

УДК 631.48 – 551.34

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОЧВ В КОТЛОВИНЕ ОСУШЕННОГО ОЗЕРА «ОПЫТНОЕ» (ЕВРОПЕЙСКИЙ СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ)

© 2014 Д.А. Каверин<sup>1</sup>, А.В. Пастухов<sup>1</sup>, Н.Б. Какунов<sup>2</sup>, А.В. Калмыков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

<sup>2</sup>ООО «Воркутагеология», Воркута

<sup>3</sup>МБУ Городской центр развития туризма, Воркута

Поступила 21.01.2014

Охарактеризована эволюция почв и ландшафтов на примере котловины осушенного оз. Опытное с торфяно-минеральными донными отложениями (Большеземельская тундра). Показаны особенности аградации многолетней мерзлоты и активизации криогенных явлений. В котловине под луговыми сообществами сформировались специфические торфяные мерзлотные почвы. Общее направление эволюции котловины осушенного озера идет в векторе восстановления ландшафтов и почвенного покрова, типичных для тундры.

**Ключевые слова:** осушение озера, аградация мерзлоты, эволюция ландшафта, торфяные мерзлотные почвы

### ВВЕДЕНИЕ

Прогнозируемое потепление климата, подтверждаемое различными моделями и данными температурного мониторинга, может обусловить усиление термокарстовых процессов, которые приведут к кардинальным изменениям в гидрологии субарктических экосистем и изменениям в них баланса углерода [19]. Оттайка многолетнемерзлых пород, термокарст и водная эрозия являются естественными пусковыми механизмами при миграции и дренировании тундровых озер. Динамика термокарстовых озер может рассматриваться как возможный индикатор криолитозоны [3, 12]. Осушение озер на европейском Северо-Востоке приводит к аградации мерзлоты, происходящей локально в осушенных котловинах [15].

Термокарстовые озера хорошо отображаются на аэрофото- и спутниковых снимках, разработаны методы их дешифрирования [16], проводится дистанционный мониторинг изменения их площадных характеристик. Поэтому основное количество публикаций направлено на исследование динамики термокарстовых озер во времени [3, 8, 11, 12]. Однако по качественным изменениям в ландшафтах осушенных котловин существует незначительное количество работ [6, 15].

Первые целенаправленные исследования озерно-термокарстового процесса в тундровой зоне

были начаты в 1964 г. в котловинах искусственно осушенных озер [17, 18]. Доказано, что в осушенных котловинах термокарстовых озер при создании луговых угодий с плодородными почвами возможно получение высоких урожаев [13]. Однако, мелиорация термокарстовых озер экологически опасна вследствие неустойчивости сопровождающих негативных процессов, таких, как мерзлотное заболачивание, аградация мерзлоты.

Целью данной работы является изучение эволюции тундровых ландшафтов, сопровождающейся аградацией многолетней мерзлоты и формированием почвенно-растительного покрова на примере котловины искусственно осушенного термокарстового озера.

### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Территория исследований расположена в пределах Печорской низменности (юго-восток Большеземельской тундры), в Косью-Роговской низменной равнине. Территория характеризуется субарктическим, умеренно-континентальным умеренно-холодным климатом. Среднегодовая температура воздуха составляет  $-6^{\circ}\text{C}$ , средняя температура июля  $+12^{\circ}\text{C}$ , января  $-20^{\circ}\text{C}$  [1]. Среднегодовое количество осадков 600-650 мм, из них около 70% выпадает в теплый период. Зимой преобладают ветры юго-восточного и южного направления [1].

Полевые исследования проводили в августе 2011 г. Участок исследований находится в урочище Пятombой-Гладь, бассейн р. Бол. Роговая, являющейся притоком р. Усы (Печорский речной бассейн) (рис.). Урочище представляет собой слабохолмистую равнину (145-155 м н.у.м.), характерными формами рельефа являются моренные холмы, гряды, бугры пучения, плоскобугристые торфяники. Плоская равнина расчленена долинами ручья Мал. Юнкошор и его притоков, ложбинами, полосами стока и озерными котловинами.

Каверин Дмитрий Александрович, кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела почвоведения, dkav@mail.ru; Пастухов Александр Валериевич, кандидат географических наук, научный сотрудник отдела почвоведения, alpast@mail.ru; Какунов Николай Борисович, начальник гидрорежимной партии, mail@mireko.ru; Калмыков Александр Васильевич, главный специалист, avklm2@yandex.ru

ми. Четвертичные отложения (сверху-вниз) представлены песками (2-10 м), ленточными глинами (10-40 м), валунными суглинками (40-60 м) с прослоями песка и песчано-гравийных отложений [7]. Торфяники сложены осоково-сфагновыми и сфагнуво-гипновыми мхами с прослоями кустарниковой и древесной растительности. Мощность торфа варьирует от 0,5 до 6 м [7].

