

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 624.131.138

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ «РУДНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ»

Л.А. ЯРГ¹, О.М. ЖИТИНСКАЯ²

*¹Российский государственный геологоразведочный университет
117997, Россия, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23;*

*²Старооскольский филиал Российского государственного геологоразведочного университета, СОФ МГРИ-РГГРУ
309530, Россия, г. Старый Оскол, ул. Ленина д. 14/13; e-mail: gonjarova_o@mail.ru*

Рассмотрена структура природно-технической системы (ПТС) «Хвостохранилище» железорудных месторождений — разделение на категории, различающиеся характером процессов взаимодействия. По процессам, развивающимся в пределах сферы взаимодействия (СВ), выделяются зоны: аэродинамического воздействия; дифференциации пульпы (осаждения илов); фильтрации техногенных вод (купол растекания); зона миграции химических компонентов; зона уплотнения, суффозии и гравитационных процессов. Длительная эксплуатация месторождений приводит к изменению границ, режима и набора процессов. Это требует постоянной оптимизации (корректировки) системы размещения пунктов получения информации, режима и параметров мониторинга. Оптимальное функционирование ПТС обеспечивается методами управления, опирающимися на информацию об этих процессах в системе.

Ключевые слова: месторождение; хвостохранилище; природно-техническая система; сфера взаимодействия (ПТС); мониторинг; процессы взаимодействия.

**INFORMATION BASIS FOR THE OPTIMAL EXPLOITATION
OF THE NATURAL-TECHNICAL SYSTEMS «ORE DEPOSITS»**

L.A. YARG¹, O.M. ZHITINSKAYA²

*¹Russian State Geological Prospecting University
Russian Federation, 117997, Moscow, Miklouho-Maklaya street, 23*

*²Russian State Geological Prospecting University, Branch in Stariy Oskol, SOF MGRI-RSGPU
309514, Russia, Belgorod region, Stariy Oskol, Lenina street, 14/13; e-mail: gonjarova_o@mail.ru*

A structure of the natural-technical system (PTS) «Tailings dam» of the iron-ore deposits — decomposition on the categories with different character of the connection processes has been considered. Elementary PTS «Tailings dam» may be allocated into five zones: aerodynamical influence, differentiation of effluent (colmatage), filtration of industrial water (dispersion of dome), zone of chemical components migration, a zone of consolidation, suffusion and gravitation processes. A long standing exploitation of the deposits change boundaries, regimes and set of the processes. It requires permanent correction of the dislocation of the information systems points, as well as of regime and monitoring parameters. Optimal functioning of PTS is provided by control methods, based on the information about these processes.

Keywords: deposit; tailings dam; natural-technical system; sphere of connection; monitoring; connection processes.

Разработка месторождений полезных ископаемых вызывает кардинальные изменения окружающей среды: атмосферы, литосферы, гидро- и биосферы, приводя к негативным последствиям. Сокращение их возможно только при четком понимании процессов, развивающихся в сфере взаимодействия природно-технических систем (ПТС) «ГОК».

Функционирование ПТС ГОК определяется набором сложных процессов природного, техногенного и природно-техногенного характера.

Пространственное распространение, режим и время проявления процессов различны в ходе функционирования ПТС [2, 7].

Оптимальное функционирование достигается в результате анализа информации, характеризующей динамику ПТС. Это предопределяет отношение к пространственной системе пунктов получения информации, набору наблюдаемых параметров и режима их наблюдений. Достижение оптимального функционирования системы требует учета свойств информации, таких как замкнутость сферы взаимодействия, оптимум — минимально необходимый и достаточный объем для решения инженерной задачи, полнота по списку свойств, точность и достоверная вероятность, получаемой в рамках мониторинга. При этом пространственно-временная структура мониторинга должна корректироваться с учетом изменения набора и параметров процесса в ходе длительного периода эксплуатации ПТС ГОК (40–50 лет).

Локальная природно-техническая система (ЛПТС) «Месторождение» включает элементарные ПТС: карьер, хвостохранилище, гидроотвал, отвал вскрышной породы, дренажные сооружения. Каждая из них характеризуется особенностями функционирования: набором процессов, их режимом и численными характеристиками.

