

Г. С. Санников

G. S. Sannikov

ООО ГП «Промнефтегазэкология», г. Тюмень

Ключевые слова: термокарстовые озера; термокарст; картометрия;

Бованенковское месторождение; экзогенные процессы

*Key words: thermokarst lakes; thermokarst; cartometry; the Bovanenkovo gas field
exogenous processes*

Активное освоение газовых месторождений на полуострове Ямал ставит задачу оценки динамики и прогноза современных экзогенных геологических процессов, способных повлиять на безотказное функционирование объектов газодобывающей промышленности. Для решения этой задачи применяются различные методы полевых, модельных, дистанционных исследований. Характерной чертой геологического строения полуострова Ямал является повсеместное распространение многолетнемерзлых пород в верхней части разреза, что определяет специфический набор экзогенных процессов. Наиболее заметным, формирующим облик рельефа и доминирующим типом расчленения поверхности является процесс термокарста [1, 2]. Термокарстовые озера, их форма, размер, динамика их береговых линий могут быть индикатором современных экзогенных процессов, а значит и изменений, происходящих в геологической среде [3, 4]. Под «малыми» озерами в настоящем исследовании понимаются озера, чья площадь не превышает 5 000 м².

Цель данного исследования — анализ динамики малых термокарстовых озер в пределах Бованенковского месторождения на полуострове Ямал, выявление факторов, влияющих на их появление и исчезновение.

Анализ динамики малых термокарстовых озер района исследования проводился по коэффициенту густоты озерных котловин. Вычисление данного параметра проводилось по регулярной сетке квадратов с шагом 2 км (площадь квадрата, таким образом, составила 4 км²). Расчет густоты озерных котловин (горизонтальной расчлененности, относительной плотности контуров) [5] производился по формуле $K_{\text{густ}} = N/S$, где N — количество озерных котловин, приходящихся на квадрат. Размерность этого коэффициента — 1/км².

Для оценки динамики этого коэффициента во времени его вычисление проведено по результатам дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) разных лет: топокарт масштаба 1:100 000 (1979 г.), аэрофотоснимков (2003 г.) и космоснимков сверхвысокого разрешения (2009 г.). Был построен комплект картограмм, квадраты на которых были покрашены в соответствии с изменением $K_{\text{густ}}$ в периоды 1979–2003 гг. и 2003–2009 гг. Полученные картограммы были наложены на генерализованную до двух выделов (водоразделы и склоны; пойма и озерные террасы) геоморфологическую карту.

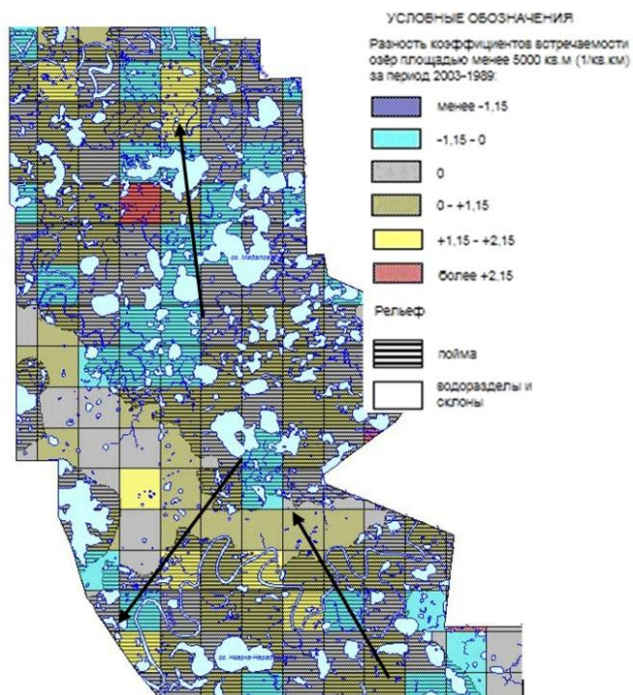


Рис. 1. Фрагмент
картограммы разности
 $K_{\text{уст}}$ малых озер
за период 1979–2003 гг.

Изучение этих картограмм (рис. 1, 2) показало, что наиболее динамичными в плане появления новых малых озер и исчезновения старых являются участки поймы (стрелками показаны участки, претерпевшие наиболее значительные изменения в сравнении двух временных отрезков).

