

Ю.Б. Баранов (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В 1978 г. окончил геологоразведочный факультет Московского государственного геологоразведочного института им. С. Орджоникидзе по специальности «геология и разведка месторождений полезных ископаемых». В настоящее время — начальник Отдела геоинформационных и космических технологий ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Доктор геолого-минералогических наук.

К.Е. Киселевская (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В 2007 г. окончила физико-технический факультет Московского государственного горного университета по специальности «инженерная защита окружающей среды». В настоящее время — научный сотрудник лаборатории геопрогнозных исследований ООО «Газпром ВНИИГАЗ».

Л.Ю. Кожина (ООО «Газпром ВНИИГАЗ»)

В 1999 г. окончила геологоразведочный факультет Московской государственной геологоразведочной академии им. С. Орджоникидзе по специальности «геологическая съемка, поиски и разведка». В настоящее время — старший научный сотрудник лаборатории природных опасностей ООО «Газпром ВНИИГАЗ». Кандидат геолого-минералогических наук.

Опыт использования радиолокационных космических съемок при гидрологических исследованиях

ВВЕДЕНИЕ

В 40 км от побережья Карского моря, в западной части полуострова Ямал, расположено крупнейшее Бованенковское нефтегазоконденсатное месторождение. В этом году оно вводится в промышленную эксплуатацию. Для обеспечения промышленной безопасности эксплуатации месторождения на нем организуется геодинамический полигон, для которого необходим учет гидрогеологических характеристик территории месторождения. Несмотря на многолетнее изучение его территории и начало ввода в эксплуатацию, в гидрологическом отношении площадь самого месторождения и в целом п-ова Ямал изучена слабо. Постоянные гидрологические наблюдения на Ямале ведутся Государственным гидрологическим институтом (ГУ ГГИ) только с 2004 г. на р. Сеяхе. Это вызвано несколькими причинами.

Бованенковское месторождение расположено в зоне субарктического пояса, с суровой зимой продолжительностью около 9 месяцев и прохладным летом продолжительностью около двух месяцев. Территория сильно заболочена и, как следствие, очень труднопроходима.

ТРАДИЦИОННЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

С 1970 г. разными организациями проводились экспедиционные исследования по гидрологическим наблюдениям и гидрографическим обследованиям, но они не имели системного характера и в основном были направлены на решение инженерно-геологических задач для целей проектирования различных объектов инфраструктуры. В результате этих исследований, проводимых в том числе и сотрудниками

ООО «Газпром ВНИИГАЗ», выявлены особенности гидрологического режима территории месторождения.

Реки, протекающие по территории Бованенковского месторождения, относятся к западно-сибирскому типу. Талые воды обеспечивают 75–80% от общего объема стока, дождевой сток занимает второе место, а грунтовой очень незначительный, что вызвано повсеместным распространением многолетнемерзлых отложений. Водный режим сточных и бессточных озер в основном определяется притоком талых вод с водозаборов, являющихся склонами озерных котловин. Исключением являются проточные озера, в которые талые воды поступают из бассейнов впадающих в них рек. Распределение стока в течении года крайне неравномерное. Максимум – весенне-летнее половодье: июнь – 49,5%, июль – 26,5, август – 10,6. Характер половодья зависит от площади водосборного бассейна, снегозапасов на нем, скорости снеготаяния, наличия дождей в период снеготаяния и пр.

Гидрограф половодья в обычные годы одновершинный. Несколько пиков наблюдаются при значительных колебаниях температур или при выпадениях дождей. На крупных реках половодье начинается в первой половине июня, пик обычно 22–24 июня, окончание половодья в конце июля, начале августа. Подъем уровней наблюдается в течение двух недель с интенсивностью 10–50 см/сутки. Ледоход происходит на пике половодья. Спад уровней сначала происходит с большей скоростью, чем подъем, а затем значительно замедляется.

На малых реках половодье начинается в начале июня. Пик наблюдается в середине или в конце второй декады июня. Заканчивается половодье в конце июня. Летняя межень длится с перерывами с середины июля, начала августа до второй декады октября, когда появляются первые ледяные образования. Зимняя межень начинается с первых ледяных образований, сток в это время резко сокращается, после промерзания деятельного слоя, когда исключается подземное питание рек, прекращается вовсе.

