Записки Санкт-Петербургского горного института им.Г.В.Плеханова.
Т. 133. СПб, 1992

УДК 624.131.1:62

В.Н.НОВОЖИЛОВ, А.Е.ШЕВЧЕНКО

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УСЛОВИЙ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКИ ИКСИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ БОКСИТОВ

Иксинское месторождение бокситов открыто в 1949 г. и разведано в 1950-1953 гг. Северной комплексной геолого-разведочной экспедицией Северо-Западного геологического управления.

В период с 1963 по 1971 г. Ленинградским трестом инженерно-строительных изысканий проведены комплексные инженерно-геологические исследования на участках расположения наземных сооружений Северо-Онежского рудника и водозащитной дамбы. В 1973-1974 г. Томским инженерно-строительным институтом были выполнены исследования непосредственно в пределах карьерного поля. Впервые выполнен комплекс лабораторных исследований свойств горных пород по 170 монолитам. На основе этих работ дана предварительная инженерно-геологическая оценка пород вскрыши, продуктивной толщи и подстилающих пород. Проведены первые расчеты углов откосов горных выработок.

С 1976 г. по настоящее время в Северо-Онежском бокситоносном районе Санкт-Петербургским горным институтом проводятся детальные инженерно-геологические исследования и наблюдения в пределах Иксинского и Плесецкого месторождений. За это время на площади карьерного поля Иксинского месторождения было пробурено 28 инженерно-геологических и гидрогеологических скважин, отобрано свыше 500 проб горных пород, проведены полевые опытные работы: пенетрационные исследования (300 точек), вращательный срез (около 200 точек), а также большой объем лабораторных исследований состава и физико-механических свойств горных пород: гранулометрический состав и физические свойства (240-260 определений), компрессионные испытания (100 определений); сопротивление пород сдвигу (200 определений) и др. Проведена инженерно-геологическая съемка Беловодского карьера на площади 4,5 км^2 (185 точек наблюдений) и изучены оползневые явления на его рабочих бортах.

Краткие сведения об инженерно-геологических условиях месторождения

Иксинское месторождение расположено в Плесецком районе Архангельской области на левом берегу р.Онеги. Оно приурочено к зоне трансгрессивного на-

легания нижнекаменноугольных отложений Московской синеклины на кристаллические породы восточного склона Балтийского щита и расположено в одноименной котловине в древней погребенной Северо-Онежской впадине.

Глубина залегания бокситов от поверхности земли изменяется от 39 до 137 м, составляя в среднем для различных залежей 45-110 м; максимальная мощность бокситов достигает 23 м и приурочена к осевой части котловины.

Продуктивная толща подстилается верхнедевонскими пестроцветными алевритовыми глинами, с прослоями песков и песчаников, и каолинитовыми глинами тульского горизонта нижнего карбона. По характеру строения толщи вскрышных пород на месторождении выделяются два типа разреза - восточный и западный, разделенные неясно выраженным в рельефе карбоновым уступом (см. рисунок).

В восточной части месторождения бокситовые породы перекрываются нижнекаменноугольными терригенными образованиями михайловского, веневского, тарусского и стешевского горизонтов, среди которых преобладают гидрослюдистые алевритовые глины с прослоями и гнездами песчано-алевритового материала. Выше залегают карбонатные породы нижнего и среднего карбона, представленные переслаивающимися известняками, доломитами и мергелями; карбонатная толща сильно трещиновата и закарстована. Для разреза в целом характерна высокая фациальная изменчивость, резкое колебание мощности отдельных слоев.

Разрез венчают четвертичные отложения общей мощностью 10-16 м; среди них преобладают моренные суглинки и супеси.

В западной части месторождения в кровле бокситовых пород залегают только четвертичные отложения: средневерхнечетвертичные моренные, флювиогляциальные, озерно-ледниковые и современные озерные суммарной мощностью до 45-50 м.