Развитие процессов, инициируемое технологическими работами, носит прогрессирующий характер в пространственно-временном отношении [3]. Например, перманентное углубление карьера и работа дренажных установок приводит к изме-

нению напряженного состояния, разуплотнению пород, увеличению размеров депрессионной воронки и др.

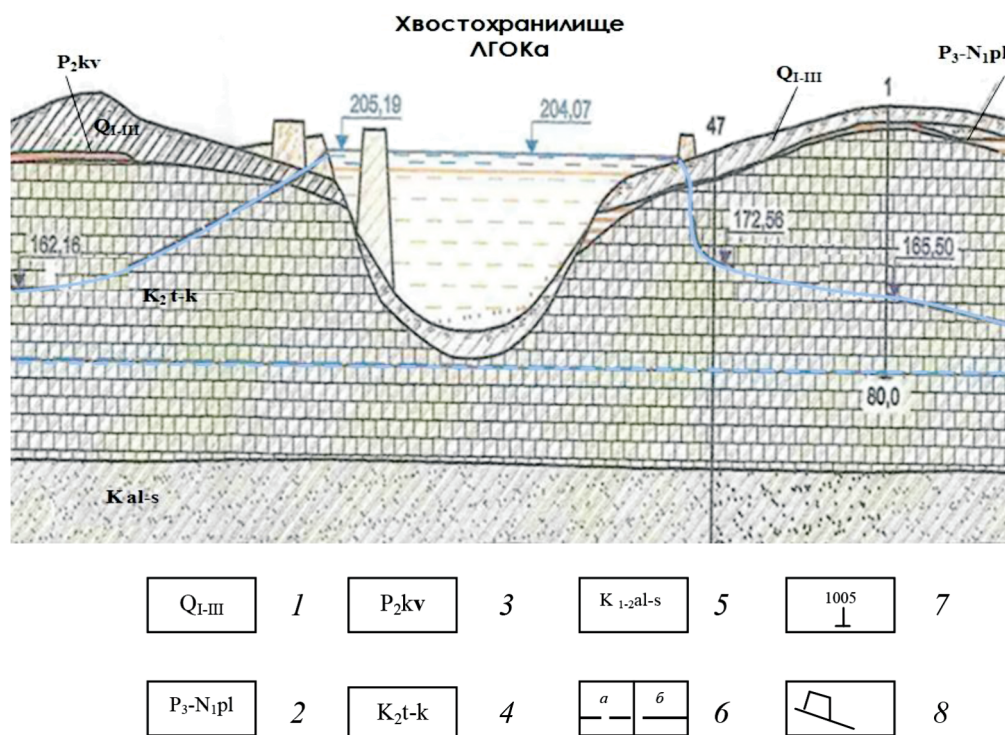
Сказанное свидетельствует о необходимости четкого представления о сферах взаимодействия элементарных ПТС и протекающих в них процессах.

Рассматриваемая природно-техническая система (ПТС) ГОК КМА является сложной системой локального уровня. «ПТС — упорядоченная в пространственно-временном отношении совокупность взаимодействующих компонентов, включающая орудия, продукты и средства труда, естественные и искусственно измененные тела, а также естественные и искусственные поля» [2].

ПТС «Хвостохранилище Лебединского ГОКа», действует с 1972 г. В 2004 и 2014 гг. для поддержания производственной мощности выполнена реконструкция: увеличена проектная отметка до 250 м для ежегодной укладки хвостов — 19,5 млн. м³/год в рамках существующих границ. ПТС «Хвостохранилище Стойлинского ГОКа» расположена в 1,5 км от промплощадки и эксплуатируется с 1984 г.

Хвостохранилища намывного типа представляют собой естественные ёмкости, образованные плотиной в русле р. Чуфичка и ограждающими дамбами по берегам. Площадь земельного отвода 1944 га; длина ограждающих дамб имеет сложную структуру и составляет более 6 км; заскладировано хвостов на Лебединском хвостохранилище — 415 млн м³. Вместимость Стойлинского хвостохранилища 172 млн. м³.

В геологическом строении сфер взаимодействия хвостохранилищ принимают участие четвертичные песчано-глинистые отложения, средней мощности 26 м; карбонатная формация турон-коньяк-сантонского ярусов, средней мощности 55,4 м; терригенная формация альб-сеномана, мощностью 35,4 м. В гидро-геологическом отношении объект оказывает влияние на альб-сеноманский, турон-коньякский и четвертичный водонесущий горизонты (рисунок).