Характер рельефа местности и гидрологической сети обеспечивает колебания уровня воды в реках не только в результате паводка и атмосферных осадков, но и из-за ветровых нагонов и сгонов. Это явление особенно ярко выражено на некрупных реках, имеющих подпор от больших. Ветровые

сгонно-нагонные течения обеспечиваются сильными продолжительными ветрами, дующими над акваторией Карского моря в широтном направлении. Высота подъема уровня вод при высоких нагонах может составлять более 1 м, при этом происходит более сильный размыв берегов, чем в период половодья. Кроме ветровых сгонно-нагонных явлений, на территории исследования существуют ежедневные приливы и отливы, амплитуда колебаний уровня воды при которых составляет 10–20 см. Под действие приливов попадают и небольшие притоки крупных рек.

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ КОСМИЧЕСКАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Оценить обводненность территории можно не только по итогам традиционных (полевых) гидрологических наблюдений, измерений и дальнейшего моделирования, но и дистанционно, в результате дешифрирования космических изображений. Обычно для этой цели используются данные оптических сенсоров, таких, как Landsat, Aster и др. Однако их применение в высоких широтах связано со многими трудностями. Одна из них заключается в том, что в течение весенне-осеннего периода очень часто присутствует сильная облачность, которая не позволяет получать качественные данные, хотя дешифрирование оптических изображений практически однозначно позволяет разделить воду от увлажненных или переувлажненных участков. Оценку водности и ее временной изменчивости невозможно было осуществить на такой огромной территории, расположенной к тому же в столь сложных климатических условиях, ни наземными методами, ни с использованием оптических сенсоров. Единственной возможностью провести такую оценку стало использование радиолокационных спутниковых изображений земной поверхности, для которых облачность не имеет критического значения. Радиолокационные данные состоят из фазового и амплитудного слоев. Фазовый слой применяется для построения моделей местности и моделей смещений земной поверхности. Амплитудный может быть использован для решения разных задач, в том числе и для оценки обводненности территории.

Амплитудный слой радиолокационного изображения формируется за счет отражения радиосигнала: чем больше отражение, тем светлее получаемое изображение, и наоборот. Как известно, сила отражения зависит от нескольких факторов, главными из которых являются шероховатость облучаемой поверхности: чем она выше, тем сильнее отражение, и состав поверхности, так как разные природные комплексы отличаются различной поглощающей способностью радиоизлучения. Именно поэтому на радиолокационных изображениях обводненные площади характеризуются черным цветом, так как именно вода очень хорошо поглощает электромагнитную энергию радиолокационного сигнала и достаточно часто водное зеркало имеет ровную гладкую поверхность, т. е. отличается минимальной шероховатостью. Если во время съемки на водной глади есть волнение, то на радиолокационном изображении вода отображается не черным цветом и часто видны волны. Исходя из физических особенностей радиолокационных данных, при определенной доле приближения можно сказать, что чем более темное изображение, тем более гладкая и

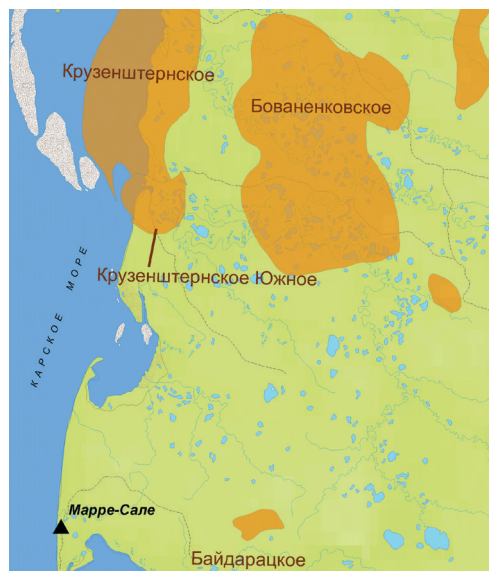


Рис. 1. Расположение метеорологической станции Марре-Сале. Оранжевым цветом показаны месторождения углеводородов

