ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДСЧЕТЕ ЗАПАСОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

AN EXPERIENCE OF USING GIS-TECHNOLOGIES FOR CALCULATING CONSTRUCTIONAL MATERIALS RESERVES

Ключевые слова: подсчетный блок; строительные материалы; песчано-гравийная смесь (ПГС); компьютерное моделирование; подсчет запасов; ГИС-технологии.

Key words: calculation block; constructional materials; all-in aggregate; computer simulation, estimation of reserves, GIS-technologies.

Аннотация: статья рассказывает об опыте получения точной количественной оценки запасов строительных материалов в полезной толще месторождения с помощью компьютерного моделирования залежи на базе ГИС-технологий.

Abstract: the article deals with an experience of accurate quantitative estimation of the constructional materials reserves in the available rock strata of a deposit using computer simulation of the deposit based on GIS-technologies.

Введение

При проектировании разработки месторождения строительных материалов требуется достоверно и точно определить объемы вскрышных и полезных пород, чтобы свести к минимуму расхождение календарных планов ведения горных работ с фактическими сроками отработки данного участка [5]. Подобного рода расхождения возникают ввиду несовершенства применяемых методик подсчета запасов, ориентированных на «полуручные» расчеты с построением слабо детализированных триангуляционных моделей залежи по ограниченному количеству опорных точек (скважин). Для того чтобы свести к минимуму такие ошибки, следует переходить к использованию более совершенных расчетных схем с применением компьютерного моделирования геологического строения месторождения. В настоящее время подобного рода моделирование наиболее просто и удобно осуществлять с применением широко распространенных ГИС — систем общего и специализированного назначения.

В настоящей статье рассматривается опыт применения ГИС ESRI ArcGIS 9.3 для подсчета запасов строительных материалов на месторождении с построением весьма точных моделей как самой залежи, так и вскрышных пород (на примере месторождения песчано-гравийной смеси «Убыть», расположенного в пригороде г. Глазов Удмуртской Республики).

Физико-географические условия исследуемого участка

Месторождение песчано-гравийной смеси (ПГС) «Убыть» расположено в 1 км северо-западнее г. Глазов Удмуртской Республики, на правобережной пойме реки Убыть. Его размеры составляют 250×100 м (2,5 га).

В геоморфологическом отношении район месторождения представляет собой всхолмленную равнину со сглаженными формами рельефа в виде небольших увалов и отдельных холмов [7]. Абсолютные отметки колеблются в пределах 136,6–139,4 м. Рельеф осложняется расчлененной речной и овражной сетью. Залежь ПГС имеет пластообразную форму и занимает участок высокой поймы, осложненный старичными понижениями, старицами, прирусловыми валами, навалами и выемками грунта высотой (глубиной) до 3 м.

Гидрографическая сеть в районе месторождения развита сравнительно широко и представлена в основном рекой Чепца и ее многочисленными притоками, наиболее крупным из которых является река Убыть. Ширина р. Чепца составляет 80–120 м. Русло является неглубоким, очень извилистым, с частыми отмелями и перекатами. Речная долина достигает в ширину 8–10 км. Пойма заболочена и покрыта лесом. Питание реки является преимущественно снеговым или подземным.

Климат рассматриваемого района — умеренно континентальный, с коротким и сравнительно жарким летом продолжительностью 2,5 месяца и длинной холодной зимой, длящейся 5,5 месяца. Наиболее холодный месяц — январь (со среднемесячной температурой –14,5° и минимальной –46°). Самый жаркий месяц — июль (со среднемесячной температурой 18° и максимальной 37°). Среднегодовое количество осадков составляет 450–550 мм. Снег выпадает в начале ноября. Наибольшей толщины (0,8–1,0 м) снеговой покров достигает в феврале — марте. Глубина промерзания почвы достигает 0,3–0,8 м под снегом и 2,0 м на открытых местах

[6, 7]. Бóльшую часть года преобладают ветры юго-западного направления со средней повторяемостью 20–30%. Летом преобладают ветры северо-западного и западного направлений.