Купол растекания подземных вод в районе Лебединского хвостохранилища: 1 — Нижневерхнечетвертичные отложения; погребённый аллювий: пески, супеси 2 — неоген-палеогеновые отложения поглавской свиты; пески; 3 — палеогеновые отложения киевской свиты; глины; 4 — турон-коньякский ярус, белый писчий мел, мергель; 5 — альб-сеноманский ярус; глауконито-кварцевые пески; 6 — уровень подземных вод альб-сеноманского водоносного горизонта: а — в естественном состоянии, б — в нарушенном состоянии; 7 — геологическая скважина и её номер; 8 — тело дамбы

В пределах ПТС «Хвостохранилище» по процессам, развивающимся в пределах сферы взаимодействия (СВ), выделяются зоны: I — аэродинамического воздействия; II — дифференциации пульпы (осаждения илов); III — фильтрации техногенных вод (купол растекания); IV — миграции химических компонентов; V — уплотнения, суффозии и гравитационных процессов.

Сфера взаимодействия — область литосферы, в которой под влиянием орудий и предметов труда (сооружений, зданий, плотин, водозаборов и других) изменяется течение природного геологического процесса и развивается процесс искусственного происхождения, инженерно-геологический.

I — зона аэродинамического воздействия. В воздухе над Лебединским и Стойленским карьерами висит овальное пылевое облако радиусом 40 км; основная масса осажается в радиусе 3–4 км от места взрыва, что за год составляет до 1000 кг/га [8]. При взрывных работах ареол впадения пыли около 5 км.

Пылеватые частицы содержат оксиды кремния, металлические частицы — супермагнитные кристаллы железа, наночастицы благородных металлов, углеродистые — фуллерены [10].

Наблюдаемые параметры: содержание и состава пылеватых частиц в пробах воздуха.

Управляющие решения: закрепление пляжей и откосов дамб вяжущим веществом и посевом трав.

II — зона дифференциации пульпы (расслоения пульпы и осаждения илов). Вещественный состав лежалых хвостов обогащения ГОК КМА (химический, гранулометрический, минеральный) различен за счёт расслоения хвостовой пульпы и концентрации тяжёлых минералов железа вблизи её выпусков. Минеральный состав субстрата хвостохранилища представлен кварцем (49%); гематитом (23%), магнетитом (5%), слюдой и амфиболами. В глинистой фракции присутствует тонкодисперсный кварц и слюды. Субстрат хвостохранилища характеризуется слабощелочной реакцией среды (рН 7,2–7,6), невысокой гидролитической кислотностью, высоким содержанием калия — 32 мг/100 г, железа — до 37%. Содержание железа в донном иле до 9850 мг/кг [9].

Наблюдаемые параметры состояния отстойного пруда и водосборных сооружений водохранилища: уровень воды, промер глубин (с целью определения объёмов воды) и мощности ила.

Управляющие решения: ограничение минимальных отметок гребня дамбы над уровнем воды 1,0 м, высоты слоя заиливания 0,27–0,42, пропускной способностью водоотводных каналов 24–31 м³/с.

III — зона фильтрации техногенных вод (купол растекания). Строительство хвостохранилищ вызвало существенное нарушение гидродинамического режима подземных вод. Интенсивные утечки из хвостохранилищ привели к подъёму уровня подземных вод на прилегающей территории более чем на 25 м по сравнению с естественным режимом [5] и к образованию обширных куполов растекания техногенных вод (рисунок). При подаче хвостов с постоянной интенсивностью в формировании купола растекания чётко прослеживаются три фазы: 1) образования и роста купола, охватывающая время с момента начала эксплуатации хвостохранилища до момента достижения максимального подъёма купола; 2) стабилизационного состояния купола, с момента максимального подъёма до начала его растекания; 3) растекание купола. По мере роста мощности хвостов возрастает их экранизирующее влияние. В результате происходит непосредственное растекание купола подземных вод под хвостохранилищем, уменьшение уклонов и скорости потока подземных вод [5].