Растительность водораздельных массивов представлена преимущественно ерниково-багульниково-мохово-лишайниковыми и

осоково-сфагновыми сообществами плоскобугристых торфяников. В долинах водотоков и водоемов распространены ива, ель, красная смородина, жимолость, берёза и можжевельник. Дренированные надпойменные террасы покрыты ерниково-мохово-лишайниковой растительностью. В почвенном покрове водораздельных массивов бассейна р. Бол. Роговая преобладают торфяно-глееземы, торфяные олиготрофные и сухоторфяные мерзлотные почвы.



Рис. Географическое положение участка исследований

Многолетнемерзлые толщи мощностью до 70 метров занимают более 90% территории урочища. Сквозные талики существуют только под большими озерами, глубина которых более 5 м [2]. Конфигурация верхней поверхности мерзлоты сложная. Наблюдается перемежаемость участков сливающейся и несливающейся мерзлоты. Среднегодовая температура многолетнемерзлых пород варьирует в интервале  $-1 \dots -2^{\circ}\text{C}$ , среднегодовая температура сезонно-талого слоя почв  $0 \dots -5^{\circ}\text{C}$  [5].

Относительная площадь озер в районе исследований составляет 8-12%. Озерные котловины термокарстового происхождения размерами от 25 до 1000 м в диаметре в 90% случаях заполнены водой, остальные дренированы. Единичные естественно-осушенные озера имеют диаметр до 2000 м. Донные отложения озер представлены преимущественно заиленными песками, илами, глинами [2].

Исследования почвенного покрова проводили в пределах болотного комплекса, образовавшегося в котловине искусственно

осушенного оз. Опытное ( $67^{\circ}20'$  с.ш.;  $62^{\circ}21'$  в.д.). Осушение озера было произведено в конце 1970-х гг. сотрудниками государственного предприятия «Полярноуралгеология» (г. Воркута).

Диаметр озерной котловины около 1 км, площадь  $1,17 \text{ км}^2$ , глубина озера до осушения достигала 1-2 м с урезом воды на уровне 87 м н.у.м. Озеро относилось к мелководному типу, форма котловины овально-округлая с элементами лопастной [2]. Озеро имело термокарстовое происхождение и было бессточным с плоским дном. Донные отложения представлены торфо-минеральными отложениями мощностью от 0,5 до 1,2 м. Ниже залегают пески мощностью 2-6 м, под которыми распространены ленточные глины мощностью 10-30 м, под которыми вскрыты моренные суглинки роговской свиты [7]. В котловине существуют неглубокие остаточные озера вытянутой овальной формы, до 20 м в поперечнике, занимающие около 3% площади.

Приозерная терраса высотой до 4 м эрозионного происхождения сложена

торфяными многолетнемерзлыми отложениями мощностью около 2 м, подстилаемых мерзлыми песками. Поверхность террасы задернована, склоны покрыты ивняково-ерниковой растительностью.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения почвенного покрова в контурах основных типов растительных сообществ в 2011 г. заложено 5 почвенных разрезов. В сезонно-талой части профиля произведён отбор образцов почвенных горизонтов, в подстилающих ММП – отбор мерзлых кернов до глубины 1,2 м. Глубину СТС определяли градуированным металлическим зондом в конце вегетационного периода. Таксономические названия почв в статье приведены в соответствии с Классификацией почв России [9].

Влажность горизонтов СТС и ММП определялась весовым методом. Для детального анализа структуры растительного и почвенного покрова котловины были использованы геоинформационные методы исследований. В качестве основы применялись спутниковые снимки Quickbird Bing с разрешением пикселя 0,92 м (2011 г.), снимки Landsat с разрешением пикселя 30,3 метра (1984-2011 гг.) и 60,6 метра (1973 г.). В программной среде ArcGis 9.1 проведена ручная оцифровка полигонов основных типов ландшафтов.

В период активной аградации мерзлоты (1981-1995 гг.) Н.Б. Какуновым в котловине осушенного озера проводились наблюдения за температурой почвогрунтов. Температуру ММП определяли с помощью ртутных термометров, опускаемых в термометрические скважины глубиной от 3 до 42 м. После осушения озера в котловине проводились снегомерная съёмка и нивелирные съёмки поверхности дна.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Исследование структуры почвенного покрова котловины показало преобладание торфяных почв со сливающейся мерзлотой (около 75% площади котловины). Широкое распространение торфяных мерзлотных почв в котловине осушенного озера обусловлено литологическим составом донных отложений, верхняя часть которых представлена торфоминеральным субстратом.