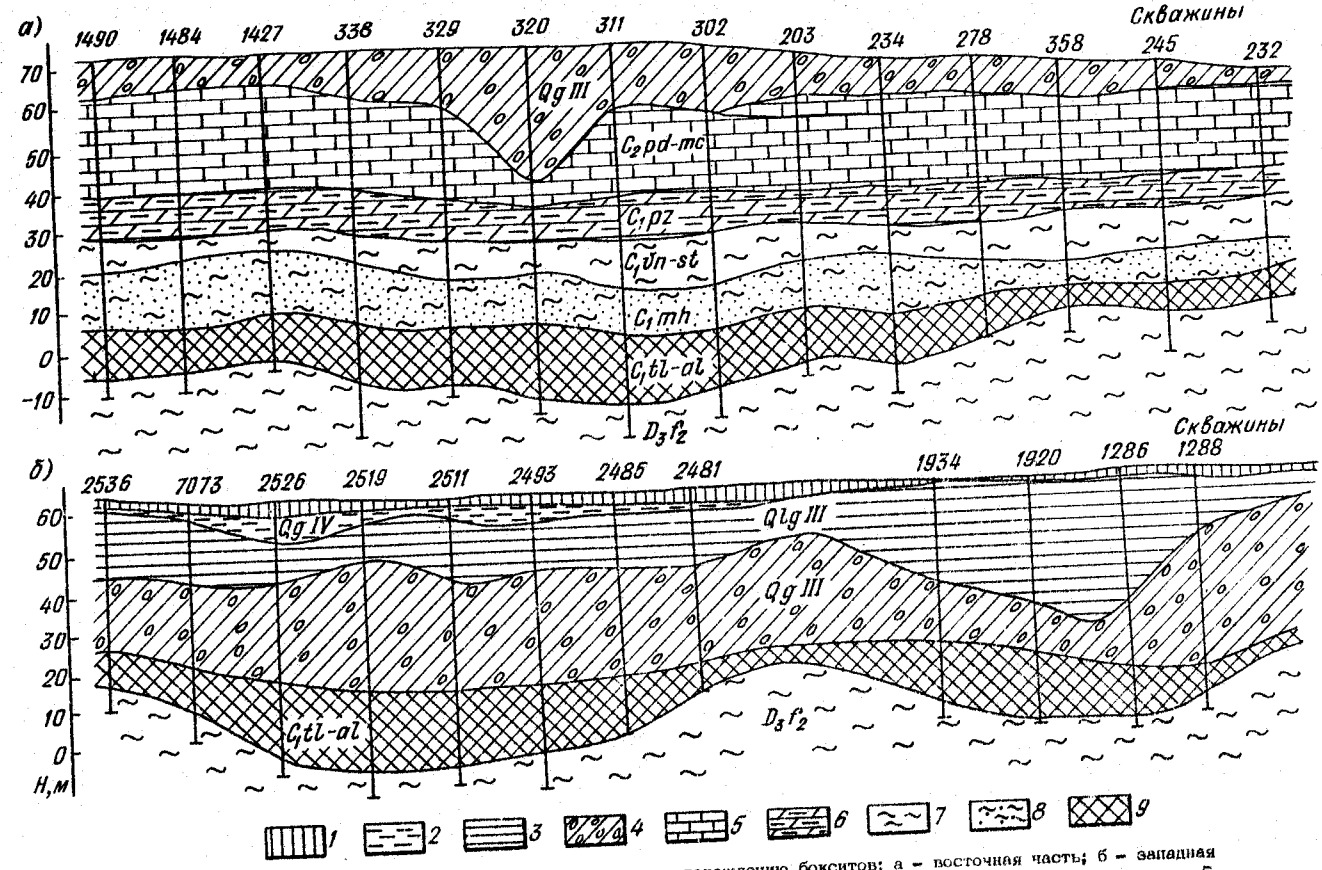
По составу морена суглинистая или супесчаная с гравием, галькой и валунами в основном карбонатных пород. Флювиогляциальные образования представлены, главным образом, разнозернистыми песками с крупнообломочным материалом или гравийно-галечно-валунными породами. Озерно-ледниковые отложения характеризуются суглинисто-глинистым составом, нередко ленточной текстурой; их мощность достигает 30 м. Переход к залегающим выше современным озерным глинам, суглинкам и супесям, как правило, постепенный, что затрудняет стратификацию этих образований.

В кровле озерных отложений иногда встречаются пылеватые мелко- и тонкозернистые пески. Мощность современных озерных отложений составляет 5-15 м, а суммарная мощность озерно-ледниковых и озерных достигает 40-45 м.