Геологические строение и гидрогеологические условия

Рассматриваемый район, как и вся территория Удмуртии, относится к восточной части Русской платформы, северо-восточной части Татарского свода. На территории изучаемого месторождения развиты осадочные образования четвертичного и пермского возраста [7].

Месторождение «Убыть» на глубину, изученную с помощью скважин (рис. 1), сложено насыпными суглинками, аллювиальными супесями, суглинками, гравийно-песчаным материалом верхнего звена четвертичной системы, озерно-болотными образованиями, верхнепермскими глинами. Полезная толща представлена песчано-гравийными отложениями.

Разрез участка, как правило, двухслойный: сверху он представлен супесями и суглинками, а ниже — песчано-гравийным и галечным материалом, приуроченным к первой надпойменной террасе рек Чепца и Убыть и залегающим на коренных глинах.

Песчано-гравийный материал был вскрыт 12 скважинами. Его залежь, как уже отмечалось, имеет пластообразную форму, выклиниваясь в западной и в центральной частях (в районе скважин 3, 4, 12, 14, 17). Абсолютные отметки ее кровли изменяются по скважинам от 134,7 до 129,3 м, а отметки подошвы — от 130,8 до 125,6 м. Общая площадь распространения толщи равна 15 812,82 м^2.

Песчано-гравийная смесь имеет красновато-серо-бурый цвет, соответствующий цвету глинисто-песчаного заполнителя. Гравий и галька состоят из окатанных обломков уральских пород размером преимущественно 5–10 мм. Мощность толщи колеблется от 1,0 до 4,3 м, составляя в среднем по месторождению 2,7 м. Содержание гравия в смеси изменяется от 12,5 до 29,6% (средневзвешенное его содержание по месторождению составляет 19,4%). Как правило, оно увеличивается от кровли залежи к ее центральной части. Заполнителем является мелкий песок, значительно загрязненный глинистыми и пылеватыми примесями (до 10,5%) [2].

Вскрышные образования представлены современными аллювиальными суглинками и торфом, а также техногенными грунтами. Почвенно-растительный слой отсутствует. Суглинки от бурого и коричневого до темно-серого цвета, иногда с включениями гравия, имеют мощность 3,8–8,8 м. Суммарная мощность вскрышных отложений варьируется от 3,8 до 11,8 м, составляя в среднем по скважинам в пределах полезной толщи 4,14 м, а по скважинам в пределах контура месторождения — 6,41 м.

Подстилается четвертичный песчано-гравийный материал коренными породами — глинами северодвинского яруса верхнего (татарского) отдела пермской системы (красными, плотными, полутвердыми, местами тугопластичными). Их кровля имеет неровную поверхность с небольшими выступами и карманами размыва.

Месторождение расположено в северо-восточной части Волго-Камского гидрогеологического (артезианского) бассейна и относится к Вятско-Камскому гидрогеологическому району [7]. Для исследуемой территории характерно развитие аллювиального безнапорного водоносного горизонта. Водовмещающими породами являются суглинки с прослоями водонасыщенных песков и супесей, а также мелкие пески с содержанием гравия (полезная толща) и гравелистые пески. Водоупором на глубинах 7,5–12,1 м служат глины верхнего (татарского) отдела пермской системы.

Подземные воды на исследуемой территории были встречены в период изысканий при прохождении всех скважин. По химическому составу подземные воды являются гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридно-кальциево-натриево-магниевыми. Глубина их залегания от 0,8 до 2,3 м (рис. 2), особенности формирования химического состава и агрессивных свойств зависят от геологического строения, рельефа, климата и подчиняются ландшафтно-климатической зональности. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков, а в период паводка — за счет вод реки Убыть. Учитывая условия залегания и тесную гидрогеологическую связь водоносного горизонта с поверхностными водами реки, ожидается изменение его уровня в зависимости от выпадения осадков и уровня реки Чепца.