Таблица 1

Метеорологическая информация по станции Марре-Сале

Местное время в Марре-Сале	Температура воздуха (2 м над землей), °С	Количество выпавших осадков, мм	Время, за которое выпали осадки, ч.	Состояние поверхности почвы со снегом	Высота снежного покрова, см
11.06.2008 9:00	-1,3	—	—	Слежавшийся или мокрый снег (со льдом или без него), покрывающий менее половины поверхности почвы	15
28.06.2008 9:00	6,5				0
29.06.2008 9:00	11,7				—
30.06.2008 9:00	13,1				
26.09.2008 9:00	0,4			Ровный слой сухого рассыпчатого снега покрывает поверхность почвы полностью	1
27.09.2008 9:00	2				
28.09.2008 9:00	-2,3				
29.09.2008 9:00	-0,9				

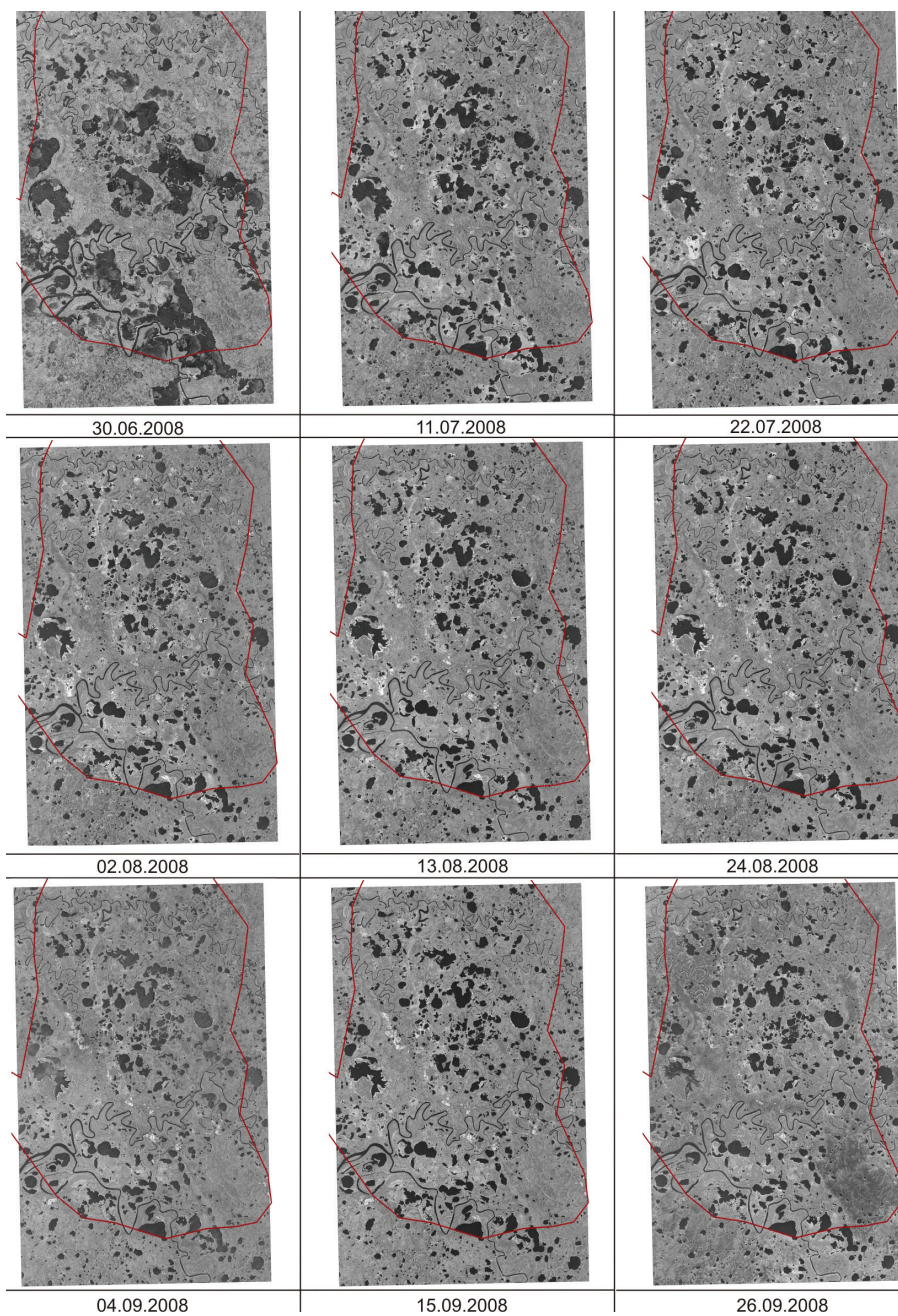


Рис. 2. Космические изображения TerraSAR-X, отобранные для определения водности территории

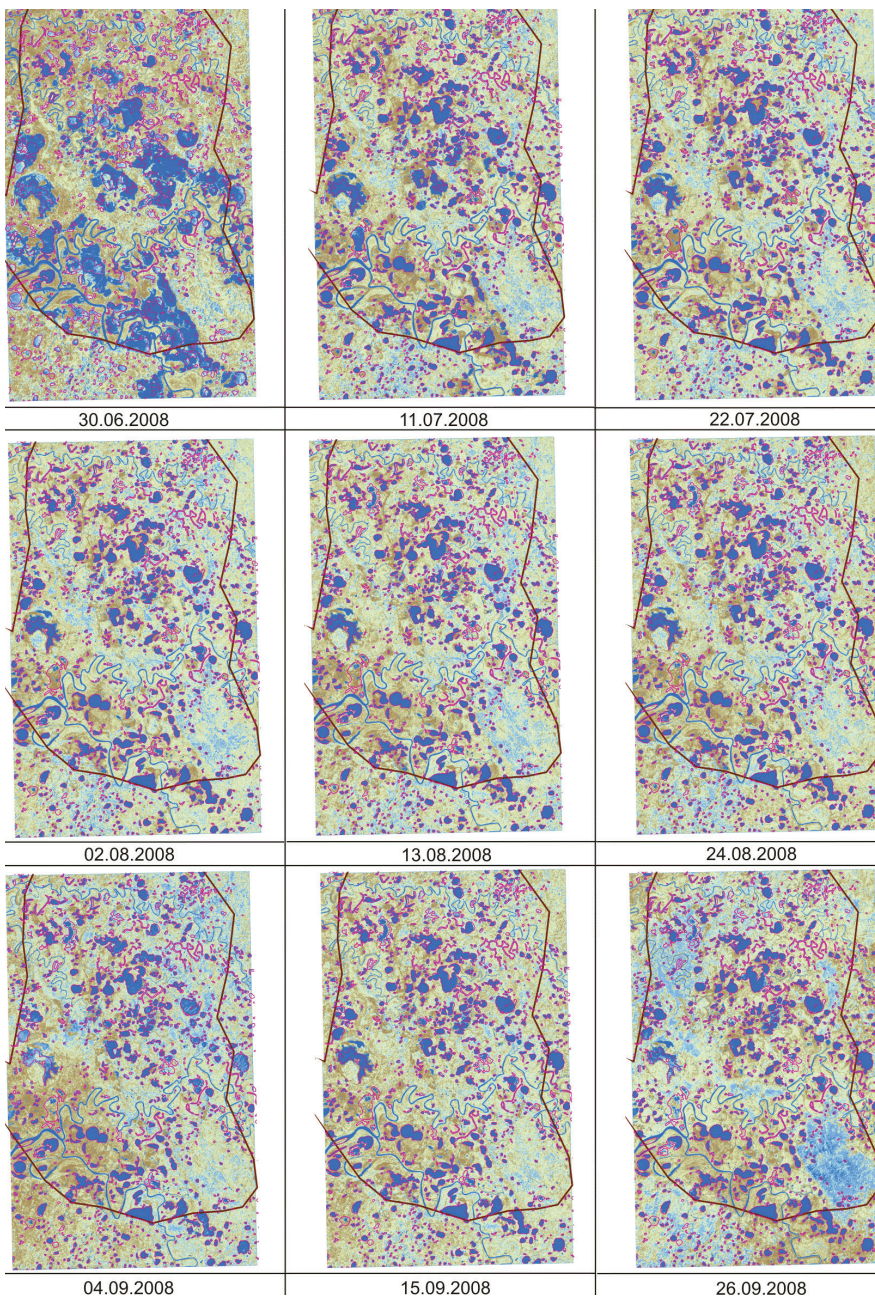


Рис. 3. Динамика обводненности территории Бованенковского месторождения по результатам классификации амплитудного слоя радиолокационных снимков TerraSAR-X