Практически в пределах всего месторождения развиты болотные отложения, представленные средне- и плохо разложившимся сфагновым торфом мощностью до 5 м.

В гидрогеологическом отношении район Иксинского месторождения относится к западной части Северо-Двинского артезианского бассейна и отмечается значительной сложностью.

По данным Плесецкой комплексной геолого-разведочной экспедиции (А.А.Саар, Г.Ф.Бобков и др.), в геологическом разрезе месторождения выделяются во-



Геологические разрезы по Иксинскому месторождению бокситов: а – восточная часть; б – западная

1 – торф; 2 – глины слоистые текучие; 3 – глины ленточные мягкопластичные; 4 – суглинки валунные; 5 – известняки; 6 – мергели; 7 – глины алевритовые полутвердые; 8 – глины с включением железистых бобовин; 9 – бокситы

доносные комплексы: терригенных верхнедевонских отложений, терригенных и бокситовых пород нижнего карбона, нижнесреднекаменноугольных карбонатных образований и четвертичных отложений.

Водоносный комплекс верхнедевонских отложений представлен прослоями песков, песчаников и алевритов, залегающих в толще пестроцветных глин. Воды напорные, величина напоров достигает 60-70 м; коэффициент фильтрации не превышает 3-5 м/сутки для песчаников и 0,03-0,05 м/сутки для алевритов.

Водоносный комплекс терригенных и бокситовых пород малообилен, величина напоров изменяется от 20 (надрудная часть) до 60-70 м (подрудная часть); коэффициент фильтрации изменяется от долей единицы до 10-30 м/сутки.

Водоносный комплекс карбонатной толщи нижнего и среднего карбона является главным и наиболее водообильным; подземные воды трещинного и карстово-трещинного типа содержатся в толще известняков и доломитов, неравномерно трещиноватых и закарстованных; воды напорные, статические уровни в зависимости от рельефа местности находятся на глубине 5-50 м. Водообильность комплекса пестрая, удельный дебит скважин изменяется от 3 до 120 л/с, коэффициент фильтрации изменяется от 20 до 100 м/сутки.

Водоносный комплекс четвертичных отложений является весьма пестрым. Подземные воды залегают на глубине от нескольких сантиметров до 10-15 м; воды поровые, ненапорные. Наибольшей водообильностью отличаются флювиогляциальные песчано-гравийно-галечные отложения (коэффициент фильтрации 10-20 $м^2$/сутки, водопроводимость составляет 100-400 $м^3$/сутки).

Оценивая в целом условия циркуляции подземных вод, следует подчеркнуть интенсивную связь их с поверхностными водами и благоприятные условия для восполнения ресурсов водоносного комплекса карбонатных нижнесреднекаменноугольных пород и четвертичных отложений.

Водоносные комплексы терригенных отложений нижнего карбона и верхнего девона относятся к зоне затрудненного водообмена, для них характерен рост минерализации с глубиной до 5-13,5 г/л и сульфатно-хлоридно-натриевый состав вод в то время, как вышележащие комплексы характеризуются гидрокарбонатным кальциево-магниевым составом.

Прогнозные водопритоки по месторождению строго дифференцированы: в восточной части месторождения (область развития карбонатных пород) они достигают 10-12 тыс.$м^3$/ч,* в западной части (область распространения песчано-глинистых пород) - 250-300 $м^3$/ч.

Инженерно-геологическое районирование карьерного поля месторождения

Инженерно-геологическое районирование Ижинского месторождения проведено в масштабе 1:10 000. При этом учитывались следующие природные и горно-технические факторы: а) рельеф поверхности; б) геологическое строение;

* По соседнему Плесецкому месторождению, по данным В.А.Мироненко, они могут достигать 18-20 тыс.$м^3$/ч.

в) гидрогеологические условия; г) физико-механические свойства горных пород и руд; д) глубина карьера на участке; е) проектная система разработки и параметры горного оборудования.

По данным разведки, с учетом всей полученной гидрогеологической и инженерно-геологической информации построены вспомогательные карты распространения четвертичных отложений и мощностей четвертичных отложений, а также озерных и озерно-ледниковых отложений. По этим картам и геолого-литологическим разрезам были установлены осредненные геолого-литологические колонки для каждого из выделенных при районировании участков.