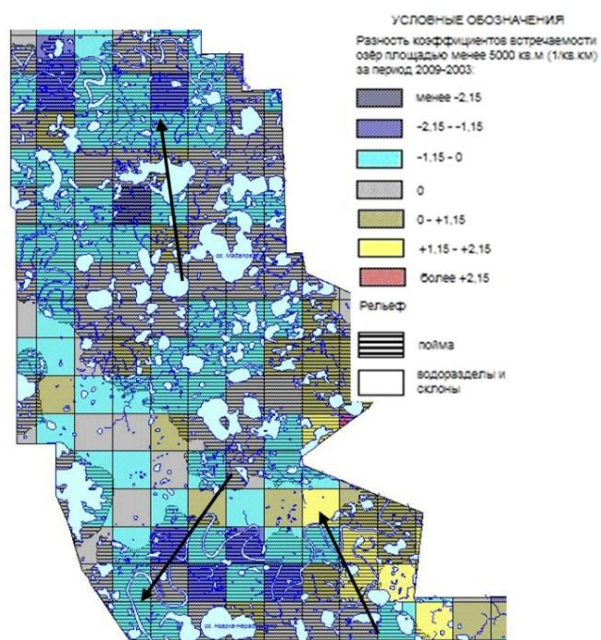


Рис. 2. Фрагмент
картограммы разности $K_{\text{уст}}$
малых озер
за период 2003–2009 гг.

Самое большое количество «динамичных» квадратов ($|\Delta K_{\text{уст}}| > 1,15$) в период 1979–2003 гг. зафиксировано на низкой пойме рр. Сеяха и Надуйяха. Значения $|\Delta K_{\text{уст}}|$

там составили 1,15–2,15 л/км². Интересно, что наибольшие значения $|\Delta K_{\text{густ}}|$ (более 2,15 л/км²) зафиксированы в квадратах, примыкающих к крупным озерам.

В период 2003–2009 гг. принципиальных изменений не произошло. По-прежнему, самыми динамичными участками остались низкие поймы долин рр. Сеяха и Надуйяха, а также участки, примыкающие к крупным пойменным озерам.

Если говорить о знаке изменений $K_{\text{густ}}$, то следует отметить следующее: в период 1979–2003 гг. количество малых озер, в основном, увеличивалось, в то время, как в 2003–2009 гг., наоборот — убывало. Большинство «динамичных» квадратов 2003–2009 гг. характеризуются значениями $\Delta K_{\text{густ}}$ от -1,15 до -2,15 л/км².

Для выявления факторов, влияющих на динамику термокарстовых озерных котловин, нами было выполнено сопоставление следующих параметров природной среды в пределах «динамичных» квадратов:

- льдистости верхней части разреза горных пород;
- температуры ММП;
- литологического состава верхней части разреза;
- геоморфологического уровня;
- средней теплопроводности верхней части разреза горных пород.

Сопоставление проводилось по квадратам, для которых $|\Delta K_{\text{густ}}| > 1,15$, как в период 1979–2003 гг., так и в период 2003–2009 гг. Кроме того, было взято несколько фоновых квадратов, в которых $K_{\text{густ}}$ оставался неизменным за весь период наблюдений.

Изучение сочетания различных факторов природной среды в пределах динамичных и стабильных участков позволяет выявить факторы, влияющие на динамику малых термокарстовых озер. Ниже приведен анализ взаимосвязей факторов и динамики малых озер.

Льдистость многолетнемерзлых горных пород закономерно немного выше на стабильных участках. В их пределах значения макрولىдистости составляют 30–50 %, 50–70 %, порой достигая значений свыше 70 %. В пределах динамичных квадратов преобладающие значения льдистости не превышают 50 %, в основном варьируя в пределах 10–30 % и 30–50 %. На наш взгляд, связи между значениями льдистости и динамикой малых термокарстовых озер нет. Об этом свидетельствуют, в частности, низкие вычисленные значения коэффициента корреляции между льдистостью и $|\Delta K_{\text{густ}}|$, составившие для периодов 1979–2003 гг. и 2003–2009 гг. -0,003 и -0,007 соответственно.

Температура ММП в пределах динамичных квадратов находится в диапазоне минус 3 — минус 7 °С. Лишь на некоторых участках данный диапазон сужается до минус 2,5 — минус 4 °С. Стабильные участки характеризуются такими же температурами.