влажная поверхность, а чем светлее, тем поверхность более изрезанная и сухая.

На территорию Бованенковского месторождения у авторов имелся ряд радиолокационных изображений со спутника TerraSAR-X за 2008 г. с периодичностью съемки около 2 недель. Была отобрана серия летних снимков, при этом начальный и конечный снимки выбирались с учетом фактической погоды на дату съемки. Использовалась информация по погоде на станции Марре-Сале, ближайшей к месторождению (рис. 1). Метеорологическая информация была получена с сайта www.rp5.ru, куда данные о фактической погоде поступают с наземных метеорологических станций через систему свободного международного обмена метеоданными.

По космическим радиолокационным данным была проанализирована информация о наличии снежного покрова (для более корректного решения задачи необходимо отсутствие снега на поверхности земли). Первым из серии взят радиолокационный снимок на дату, когда снег полностью сошел (табл. 1). Конечное изображение серии выбиралось также с учетом снежного покрова. 29.09.2008 г. впервые выпал снег, образовав сухой снежный покров в 1 см толщины. Исходя из погодных условий были отобраны радиолокационные изображения (рис. 2), даты съемки которых следующие: 30.06.2008; 11.07.2008; 22.07.2008; 02.08.2008; 13.08.2008; 24.08.2008; 04.09.2008; 15.09.2008; 26.09.2008.

Исходя из описанных выше закономерностей формирования радиолокационного изображения было предположено, что наиболее темные участки соответствуют открытой воде, а наиболее светлые — сухой поверхности. Космические изображения были классифицированы, результаты классификации приведены на рис. 3. Анализ полученных результатов показывает, что максимальная влажность территории приходится на конец июня, затем наблюдается спад и достаточно равномерная обводненность. Сравнение результатов классификации по радиолокационным данным с картой глубин затопления Бованенковского НГКМ, рассчитанной ГУ ГГИ, показывает их высокую сходимость. Карта глубин затопления показывает площади и глубины затопления территории при максимальных уровнях воды разной вероятности превыше-

ния, смоделированные в условиях принятой гидрологической модели.

Однако модель никак не отображает степень влажности поверхности и очень сильно зависит от модели местности, используемой при расчете.

Результат классификации радиолокационных данных показывает степень увлажненности поверхности в момент съемки. Максимумы соответствуют открытой водной поверхности, а высокие значения — переувлажненным и влажным грунтам. Следует отметить, что водонасыщенность грунта оказывает существенное влияние на скорости протекания опасных геокриогенных процессов и проходимость территории.

Совмещение данных по увлажненности поверхности, основанных на результатах классификации радиолокационных изображений, с высокодетальными моделями рельефа позволяет оценить глубины затопления, а кроме того, повышает качество интерпретации и прогнозирования, основанное на актуальных площадных фактических данных, что имеет особенно большое значение при работах на труднодоступных территориях со сложными климатическими условиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненная работа позволила на фактическом материале оценить изменчивость увлажненности поверхности, проследить ее динамику в летний период. Сопоставление полученных результатов с картами инфраструктуры дает возможность для анализа опасности подтопления и разрушения паводковыми водами существующих и проектируемых объектов инфраструктуры промысла, а также для оценки эффективности:

- существующих водопропусков;
- ликвидаций подтопления и всплытия трубопроводов;
- проводимых противопаводковых мероприятий и пр.

Отдельно следует отметить тот факт, что подобный анализ радиолокационных космических данных позволяет подобрать снимки, пригодные для дальнейшей интерферометрической обработки, в целях построения цифровых моделей.