Методика подсчета запасов песчано-гравийной смеси

На площади участка недр «Убыть» был осуществлен подсчет запасов песчано-гравийной смеси согласно положению [1]. В его основу были положены технические требования к качеству сырья и горнотехническим условиям эксплуатации, заложенные в геологическом задании.

Буровые работы проводились в период межени грунтовых вод. Залежи песчано-гравийной смеси являлись полностью водонасыщенными. Уровень грунтовых вод был зафиксирован в породах вскрыши (суглинках).

По сложности геологического строения участок «Убыть» относится ко 2-й группе, так как характеризуется невыдержанным строением и изменчивой мощностью полезной толщи или непостоянным качеством ПГС и осложненными горно-геологическими условиями разработки, связанными с обводненностью залежи (рис. 2). Песчано-гравийный материал был отнесен к категории C_1. По объему запасов ПГС участок «Убыть» относится к мелким месторождениям [3, 4].

Расчеты производились с помощью программы ESRI ArcGIS 9.3. Методика определения запасов строительного материала заключается в создании цифровых моделей двух поверхностей — кровли и подошвы слоя песков в заданном контуре. Для этого данные съемки и бурения вводятся в компью-

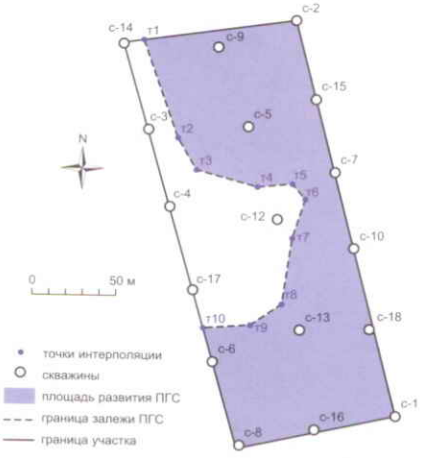

Рис. 1. Сеть скважин и площадь распространения полезной залежи

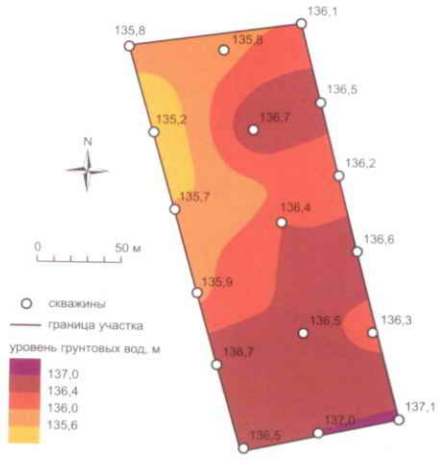

Рис. 2. Уровень грунтовых вод в пределах участка недр «Убыть»