Инженерно-геологический анализ строения карьерного поля показал, что его условия в значительной степени определяются историей геологического развития района.

В геологической истории района отчетливо прослеживается период, связанный с интенсивным размывом карбонатно-терригенных отложений, залегающих на рудной толще. В результате этого в дочетвертичном рельефе сформировались две крупные структуры: карбоновое плато, обрывающееся на западе крутым уступом, и эррозионная котловина, расположенная у подножья карбонового плато.

Последующий период характеризуется несколькими стадиями оледенения, в результате чего в пределах Иксинской депрессии сформировалась мощная толща ледниковых отложений. В пределах площади карьерного поля она представлена мореной валдайского оледенения, имеющей повсеместное распространение.

Кровля морены неровная, но в целом повторяет дочетвертичный рельеф. После отступления ледника в котловине сформировался приледниковый бассейн, где и происходило накопление песчано-глинистого материала, привносимого ледниковыми талыми водами. Сезонный характер осадконакопления определил ленточную текстуру озерно-ледниковых отложений.

В это же время в пределах карбонового уступа имел место интенсивный размыв морены. Формировалась разветвленная сеть временных водотоков, вырабатывались неглубокие долины, которые впоследствии были заполнены флювиогляциальными отложениями.

На заключительной стадии истории геологического развития территории дочетвертичный рельеф был в значительной степени снивелирован; территория представляла почти плоскую равнину с отдельными понижениями, приуроченными к переуглубленным участкам приледникового бассейна, в которых и сформировались типично-озерные условия осадконакопления. По мере заполнения озер осадками они значительно сократили свои размеры, что и способствовало дальнейшему выполаживанию и широкому заболачиванию территории.

Весь ход истории геологического развития района наглядно иллюстрирует закономерности формирования инженерно-геолотических условий месторождения, что позволяет достаточно однозначно подразделить карьерное поле на участки со сходными инженерно-геологическими условиями.

На основе комплекса природных факторов на рассматриваемой территории целесообразно выделить две крупные области, разделенные карбоновым глинтом: карбоновое плато А и котловину у подножия карбонового плато Б.

Область А охватывает площадь распространения карбонатных пород среднего карбона, перекрытых четвертичными отложениями, представленных ледниковыми и флювиогляциальными отложениями. Для всей территории в пределах этой области характерно наличие торфа с поверхности мощностью до I м. Проектируемая глубина карьера меняется от 60 до 80 м.

В этой области по мощности четвертичных отложений выделяются два района: I-й район с мощностью перекрывающей морены меньше I0 м и 2-й район, где мощность морены меняется от I0 до 25 м.

Выделение районов по этому принципу целесообразно потому, что моренные отложения являются наиболее слабыми из пород, участвующих в геологическом строении этой области. Следовательно, мощность морены является определяющей при оценке углов заложения бортов карьера.

Район I достаточно однороден по геологическому строению, но по условиям отработки в нем можно выделить два участка, которые характеризуются различной глубиной залегания полезного ископаемого, а следовательно, и глубиной проектируемого карьера. На участке I-а глубина проектируемого карьера изменяется от 60 до 70 м, на участке I-б - от 70 до 80 м.

В районе 2 выделяются два подрайона: 2-I с мощностью четвертичных отложений I0-20 м и 2-2 - с мощностью 20-30 м. По глубине проектируемого карьера в подрайоне 2-I можно выделить два участка: участок 2-2-а с глубиной карьера от 60 до 70 м и участок 2-2-б с глубиной 70-80 м. Подрайон 2-2 достаточно однороден, глубина проектируемого карьера составляет 75 м и поэтому выделение участков здесь нецелесообразно.

В выделенной области Б дочетвертичный рельеф характеризуется относительно ровной поверхностью кровли нижнего карбона. Основные различия в строении толщи вскрышных пород определяются послеледниковым рельефом, в котором на общем неровном фоне прослеживаются две ярковыраженные долины, которые,очевидно,являются древними долинами современных рек Иксы и Лужны. К западу от р.Лужны в послеледниковом рельефе выделяется обширная впадина. Четвертичные отложения в основном залегают на бокситовых породах. Лишь в непосредственной близости от карбонового уступа сохранилась полоса древних карбоновых перемятых глин, носящих следы гляциодислокации.