Параметры наблюдения дренажных сооружений включают: определение расходов и химического состава технологических вод, мест выхода фильтрационных вод на откосах дамб.

Управляющие решения: укладка суглинистых прослоев, снижающих фильтрационные потери из хвостохранилища.

IV — зона миграции химических компонентов. Основными загрязняющими компонентами в водах хвостохранилища Лебе-

динского ГОК являются соединения железа, азота и нефтепродукты [5, 6]. Анализ закономерности изменчивости загрязнения ландшафта в зоне функционирования хвостохранилища свидетельствует о ежегодном возрастании валового содержания железа на всем интервале удаленности (1–10 км) от источника загрязнения. Содержание тяжёлых металлов в талой воде отмечено в зоне до 4 км, их превышение ПДК составляет: для меди 50, кадмия 40, хрома 11, цинка 8 раз.

Определение в почвах валового содержания компонентов (железо, медь, кадмий, марганец, кобальт, хром, свинец и цинк) в 12 пунктах расположенных на расстоянии: 50; 500; далее через 1000 м до 10000 м, на глубину до 1,7 м, выявило повышенное содержание железа, марганца, никеля, меди и олова [9]. Главную роль в накоплении металлов в почве (5–10 см) играют органическое вещество, глинистые минералы, гидроксиды железа и марганца.

Грунтовые воды четвертичного водоносного горизонта практически повсеместно характеризуются повышенной жесткостью 12,8 мг-экв/л (ПДК 7). На некоторых участках отмечено превышение в воде сухого остатка до 2283 мг/л (ПДК 1000), ионов хлоридов до 1073 мг/л (ПДК 350), кремния до 22 мг/л (ПДК 10), нефтепродуктов до 0,32 мг/л (ПДК 0,1); из микрокомпонентов повышенные содержания марганца до 0,13 мг/л (ПДК 0,1) и алюминия до 0,92 мг/л (ПДК 0,5). В подземных водах турон-коньякского водоносного горизонта увеличено количество ионов сульфатов до 70 мг/л, железа общего до 3,46 мг/л (ПДК 0,3). В альб-сеноманском водоносном горизонте локально вода имеет повышенную жесткость до 17,9 мг/л (ПДК 7), превышение сухого остатка до 1909 мг/л (ПДК 1000), содержания натрия до 509, 7 мг/л (ПДК 200), кремния до 19,8 мг/л (ПДК 10), марганца 0,32 мг/л (ПДК 0,1) и окисляемости перманганатной до 311,5 мгО₂/л (ПДК 5) [4].

Наблюдаемые параметры: химический состав фильтрационных и осветлённых вод хвостохранилища; уровень и химический состав подземных и поверхностных вод, объёмы и химический состав оборотных вод.

Управляющие решения: предотвращение сброса в хвостохранилища коммунально-бытовых сточных вод, богатых соединениями азота; очистка территории от нефтепродуктов и других отходов производства; проведение профилактического ремонта насосного оборудования; создание противифльтрационного экрана, играющего роль барьера для загрязняющих веществ.

V — зона уплотнения, суффозии и гравитационных процессов. Устойчивости дамб зависит от физико-механических свойств грунтов тела и основания дамбы, от её геометрических параметров: высоты, заложения низового откоса, ширины гребня.

Физико-механические свойства хвостов: удельный вес 2,85 т/м³, средневзвешенный диаметр 0,14 мм, плотность сухих хвостов на призме 1,4 т/м³, содержание взвешенных частиц в оборотной воде до 2000 мг/л. Геометрические параметры заложения низового откоса (генеральный уклон) — 1:4, на спрямляющей дамбе — 1:5, длина надводного пляжа — 150 м [11]. Процессы, протекающие в теле дамб: суффозионный вынос, поверхностная эрозия (появлением промоин), выпора грунта на откосах или у подошвы дамбы фильтрующейся водой, деформации откосов, бERM, гребня. Суффозионный вынос, определяющий прочность дамбы, зависит от поперечного сечения дабы, градиента напора и уровня воды. Для этого необходимы данные об уровнях и положении кривой депрессии в пьезометрах.