**Почвы плоскобугристых торфяников.** Плоскобугристые торфяники занимают около 6% от общей площади котловины бывшего озера, включая 2% площади, занятой торфяными пятнами. На плоских торфяных буграх формируются торфяные мерзлотные почвы: под кустарничково-моховой растительностью – сухоторфянистые почвы, под торфяными оголенными пятнами – торфяные олиготрофные деструктивные.

Морфологическое описание профилей почв плоскобугристых торфяников:

*Разр. Озеро-1.* Котловина осушенного оз. Опытное. Торфяной бугор овальной формы диа-

метром 30 м, высотой 1,5 метра. Поверхность торфяника разбита морозобойными трещинами глубиной 50 см и шириной 20 см. Кустарничково-мохово-лишайниковая тундра. В кустарничковом ярусе: карликовая ива, ерник, голубика, шикша, черника, княженика, морошка, клюква, багульник. В мохово-лишайниковом ярусе: осоки, лишайники, мхи, грибы. Сезонная протайка 60 см. Почва – сухоторфянистая мерзлотная.

Т<sub>Е</sub> 0-30 см. Черно-бурый хорошо разложившийся торф, влажный, слоистый, рыхлый, переход постепенный, фрагменты трав, мелкие корни.

Т<sub>Е</sub> 30-52 см. Черный хорошо разложившийся торф, влажный, слоистый, рыхлый, переход постепенный, фрагменты трав, мелкие корни.

Т<sub>3</sub> 52-60 см. Черный слабо разложившийся слабо опесчаненный торф, слоистый, влажный, рыхлый, фрагменты стеблей кустарничков и трав.

Т<sub>4</sub> 60-75 см. Сильно оторфованный суглинок – торфосуглинистая смесь. Массивная криотекстура (сухая мерзлота).

Г<sub>1</sub> 90-100 см. Сизый опесчаненный суглинок. Массивная криотекстура (сухая мерзлота).

*Разр. Озеро-3.* Котловина осушенного оз. Опытное. Плоский торфяной бугор диаметром 20 м, высотой 1,5 метра в центре котловины. 70% поверхности бугра занимает торфяное пятно, разбитое сетью морозобойных трещин. Для пятна характерен мелкобугорковатый микрорельеф. Растительность покрывает около 30% площади бугра. В кустарничковом ярусе: ерник, шикша, багульник, карликовая ива. В мохово-лишайниковом ярусе: политрихум. Сезонная протайка 50 см. Почва – торфяная олиготрофная деструктивная.

Т<sub>Е@</sub> 0-5 см. Черно-коричневый хорошо разложившийся торф, крупно ореховатая структура, мелкие корни.

Т<sub>Е</sub> 5-20 см. Черно-коричневый слоистый хорошо разложившийся торф, фрагменты трав.

Т<sub>Е</sub> 20-53 см. Черно-коричневый хорошо разложившийся торф. В нижней части горизонта многочисленные сильно разложившиеся фрагменты древесины, покрытые налетом черного цвета.

Г<sub>1</sub> 53-65 см. Сизый опесчаненный слоистый суглинок, массивная криотекстура (сухая мерзлота).

Г<sub>2</sub> 65-80 см. Сизый опесчаненный суглинок. Массивная криотекстура (сухая мерзлота), на глубине 70 см прослойка льда толщиной 1 см.

Г<sub>3</sub> 80-95 см. Сизый опесчаненный суглинок, тонкошлировая среднеслоистая криотекстура. В нижней части горизонта льдистость возрастает, появляются элементы сетчатой криотекстуры.

**Почвы тундровых луговин.** В котловине занимают наибольшую площадь – 60%. Однако в регионе эти почвы являются редкими и ограниченно распространенными. Формируются под тундровыми злаковыми луговинами на торфяных

отложениях, глубина сезонной протайки 40-50 см. Верхний горизонт представлен травянисто-моховым очесом.

Морфологическое описание профилей почв тундровых луговин:

*Разр. Озеро-2.* Котловина осушенного оз. Опытное. Злаковая луговина. В травянистом ярусе доминирует вейник высотой до 70 см, в напочвенном покрове зеленые мхи. Сезонная протайка 40 см. Почва – торфяная эвтрофная перегнойно-торфяная.

О 0-5 см. Травянисто-моховой неразложившийся очес желто-соломенного цвета, состоит преимущественно из фрагментов и стеблей трав, переход резкий.

TE<sub>1</sub> 5-30 см. Черно-коричневый хорошо разложившийся заиленный торф, мелкие корни, комковатая структура, переход заметный по цвету.

TE<sub>2</sub> 30-40 см. Буро-коричневый хорошо разложившийся торф с характерным запахом, мажет, комковато-плитчатая структура, мелкие корни, фрагменты травянистых растений.