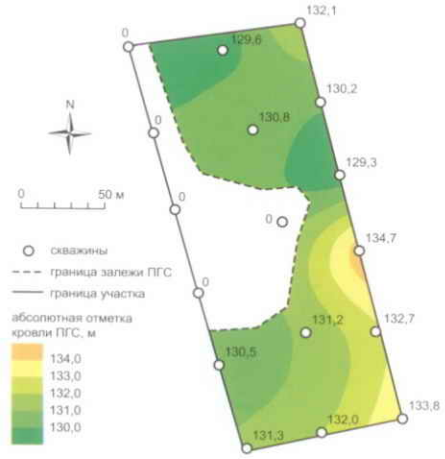

Рис. 3. Карта абсолютных отметок кровли залежи ПГС

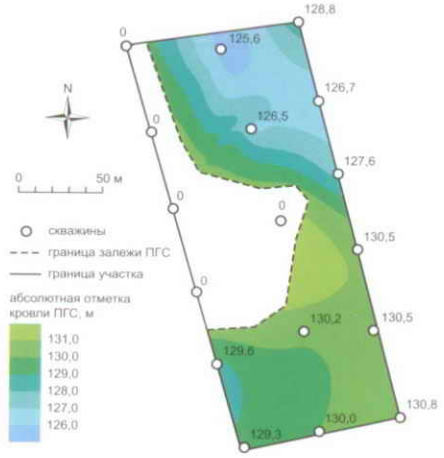

Рис. 4. Карта абсолютных отметок подошвы залежи ПГС

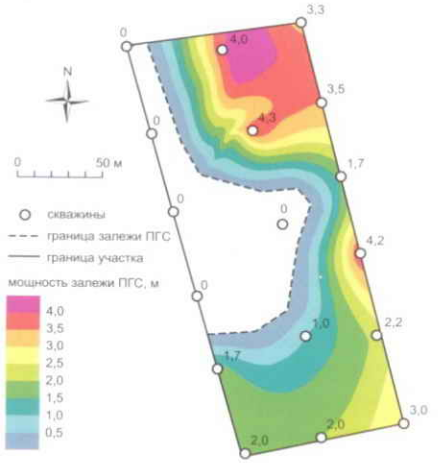

Рис. 5. Карта мощности залежи ПГС

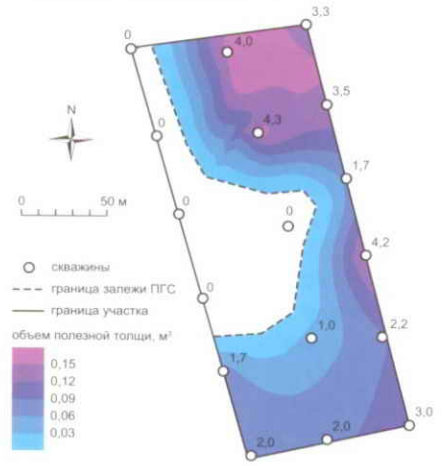

Рис. 6. Карта объема полезной толщи, рассчитанного по ячейкам-блокам (около скважин подписаны значения мощности залежи ПГС)

тер, а затем подвергаются обработке. В результате устанавливается взаимное расположение абсолютного множества точек и методом естественного соседства (близким, по сути, к триангуляции) производится расчет мощности полезной толщи как разности между абсолютными отметками кровли и подошвы залежи ПГС.

При подсчете запасов учитывались данные всех пройденных скважин и построенных геологических разрезов. Не учитывались коренные пермские глины и вскрышные породы мощностью от 3,8 (с-10) до 8,8 м (с-7) при среднем значении 6,75 м, представленные торфами, суглинками и насыпными грунтами.

Подсчет запасов ПГС осуществлялся как для всей полезной толщи, так и отдельно по блокам. Блоки подсчета запасов оконтуривались по геологической документации скважин и по разрезам с использованием планов дневной поверхности и гидроизогипс. При их формировании учитывались требования технического задания: (1) минимальная мощность полезной толщи — не менее 1,0 м по скважинам и не менее 1,5 м по блоку; (2) максимальная мощность вскрышных пород — 7,5 м; (3) отношение объема вскрыши к объему полезной толщи — не более 3:1. Учитывалась также обводненность полезного слоя.

По результатам анализа всех отобранных из слоя ПГС проб минимальное содержание гравия в полезной толще соответствовало требованиям технического задания и превышало 10%.

Подсчет запасов ПГС по всей площади залежи

С помощью интерполяции абсолютных отметок, полученных по скважинам, для залежи ПГС были определены растровые поверхности ее подошвы и кровли (рис. 3, 4). Путем вычитания первой поверхности из второй был получен растр мощности полезной толщи (рис. 5), который был откорректирован вручную с учетом поперечных инженерно-геологических разрезов (чтобы отразить выклинивание залежи ПГС и постепенное уменьшение ее мощности вблизи западной границы).