Четвертичные отложения представлены ледниковыми, озерно-ледниковыми, озерными и болотными отложениями. Этот комплекс пород отличается низкими показателями прочности. Самые прочные здесь моренные отложения.

При анализе условий проведения горных работ в этой области выделяются два района: район 3 с относительно неглубоким залеганием кровли морены от поверхности (меньше 20 м) и район 4 (переуглубленные впадины в послеледниковом рельефе) с глубиной залегания кровли морены 20-40 м. По мощности отложений, залегающих на морене, здесь выделяются два подрайона: 3-I, где мощность отложений, перекрывающих морену, меньше I0 м и 3-2 с мощностью этих отложений, меняющейся от I0 до 20 м.

Учитывая литологические особенности пород вскрыши и принятую схему отработки, по которой высота рабочих уступов принята равной I0 м, каждый из подрайонов подразделяется на ряд участков.

В пределах района 4 вскрыша представлена четвертичными ледниковыми, озерно-ледниковыми и озерными песчано-глинистыми породами. По мощности отложений, перекрывающих морену, здесь выделяются два подрайона: 4-I (от 20 до 30 м, из них до 3 м торфа) и 4-2 (30-40 м, мощность торфа 4,0 м).

Учитывая литологические особенности пород вскрыши и мощности отдельных литологических горизонтов, подрайоны разделены на шесть участков: 4-I-а, 4-I-б, 4-I-в, 4-I-г, 4-2-а, 4-2-б. На участке 4-I-а морена перекрыта толщей только озерно-ледниковых отложений, а на участках 4-I-б, 4-I-в и 4-I-г отложения, перекрывающие морену, представлены двумя литологическими разностями: слоистой толщей озерно-ледниковых песчано-глинистых осадков и озерными глинами.

Таблица 1

Схема инженерно-геологического районирования Иксинского месторождения бокситов

Область	Район	Подрайон	Участок	Генеральный угол заложения, градусы	
				рабочего борта (η = 1,2)	нерабочего борта (η = 1,4)
А	1	-	1-а	75	68
			1-б	73	66
	2	2-1	2-1-а	73	66
			2-1-б	68	60
		2-2	-	60	50
Б	3	3-1	3-1-а	50	40
			3-1-б	48	42
		3-2	3-2-а	46	38
			3-2-б	40	31
			3-2-в	33	26
			3-2-г	43	35
	4	4-1	4-1-а	36	30
			4-1-б	32	24
			4-1-в	20	17
			4-1-г	23	20
		4-2	4-2-а	32	28
			4-2-б	16	12

Таким образом, в результате проведенного районирования на карьерном поле Иксинского месторождения выделены две области (табл.I). Область А делится на два района, в пределах которых выделено пять участков. На территории области Б оконтурено два района с четырьмя подрайонами и 12 участками.

Расчет устойчивости откосов горных выработок в соответствии с инженерно-геологическим районированием

Одной из важнейших задач при оценке условий разработки месторождений полезных ископаемых открытым способом является прогноз устойчивости бортов проектируемых карьеров.

Прогнозирование по своей природе носит системный характер, так как борт рассматривается как функционирующая во времени и пространстве система взаимосвязанных элементов.

На основе расчетных схем геологического строения борта, определяемых на основе инженерно-геологического районирования карьерного поля месторождения и данных о свойствах пород выделенных расчетных элементов (табл.2), можно получить прогнозную информацию об устойчивости борта. Такая информация позволяет выйти на оптимальные значения углов заложения борта при различных режимах ведения горных работ. Оптимальные углы заложения должны гарантировать рациональную, экономичную и безопасную разработку полезного ископаемого. Для получения оптимальных углов заложения бортов карьера Яксинского месторождения были выполнены инженерные расчеты по выделенным на основе районирования участкам (см. табл.I).