Наблюдаемые параметры за состоянием ограждающих дамб: деформации откосов, бERM, гребня (по смещению реперов, установленных в теле дамбы), уровни в пьезометрах (с целью определения положения кривой депрессии), гранулометрический состав и физико-механические свойства намывных грунтов по длине намывного пляжа, генеральный угол уклона низового откоса дамбы в период отсыпки дамб обвалования, выходы фильтрационных вод и суффозионного выноса.

В рамках контроля технологических характера (съёмка пляжной зоны) параметрами наблюдения являются: отметка

дамб, ширина по гребню, заложение откосов, минимальные и максимальные отметки гребня намываемых дамб.

Техническими средствами контроля являются водомерные посты, пьезометры, гидрогеологические скважины, репера.

Таким образом, по набору негативных процессов сфера взаимодействия сложной ПТС «Хвостохранилище» должна быть разделена на пять зон. Это позволяет обосновать наиболее информативные параметры, подлежащие наблюдению в системе

мониторинга. Учитывая изменение характера и интенсивности процессов при длительной разработке месторождений, систему мониторинга следует корректировать в пространственно-временном отношении.

Такой подход позволяет устанавливать основные тенденции распространения негативных последствий и выработать эффективные управляющие решения по ограничению их воздействий на окружающую среду.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аргимбаев К.Р. Обоснование технологии открытой разработки железосодержащих техногенных месторождений на примере хвостохранилищ ГОКов КМА // Библиотека диссертаций. 2013 г. [Электронный ресурс] <http://www.dslib.net/geotechnology/obosnovanie-tehnologii-otkrytoj-zagryazneniya-zhelezosoderzhawih-tehnogennyh.html>.
2. Бондарик Г.К., Ярг Л.А. Инженерная геология. Вопросы теории и практики. Философские и методологические основы геологии. М.: ИД КДУ, 2015. 296 с.
3. Житинская О.М., Ярг Л.А. Изменение компонентов природной среды при длительной разработке месторождений открытым способом (на примере КМА) // Труды XII Междун. науч.-практ. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Том 2. М.: 2017. С. 181–182.
4. Еланцева Л.А., Акиншин Л.П. Ведение геоэкологического мониторинга подземных и поверхностных вод в зоне влияния объектов Стойленского ГОКа. Отчёт о НИР/НТЦ НОВОТЭК. Белгород, 2015. 154 с.
5. Карачевцев Н.Ф. Экспертная оценка влияния хвостохранилища Лебединского ГОКа с учётом его развития на подземные воды, рекомендации по защите прилегающих территорий от подтопления и водных ресурсов от загрязнения. Отчёт о НИР/НТЦ «НОВОТЭК». Белгород, 2000. 66 с.
6. Кравчук Т.Н., Сергеев С.В. Прогноз загрязнения подземных вод при разработке железорудных месторождений КМА методами численного моделирования // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. 2012 г. № 15 (134). Том 20. [Электронный ресурс] <http://cyberleninka.ru/article/n/prognoz-zagryazneniya-podzemnyh-vod-pri-zhelezorudnyh-kma-metodami-chislennogo-modelirovaniya>. Дата обращения — 15.06.2017 г.
7. Кузькин В.И., Ярг Л.А., Кочетков М.В. Методическое руководство по изучению инженерно-геологических условий рудных месторождений при из разведке. М.: РИЦ ВИМС, 2003. 153 с.
8. Осипенко Е.А. Экологическое состояние природных ресурсов в зоне функционирования хвостохранилища Михайловского ГОКа КМА. Канд дисс., Курск, 2008 г.
9. Фильчаков Ю.В. Экологическое состояние природных ресурсов в зоне функционирования хвостохранилища Михайловского ГОКа КМА // Библиотека диссертаций и авторефератов. 2008 г. <http://earthpapers.net/ekologicheskoe-prirodnih-resursov-v-zone-funkysionirovaniya-hvostohranilisha-mihaylovskogo-goka-kma>. Дата обращения — 13.07.2017 г.
10. Чернышов Н.М. Техногенный золото-платиновый тип месторождений КМА (Центральная Россия) // Вестник Воронежского университета. Серия: Геология. №1. [Электронный ресурс] <http://www.vestnik-vsu.ru/pdf/geologia/2010/01/2010-01-17.pdf>. Дата обращения — 13.07.2017 г.