При построении всех растровых поверхностей использовался одинаковый размер их элементарных ячеек-блоков — 0,2×0,2 м (0,04 м^2). Значения всех числовых характеристик для этих поверхностей вычислялись для каждой отдельной ячейки. Умножением всех ячеек растра мощности полезной толщи на их площадь была получена растровая поверхность объема ПГС (рис. 6), которая и использовалась во всех дальнейших расчетах по определению запасов строительного материала. Для подсчетов использовался, как было указано выше, программный продукт ESRI ArcGIS 9.3.

Определение объема полезной толщи производилось двумя способами.

1. Были просуммированы значения мощности залежи ПГС для всех элементарных ячеек-блоков растра мощности (см. рис. 5). Полученная сумма

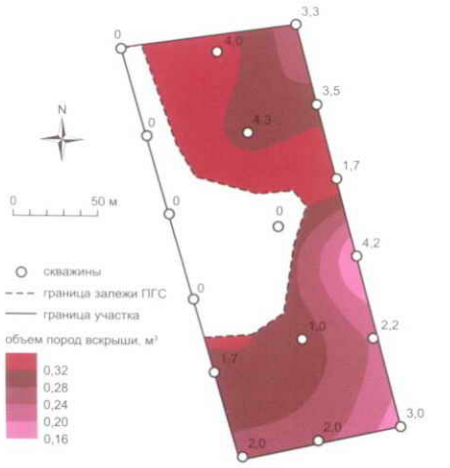

Рис. 7. Карта объема пород вскрыши, рассчитанного по ячейкам-блокам (около мест расположения скважин указаны значения мощности вскрышных пород)

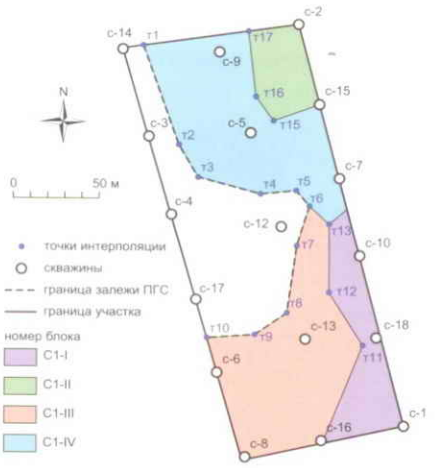

Рис. 8. Карта пространственного распределения блоков подсчета запасов ПГС

Таблица

Результаты подсчета запасов ПГС по блокам

Параметр	Блок				
	C_1-I	C_1-II	C_1-III	C_1-IV	Итого
Площадь, м^2	2908,04	1698,08	6699,92	6896,28	18 202,32*
Мощность ПГС (мин.–макс./сред.), м	1,19–4,12/2,34	3,30–4,23/3,81	0,00–2,02/1,24	0,00–4,28/1,98	1,08–3,66/2,34**
Мощность пород вскрыши (мин.–макс./сред.), м	3,83–6,85/5,58	6,29–7,78/7,17	5,64–8,09/7,13	6,75–8,95/8,25	5,63–7,92/7,03**
Объем полезной толщи, м^3	6791,80	6462,85	8309,37	13 669,60	35 233,70*
Объем пород вскрыши, м^3	16 236,10	12 173,00	47 801,80	56 882,30	133 093,20*
Соотношение объема ПГС и объема вскрыши	2,39	1,88	5,75	4,16	3,78**
Тип запасов в блоке	Балансовые		Забалансовые		Балансовые 13 254,65* м^3
					Забалансовые 21 979,05* м^3

* Суммарное значение. ** Осредненное значение по всем блокам

(880 849 м) была разделена на количество ячеек (455 058 шт.), в результате чего получилась средняя мощность залежи (1,94 м). Запасы ПГС были определены путем умножения площади ее распространения (18 202,3 м^2) на ее среднюю мощность (1,94 м). Они составили 35 312,5 м^3. (Представленный метод расчета справедлив при выдержанной в пространстве мощности исследуемой залежи или при ее небольших изменениях.)