Таблица 2

Нормативные значения показателей физико-механических свойств пород в условиях естественного залегания

Расчетный элемент (горизонты пород)	c, т/м^2	φ	$tg\,\varphi$	γ, г/см^3
Каменистые бокситы C_1tl-al	23,2	30°	0,577	2,12
Глины песчаные $C_1tl-al+C_1mh+C_1m-st$	13,3	27	0,509	2,07
Мергели C_1pr	24,6	17	0,305	2,03
Известняки, доломиты C_2pd-mc	60,0	40	0,839	2,42
Суглинки валунные $Qg\,III$	7,0	22	0,404	2,20
Пески крупнозернистые с гравием и галькой $Qfg\,II$	2,4	31	0,60	1,65
Глины $Qlg\,III$	1,8	18	0,34	1,85
Суглинки $Qlg\,III$	1,6	20	0,45	2,00
Глины $Ql\,IV$	0,7	0	0	1,56
Торф $Qp\,IV$	0,6	25	0,47	1,02

В качестве расчетных схем использовались типовые геологические разрезы, установленные для каждого участка. Расчеты устойчивости проводились по методике Г.Л.Фисенко (метод алгебраического сложения сил по наиболее напряженной криволинейной поверхности скольжения)* при коэффициенте запаса: $\eta = 1{,}2$ для рабочего борта и $\eta = 1{,}4$ для нерабочего борта с учетом длительности срока их эксплуатации. Результаты расчетов сведены в табл.I.

Погрешность определения нормативных значений показателей свойств горных пород оценивалась методом доверительных интервалов и для наших определений при доверительной вероятности 95 % не превышает 7 %. Этой погрешности соответствует коэффициент запаса, равный 1,07.

* Фисенко Г.Л. Устойчивость бортов карьеров и отвалов. М.: Недра, 1965.

В области А, где толща вскрышных пород представлена довольно прочными разностями, основную часть которых составляют известняки, расчетные углы заложения при заданных коэффициентах запаса для рабочих бортов меняются от 75 до 60°, для нерабочих – от 68 до 50°. Наиболее пологие углы заложения характерны для участка 2-2, где мощность четвертичных отложений достигает 25 м.

С учетом необходимости оставления берм безопасности и берм очистки, а также транспортных площадок генеральные углы заложения, полученные при разработке технологической конструкции борта, не будут превышать 60° и на участках I-а, I-б, 2-I-а,б будут обеспечены большими коэффициентами запаса.

При выборе технологического профиля борта углы заложения отдельных уступов должны задаваться так, чтобы коэффициент запаса, обеспечивающий их устойчивость, был в пределах I,5-2,0, но даже в очень крепких породах углы заложения откосов уступов не должны превышать 65°.

В области Б толща вскрышных пород практически полностью представлена четвертичными отложениями. В нижней части борта, где каменноугольные отложения имеют незначительную мощность, породы более прочные, а поэтому общая конфигурация борта в этой области имеет выпуклую форму.

Построение предельных профилей борта, выделенных при районировании, проводилось с учетом устойчивости в целом всего борта, вскрышной его части, сложенной четвертичными отложениями, и устойчивости наиболее слабых пород, представленных озерными и озерно-ледниковыми отложениями.

Наибольшую сложность при отработке бокситовых залежей представят участки 4-го района, где широко развиты озерные и озерно-ледниковые отложения большой мощности. Так, на участках, сложенных текучими озерными глинами, при высоте уступа 6 м и коэффициенте запаса, равном I,0, угол наклона уступа составляет 4-5°. Для безопасного ведения горных работ и сокращения объема вскрыши на этих участках целесообразно предусмотреть ряд инженерных мероприятий, направленных на удержание откосов, сложенных текучими озерными глинами.

При выборе горно-технического профиля в области Б необходимо стремиться максимально приблизить их к рекомендуемым нами расчетным профилям и не выходить за их пределы. Углы заложения отдельных уступов желательно задавать так, чтобы коэффициенты запаса, обеспечивающие их устойчивость, не выходили из интервала I,5-I,8. Уточнение ширины берм безопасности следует проводить с учетом планируемых инженерных мероприятий на отдельных уступах и прогноза развития деформации откосов.

В заключение отметим, что выполненное инженерно-геологическое районирование карьерного поля и расчеты устойчивых углов откосов позволят снизить объемы вскрышных работ примерно на 8-10 %, что,в свою очередь, уменьшит объем отвалообразования, а также снизить вероятность развития неблагоприятных геологических процессов и явлений, обосновать и предложить мероприятия по рациональному использованию и охране геологической среды при разработке месторождения.