В литологическом составе грунтов динамичных квадратов преобладают пылеватые пески и супеси, фациально замещающие друг друга. Для стабильных квадратов доминирующими разностями также остаются пески и супеси, однако на водораздельных участках выходят глины и суглинки, что практически не характерно для динамичных квадратов. Для всех участков характерна заторфованность, составляющая 20–40 % от площади. Мощность торфа не превышает 0,5 м.

С литологическим составом грунтов неразрывно связана теплопроводность верхней части разреза ($\Delta \lambda_f$). Расчет средней теплопроводности проводился по значениям теплопроводности для разных типов грунтов по СНиП 2.02.04-88 с использованием весовых коэффициентов, применяемых в зависимости от соотношения разных типов грунтов в разрезе. Результаты расчета приведены в таблице.

Значения средней $\Delta \lambda_f$ на мощностях 10 и 5 м для различных типов квадратов

Тип квадратов	Средняя $\Delta \lambda_f$ Вт/(м × °С) для 10-метровой толщи	Средняя $\Delta \lambda_f$ Вт/(м × °С) для 5-метровой толщи
Стабильные	0,0140	0,0518
Динамичные в период 1979–2003 гг.	0,0270	0,0203
Динамичные в период 2003–2009 гг.	0,0244	0,0170

Обращает на себя внимание, прежде всего, разница между $\Delta\lambda_z$ 10-метровой и 5-метровой толщ. Особенно эта разница заметна у стабильных квадратов, для которых характерно пятикратное преобладание средней теплопроводности 5-метровой толщ над средней теплопроводностью 10-метровой. Кроме того, выявлено, что для стабильных квадратов характерна максимальная средняя теплопроводность 5-метровой толщ и минимальная — 10-метровой. Такие соотношения могут свидетельствовать о том, что высокая теплопроводность верхней части разреза ведет к тому, что термокарстовая западина, образовавшись, приобретает глубину, значительную настолько, что не спускается и не заплывает достаточно долгое время. С другой стороны, ввиду относительно низкой льдистости теплопроводных грунтов, термокарстовый потенциал стабильных квадратов ниже, чем потенциал динамичных. Сочетание этих двух факторов ведет к тому, что термокарстовые формы образуются на теплопроводных грунтах редко, а, образовавшись, сохраняются на долгое время. Именно поэтому квадраты, для которых характерны относительно теплопроводные грунты, относятся к категории стабильных. Средняя теплопроводность 10-метровой толщ, по-видимому, не оказывает влияния на динамику малых термокарстовых озер. Учитывая их глубину, редко превышающую 2–2,5 м [6], это вполне естественно. Глубина оттаивания ММП, даже с учетом растепляющего действия воды в чаше озера, не превышает 5 м.

Геоморфологический уровень, в пределах которого располагается квадрат, оказывает существенное влияние на процессы, протекающие на территории этого квадрата. Основная функция рельефа, как фактора преобразования геологической среды, заключается в распределении тепла и влаги, что имеет особое значение в криолитозоне. Каждому уровню соответствуют свои типы микрорельефа, которые влияют на накопление или спуск воды, интенсивность эрозии и (или) аккумуляции отложений, быстрому или медленному сдвигу снега зимой и т. д.

Стабильные квадраты равномерно распределены по высоким и низким геоморфологическим уровням. Об этом свидетельствует как выборка, приведенная в таблице природных условий в пределах динамичных и стабильных участков, так и картограмма густоты малых озер, наложенная на упрощенную геоморфологическую схему исследуемой территории (см. рис. 1, 2).

Среди динамичных квадратов преобладают участки, расположенные на средней пойме. Особенно это преобладание заметно среди участков, динамичных в период 2003–2009 гг. Среди участков, чья активность проявилась в период 1979–2003 гг., выделяются пойменные и водораздельные поверхности.

Приуроченность участков с активным изменением количества малых озер к поймам свидетельствует, на наш взгляд, о следующем механизме их возникновения, развития и исчезновения:

I этап. Возникновение в результате протаивания верхней части грунтовой толщ, сложенной грунтами средней льдистости. Оттайка происходит при переувлажнении поверхности в весеннее время и скоплении воды в пологих замкнутых понижениях, тоже, скорее всего, имеющих термокарстовую природу.

II этап. Развитие и стабилизация. Углубление озера и увеличение площади его зеркала в результате процессов термокарста и термоабразии. При достижении глубины в 1,5–2 м рост озера затухает, так как средняя теплопроводность разреза снижается ввиду увеличения мощности водной толщ. Озеро стабилизируется.

