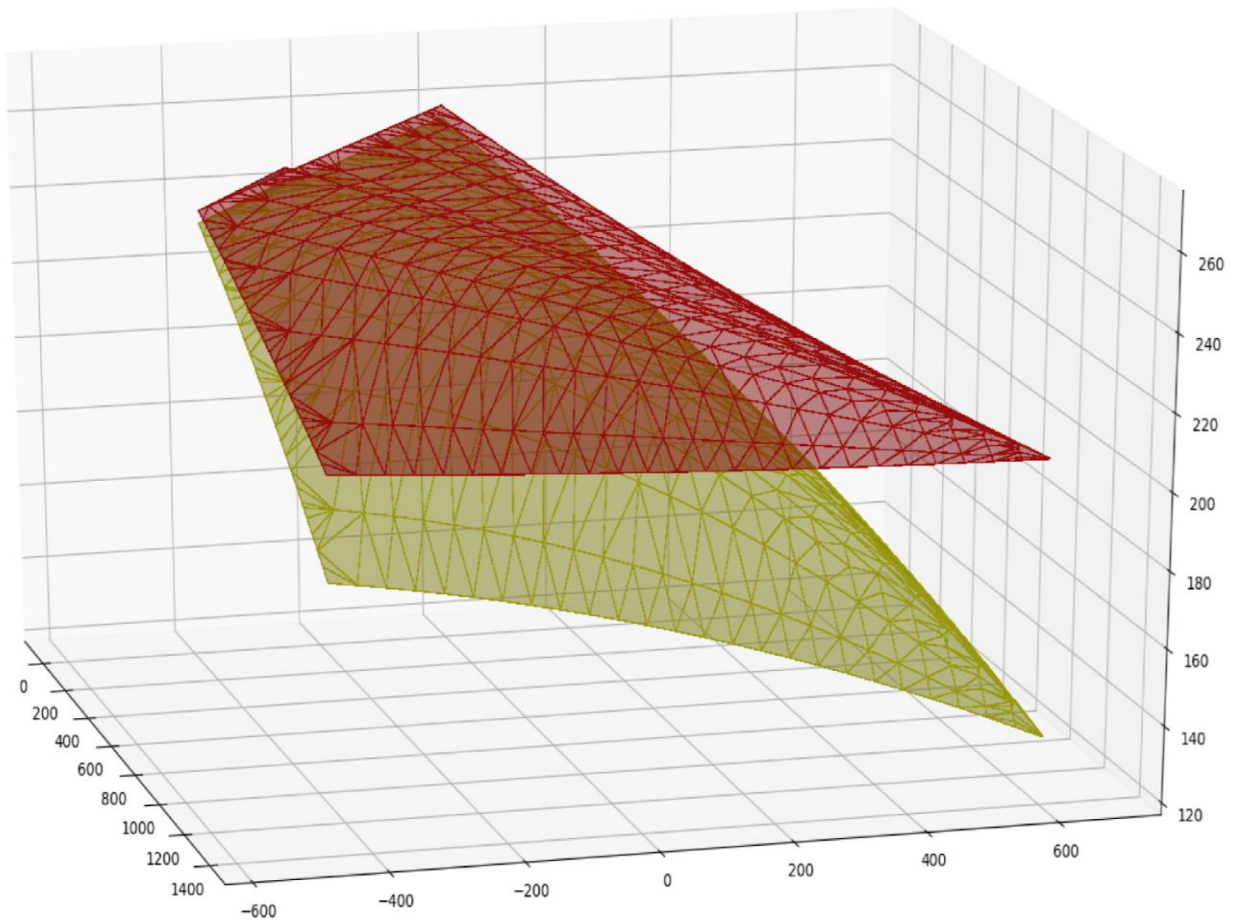


Рисунок 2. Положение депрессионной поверхности техногенного водоносного горизонта: зеленая поверхность - текущее положение, рассчитанное на основе данных гидрогеологического мониторинга; красная поверхность - смоделированная при условии восстановления абсолютных отметок водоносного горизонта до первоначальных, наблюдавшихся до начала ведения горных работ на рассматриваемом участке недр.