2. Были просуммированы элементарные объемы, определенные по ячейкам растра объема ПГС в пределах площади распространения залежи, в результате чего запасы ПГС составили 35 234,0 м^3. (Этот способ является более точным, так как учитывает малейшие изменения мощности анализируемой толщи в зависимости от пространственных координат.)

Подсчет запасов ПГС по блокам

Подсчет запасов ПГС был выполнен также дифференцированно по блокам в зависимости от ранее перечисленных условий разработки полезной толщи. Блоки выделялись с учетом требований технического задания, также приведенных выше.

В пределах площади распространения залежи было выделено четыре блока: C_1-I, C_1-II, C_1-III и C_1-IV. Из них запасы ПГС блоков C_1-I и C_1-II удовлетворяли горнотехническим условиям оценки полезной толщи, а запасы C_1-III и C_1-IV были отнесены к забалансовым ввиду их несоответствия требованиям заказчика. Полезная толща строительного материала в блоках C_1-III и C_1-IV представляла собой слой обводненной песчано-гравийной смеси, аналогичной по качеству материалу балансовых блоков, но не соответствующей требованиям технического задания ввиду ее незначительной мощности, а также большой мощности вскрышных отложений.

Выделение блоков было осуществлено с использованием растровых моделей мощности и объема полезной толщи, а также аналогичных моделей для пород вскрыши (рис. 5, 6, 7). Пространственное разделение залежи на блоки и места расположения скважин показаны на рис. 8. Мощность вскрышных пород оценивалась по скважинам, пройденным на участке изысканий, с учетом рельефа поверхности.

Значения параметров, необходимых для подсчета запасов ПГС по каждому из выделенных блоков, а также их усредненные и суммарные значения для всего участка приведены в таблице.

Суммарные запасы балансовой ПГС участка недр «Убыть» по категории C_1 составляют 13 254,65 м^3, забалансовой по категории C_1 — 21 979,05 м^3. Учитывая выдержанное пластообразное залегание полезной толщи, можно прогнозировать прирост запасов ПГС вдоль восточного фланга участка.

Кроме того, как уже отмечалось выше, во вскрыше на площади 5383,88 м^2 обнаружен торф. Его объем при средней мощности 4,05 м оценивается приблизительно в 21 804,71 м^3.

Заключение

Результаты проведенной оценки запасов песчано-гравийной смеси (тремя способами) позволяют сделать вывод о перспективности применения ГИС-технологий при анализе геолого-гидрогеологического строения участка и пространственных взаимоотношений отдельных слоев и прослоев и при комплексном моделировании месторождения строительных материалов в целом. Подобного рода моделирование позволяет оперативно и точно оценивать значения различных параметров и показателей толщ, в том числе необходимых для подсчета запасов полезных компонентов.

Следует отметить, что отдельным преимуществом ГИС-систем является возможность перехода к трехмерной сцене и осуществления анализа в объемном пространстве, но это выходит за рамки настоящей статьи.

Список литературы

1. Временное положение о порядке проведения геологоразведочных работ по этапам и стадиям (твердые полезные ископаемые). М.: ВИЭМС, 1999.
2. ГОСТ 23735-79. Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия. М.: Госстрой СССР, 1979.
3. Инструкция по применению классификации запасов к месторождениям песка и гравия. М.: ГКЗ, 1989.
4. Классификация запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. М.: ГКЗ Министерства природных ресурсов РФ, 1997.
5. *Кузнецов П.В.* Анализ несоответствия подсчета запасов при геологической разведке месторождения и его проектной разработке // Автоматизированные технологии изысканий и проектирования. 2009. № 4. С. 62–66.
6. СНиП 23-01-99. Строительная климатология. М.: Госстрой РФ, 1999.
7. Удмуртская Республика. Энциклопедия. Ижевск: Удмуртия, 2000.