III этап. Спуск, происходящий, как правило, в результате прорезания перемычки между озером и рекой во время весеннего половодья. Учитывая небольшие объемы воды в этих озерах, спуск происходит быстро, за 1–2 года. В результате остается переувлажненная западина, днище которой, ввиду переувлажненности грунта, подвержено процессам криогенного пучения и заболачивания.

По нашим представлениям, частое возникновение и исчезновение малых озер, выражаемое изменением $K_{густ}$, может иметь две причины.

1. Активная перестройка речной сети, выражающаяся в смене гидрологического режима рек и ручьев, затоплении ранее не затопляемых участков, смене обеспеченности уровней, меандрировании русел водотоков, вертикальном и горизонтальном перемещении местного базиса эрозии. В результате в пределах долин, даже на относи-

тельно удаленных от русла участках (на средней и высокой пойме), возникают пойменные озера, модифицируемые термокарстом. Ф. А. Романенко [7] приводит данные о спуске пойменных термокарстовых озер общей площадью 6,738 км² в период 1940–1993 гг., с параллельным образованием малых первично-термокарстовых озер на смежных участках. Такой процесс активно протекает и ныне, приводя к образованию малых пойменно-термокарстовых озер. Эти озера успешно перелетовывают, существуя по несколько лет, а затем быстро спускаются за счет разрушения бортов, термоэрозийного прорыва перемычек, или заваливаются склоновым материалом. В это же время образование озер идет на смежном участке. Такие процессы активно протекают в низовьях р. Сеяха близ ее впадения в р. Мордыяха. Кроме того, процессы, подобные пойменным, протекают и вблизи крупных озер, пульсация уровней которых приводит к возникновению и исчезновению малых «озер-спутников».

2. Деятельность человека, в результате которой нарушается почвенно-растительный покров, режим стока, а также тепловой баланс верхней части разреза ММП. Изучение воздействия этого фактора не входит в задачу данного исследования.

Таким образом, формирование и спуск малых озер являются индикаторами изменения локальных геодинамических и геокриологических условий.

Наивысшие значения изменения количества малых озер характерны для поймы. Водоразделы являются более стабильными в этом отношении поверхностями.

Из двух вышеприведенных тезисов следует вывод о том, что поймы являются наиболее динамически активными участками с наиболее неустойчивой геологической средой.

Важнейшими факторами природной среды, влияющими на динамику малых озер, являются микрорельеф, определяемый геоморфологическим уровнем, и средняя теплопроводность верхних 5 м разреза горных пород.

Список литературы

1. Качурин С. П. Термокарст на территории СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1961.
2. Воскресенский К. С. Современные рельефообразующие процессы на равнинах Севера России. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 240 с.
3. Санников Г. С. Плановая форма и размер термокарстовых озер как индикатор устойчивости рельефа Ямала // Теория геоморфологии и ее приложение в региональных и глобальных исследованиях. Чтения памяти Н. А. Флоренсова. – Иркутск: ИК СО РАН, 2010.
4. Санников Г. С. Картометрические исследования термокарстовых озер на территории Бованенковского месторождения, полуостров Ямал // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI. – № 2. – С. 30-37.
5. Симонов Ю. Г. Объяснительная морфометрия рельефа. – М.: ГЕОС, 1999. – 263 с.
6. Романенко Ф. А. Динамика озерных котловин на центральном Ямале // Эрозионные процессы центрального Ямала. Под ред. А. Ю. Сидорчука и А. В. Баранова. – СПб.: Изд-во Гомельского ЦНТДИ, 1999. – С. 139-160.
7. Романенко Ф. А. Формирование озерных котловин на равнинах Арктической Сибири: 1997; автореф. дис. на соискание ученой степени канд. географ. наук. – М.: 1997. – 25 с.
8. Симонов Ю. Г. Геоморфология. Методология фундаментальных исследований. – СПб.: Питер, 2005. – 397 с.
9. СНиП 2.02.04-88. Строительные нормы и правила. Основания и фундаменты на вечномёрзлых грунтах. – Москва, 1988.

Сведения об авторах

Санников Георгий Сергеевич, заместитель директора по развитию ООО ГП «Промнефтегазэкология», г. Тюмень, тел. 8(3452)273527, e-mail: tyumenetz@gmail.com

Information about the authors

Sannikov G. S., Deputy Director of the LLC «Promneftegazekologia», Tyumen, Russia, phone: 8(3452)273527, e-mail: tyumenetz@gmail.com