Для оценки устойчивости рассматриваемого отвала было выбрано четыре геомеханических профиля (рис.3), которые в наибольшей степени характеризуют состояние массива, а также охватывают сечения, в которых предположительно коэффициенты запаса устойчивости должны быть минимальными. Для каждого профиля были построены инженерно-геологические модели, которые отображают строение массива, а также текущее и плановое положение отвальных работ, результаты гидрогеологического мониторинга и моделирования.

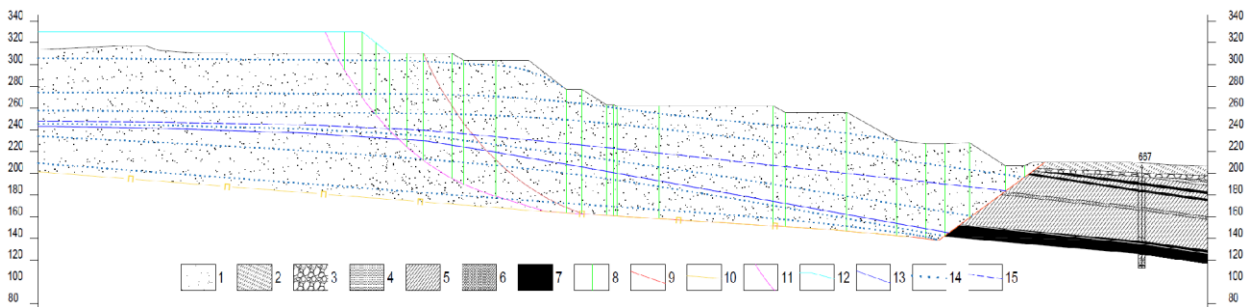


Рисунок 3. Разрез по контрольному геомеханическому профилю с указанием текущего и проектного положения отвала и предполагаемых кривых скольжения:

1 – тело отвала; 2 – рыхлые отложения основания, представленные четвертичными глинами и суглинками; 3 – аллювиальные отложения; 4 – песчаники мелкозернистые на глинистом и глинисто-карбонатном цементе; 5 и 6 – алевролиты мелкозернистые и крупнозернистые соответственно; 7 – пласты угля; 8 – вертикальные границы блоков, использованных при оценке устойчивости массива; 9 и 11 – поверхности скольжения при текущем и проектном положении отвальных работ соответственно; 10 – контакт отвального массива и основания; 12 – отметки отвального массива в проектном контуре; 13 – уровень водоносного горизонта, полученный на основании результатов текущего мониторинга; 14 – рассчитанные депрессионные кривые, полученные на основании гидрогеологической модели и использованные для вычисления коэффициентов запаса устойчивости; 15 – депрессионная кривая, соответствующая уровню водоносного горизонта при полном его восстановлении.

Анализ отечественного и зарубежного опыта геомеханического обеспечения открытых горных работ в части оценки устойчивости отвальных массивов показывает, что наибольшее значение на состояние техногенных насыпей оказывают гидрогеологические факторы, в первую очередь уровень техногенного водоносного горизонта, физико-механические свойства отложений, литологический состав откосного сооружения, а также его геометрические параметры и техногенные факторы, которые включают воздействие от взрывных работ, движения транспорта и т.д. [4,7-9].



Обобщенная математическая модель, которая использовалась для расчета коэффициента запаса устойчивости внутреннего отвала и прилегающего бортового массива имеет следующий вид:

$$\eta = \frac{\sum_i [(P_i \cos \alpha_i - \gamma_{w.i} H_{av.w.i} l_{w.i}) \operatorname{tg} \varphi_i + C_i l_i] + F_{other\ holding}}{\sum_i P_i \sin \alpha_i + F_{other\ shear}},$$

где  $P_i = \gamma_i H_{av.i} l_i$ ;

$\gamma_i$  – плотность (объемный вес) отложений в зоне скольжения, т/м<sup>3</sup> ( $\cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>);

$H_{av.i}$  – высота расчетного блока, м;

$l_i$  – длина основания расчетного блока, м;

$\gamma_{w.i}$  – вес единицы объема воды (плотность воды), т/м<sup>3</sup> ( $\cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>);

$H_{av.w.i}$  – средний уровень водоносного горизонта в расчетном блоке, м;

$l_{w.i}$  – длина основания обводненного расчетного блока, м;

$\varphi_i$  – угол внутреннего трения, град.;

$C_i$  – удельное сцепление отложений в зоне скольжения, т/м<sup>2</sup> ( $\cdot 10^{-4}$  Па);

$\alpha_i$  – угол наклона основания расчетного блока к горизонтали, град;

$F_{other\ holding}$  – прочие удерживающие силы;

$F_{other\ shear}$  – прочие сдвигающие силы.

Анализ полученных результатов показывает, что на текущий момент времени внутренний отвал и прибортовой массив находятся в устойчивом положении (значения коэффициентов запаса устойчивости по всем выбранным профилям превышают значение 1,35). При этом нужно отметить, что при достижении проектных отметок и изменениях гидрогеологической обстановки, вызванных восстановлением уровня водоносного горизонта значение коэффициента устойчивости может снизиться до минимального значения в 1,1. Данный факт может потребовать дополнительных мероприятия по обеспечению устойчивости техногенного массива.

Рассмотрим эпюры оползневого давления, которое действует в теле массива (Рис.4). Их анализ позволит оценить закономерности распределения удерживающих и сдвигающих сил в отвальной насыпи.

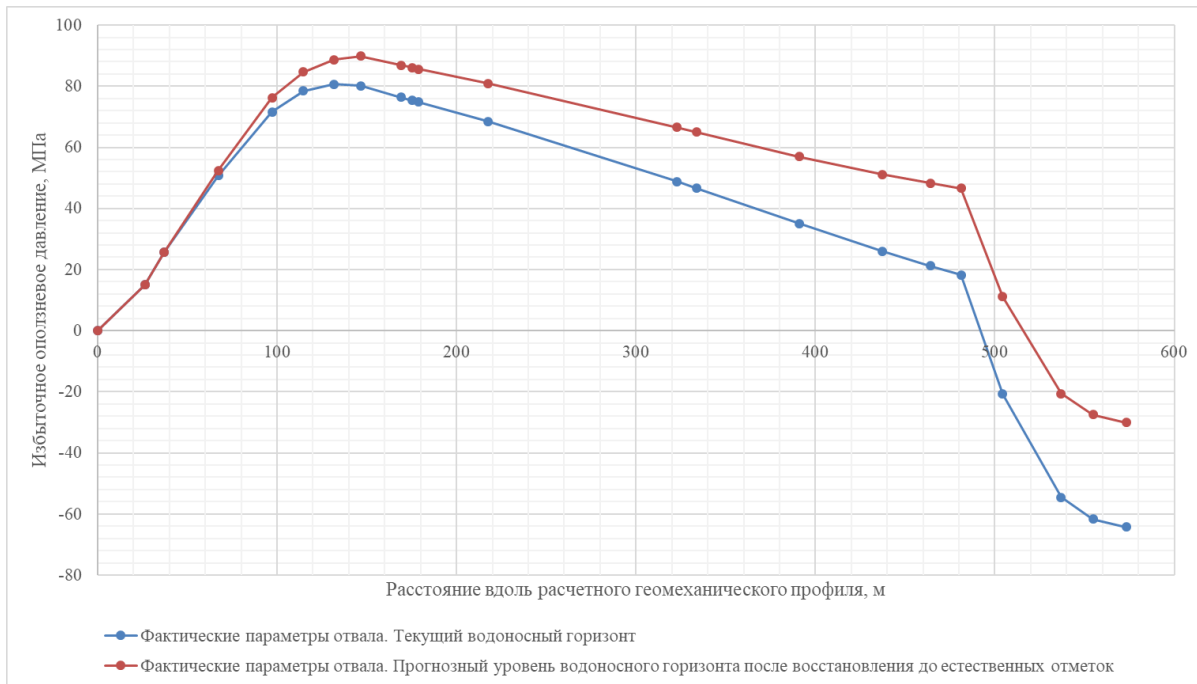


Рисунок 4. Изменение значения оползневого давления вдоль разреза, проведенного от предполагаемой точки формирования оползня до точки сопряжения внутреннего отвала и борта выработки

Кривые, представленные на рисунке 3 имеют закономерный характер, при этом каждый из рафиков состоит их трех участков. Первый - интервал возрастания, который соответствует активной части оползня, в которой удерживающие силы меньше, чем сдвигающие, при этом скорость возрастания постепенно затухает. Далее кривая переходит на интервал линейного убывания (интервал от 140 до 480 на рисунке), на данном участке удерживающие силы незначительно превышаю сдвигающие в каждом из рассмотренных расчетных блоках массива. Третья часть кривой, на котором наблюдается быстрое убывание, которое обусловлено тем, что борт имеет значительно более высокие механические свойства, чем техногенные отложения, в связи с этим соотношение удерживающих и сдвигающих сил резко изменяется.

Нужно отметить, что при увеличении уровня водоносного горизонта в теле техногенного насыпи угол наклона второго участка кривой к оси абсцисс становится меньше, это связано с увеличением гидростатических сил, действующих в массиве, что приводит к уменьшениям удерживающих сил.

Проведенный анализ факторов, влияющих на состояние горнопромышленной природно-технической системы “внутренний отвал - бортовой массив”, показал, что наибольшее влияние на устойчивость рассматриваемого комплекса оказывают инженерно-геологические и гидрогеологические факторы. Изменение которых во времени обусловлено, в первую очередь, выветриванием отвальных пород: разрушением алевролитов и песчаников на глинистом цементе под действием атмосферной влаги и температуры до суглинистого материала, а также формированием техногенного водоносного горизонта в теле отвала.

Как показывают проведенные расчеты в условиях рассмотренного техногенного массива он не оказывает критического воздействия на прибортовой массив выработки (угольного карьера), которое могло бы способствовать деформационным явлениям пород естественного массива, заключенным между отвалом и урезом реки. Проведенное прогнозное моделирование показало, что даже при полном восстановлении водоносного горизонта до уровней, наблюдавшихся до начала ведения добычных работ и отсыпки еще одного яруса устойчивость и отвальной насыпи и бортового массива сохранится на требуемом уровне. Это в первую очередь подтверждается вычисленными значениями коэффициентов запаса устойчивости, которые во всех рассмотренных случаях имеют значения выше нормативного.

### Литература

1. Поклад Г.Г., Шпаков П.С., Долгонос В.Н., Разработка научных рекомендаций по параметрам внутренних отвалов на Шубаркольском разрезе // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2000. № 6. С. 120-122.
2. Низаметдинов Ф.К., Сембин Ж.Ж., Скендиров Р.Т. Исследования параметров устойчивости внутренних отвалов разреза "Восточный" // В сборнике:

- ADVANCED SCIENCE. сборник статей V Международной научно-практической конференции. Ответственный редактор Г.Ю. Гуляев. 2018. С. 64-68.
3. Зайцева А.А., Ческидов В.И., Зайцев Г.Д., Влияние порядка отработки карьерного поля на вместимость внутреннего отвала // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2007. № 5. С. 62-69.
  4. Cheskidov V., Kurenkov D., Lipina A., Grobler H. Slope monitoring systems design for mining enterprises /В сборнике: E3S Web of Conferences. 5. Сер. "5th International Innovative Mining Symposium, IIMS 2020" 2020. С. 01025.
  5. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Manevich A.I., Kurenkov D.S., Status monitoring of sloping structures // В сборнике: Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - Proceedings Of The International Forum-Contest of Young Researchers, 2018. Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers. St. Petersburg, 2019. С. 41-47.
  6. Храпцов Б.А., Ростовцева А.А., Лубенская О.А., Кравченко А.С., Разработка инженерно-технических мероприятий по обеспечению устойчивости внутреннего отвала карьера мела "Зеленая поляна" // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2015. № 3 (200). С. 171-175.
  7. Ческидов В.В., Маневич А.И., Липина А.В., Получение и анализ больших данных в практике мониторинга состояния горнотехнических сооружений // Горная промышленность. 2019. № 2 (144). С. 86-88.
  8. Кириченко Ю.В., Ческидов В.В., Пуневский С.А., Геомеханика. Инженерно-геологическое обеспечение управления состоянием массивов горных пород // Учебное пособие / Москва, 2017.
  9. Миллер Э.А., Матвеев А.В., Старцев В.А. Геомеханическое обоснование параметров устойчивости откосов внутренних отвалов // В сборнике: Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под общей редакцией профессора М.В. Темлянцева. 2020. С. 198-199.

### References

1. Poklad G.G., Shpakov P.S., Dolgonosov V.N., Development of scientific recommendations on the parameters of internal dumps at the Shubarkolsky section // Mining information and analytical bulletin. 2000. No. 6. pp. 120-122.
2. Nizametdinov F.K., Sembin Zh.Zh., Skendirov R.T. Studies of stability parameters of internal dumps of the Vostochny section // In the collection: ADVANCED SCIENCE. collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference. Responsible editor G.Y. Gulyaev. 2018. pp. 64-68.
3. Zaitseva A.A., Cheskidov V.I., Zaitsev G.D., The influence of the mining order of the quarry field on the capacity of the internal dump // Physico-technical problems of mineral development. 2007. No. 5. pp. 62-69.
4. Cheskidov V., Kurenkov D., Lipina A., Grobler H. Slope monitoring systems design for mining enterprises / In the collection: E3S Web of Conferences. 5. Ser. "5th International Innovative Mining Symposium, IIMS 2020" 2020. p. 01025.
5. Cheskidov V.V., Lipina A.V., Manevich A.I., Kurenkov D.S., Status monitoring of sloping structures // In the collection: Topical Issues of Rational Use of Natural Resources - Proceedings of The International Forum-Contest of Young Researchers, 2018. Proceedings of the International Forum-Contest of Young Researchers. St. Petersburg, 2019. pp. 41-47.
6. Khramtsov B.A., Rostovtseva A.A., Lubenskaya O.A., Kravchenko A.S., Development of engineering and technical measures to ensure the stability of the internal dump of the chalk pit "Zelenaya Polyana" // Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences. 2015. No. 3 (200). pp. 171-175.
7. Cheskidov V.V., Manevich A.I., Lipina A.V., Obtaining and analyzing big data in the practice of monitoring the condition of mining facilities // Mining Industry. 2019. No. 2 (144). pp. 86-88.
8. Kirichenko Yu.V., Cheskidov V.V., Punevsky S.A., Geomechanics. Engineering and geological support for the management of the state of rock massifs // Textbook / Moscow, 2017.

9. Miller E.A., Matveev A.V., Startsev V.A. Geomechanical substantiation of the stability parameters of the slopes of internal dumps // In the collection: Science and youth: problems, searches, solutions. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference of Students, postgraduates and Young Scientists. Under the general editorship of Professor M.V. Temlyantsev. 2020. pp. 198-199.

*© Липина А.В., 2023 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №3/2023*

**Для цитирования:** Липина А.В. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ СИСТЕМЫ «ВНУТРЕННИЙ ОТВАЛ – ПРИБОРТОВОЙ МАССИВ» // Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №3/2023