TE<sub>3</sub> 40-65. Буро-коричневый хорошо разложившийся заиленный торф, фрагменты древесных остатков, на глубине 50 см прослойка суглинка, линзовидная криотекстура с элементами тонкослоистой.

TE<sub>4</sub> 65-80 см. Буро-коричневый слоистый хорошо разложившийся торф, фрагменты кустарничков. Массивная криотекстура, различимы отдельные кристаллы льда диаметром до 1 мм.

TE<sub>5</sub> 80-92 см. Буро-коричневый хорошо разложившийся торф. Массивная криотекстура, различимы отдельные кристаллы льда диаметром до 2 мм.

GL 95-105 см. Сизый опесчаненный суглинок, на глубине 99-102 см прослойка сильно оторфованного суглинка, на глубине 102-103 см прослойка белесого песка. Массивная криотекстура (сухая мерзлота).

**Почвы заболоченных ландшафтов.** Занимают около 11% территории котловины. Формируются под заболоченными осоковыми лугами и ивняками на торфяных отложениях. Глубина сезонной протайки под луговой растительностью более 50 см, под ивняками мерзлота в пределах почвенного профиля отсутствует. Верхний горизонт представлен травянисто-моховым очесом.

Морфологическое описание профилей почв заболоченных ландшафтов:

*Разр. Озеро-4.* Котловина осушенного оз. Опытное. Заболоченный осоково-моховой луг. Кочковый микрорельеф, кочки высотой 20 см, диаметром 10-15 см. Сезонная протайка 50 см. Почва – торфяная эвтрофная иловато-торфяная.

TE 0-10 см. Черно-бурый хорошо разложившийся торф, густо переплетен корнями, рыхло плитчатая структура.

TE<sub>2</sub> 10-30 см. Черно-коричневый заиленный хорошо разложившийся торф, сырой, рыхло комковатая структура.

TE<sub>3</sub> 30-50 см. Черно-коричневый сильно заиленный хорошо разложившийся торф, мало корней. Уровень почвенно-грунтовых вод на глубине 30 см.

**Аллювиальные почвы.** Аллювиальные почвы занимают около 3% площади котловины. Формируются в пойме ручья под ивняково-травянистыми сообществами. Многолетнемерзлые породы в пределах почвенного профиля отсутствуют. В верхней части профиля образуется оторфованная мохово-травянистая подстилка, ниже лежащие минеральные горизонты характеризуются выраженной слоистостью.

Морфологическое описание аллювиальных почв:

*Разр. Озеро-4.* Котловина осушенного оз. Опытное. Высокая пойма ручья. Ивняково-травянистая тундра. В травянисто-моховом ярусе: осоки, мятлик, зеленые мхи. Почва – аллювиальная торфяно-глеевая.

АО 0-5 см. Коричнево-бурая слабо разложившаяся оторфованная мохово-травянистая подстилка.

RJ 5-20 см. Слоистый аллювиальный горизонт (5-10 см – торф, 10-15 см – песок, 15-20 см – темно-сизый суглинок).

CG' 20-50 см. Серо-сизый песок, бесструктурный, мелкие охристые пятна.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Эволюция ландшафта котловины озера.** В 1970-1980-е гг. в пределах урочища Пятombой-Гладь было осушено 40 озер общей площадью 1000 га. Осушение озер было частью программы по получению кормов для совхозов Воркутинского района Коми АССР, где активно проводилась политика по адаптации животноводства к суровым климатическим условиям крайнего Севера. Работы были направлены на выяснение возможностей использования котловин осушенных термокарстовых озер в качестве сельскохозяйственных угодий для выращивания многолетних трав и заготовки их на грубые и сочные корма [7]. Осушение термокарстовых озер для луговодства не имело аналогов за рубежом. Наибольшие темпы осушения термокарстовых озер в нашей стране зафиксированы в Чукотском автономном округе [13].

Оз. Опытное было искусственно осушено 12 сентября 1979 г., для этого была вырыта канава, по которой основная масса воды дренировалась в ручей Малый Юнкашор. После осушения обнажилось плоское торфяное дно озерной котловины, южная часть которой была более мелководной (не более 1 м.).

Поверхность дна котловины была покрыта фрагментами древесных пород, законсервирован-

ными ранее в торфяных толщах. Среди древесных остатков преобладали стволы елей, встречалась кора березы. В мезоморфологии торфяных и торфяно-минеральных донных отложений хорошо различимы фрагменты тундровых кустарничков и древесины, характерных для мерзлотных торфяников тундровой зоны в целом. Очевидно, термокарстовое озеро сформировалось при эрозии высокольдистых отложений торфяного плато с последующим погружением в воду разрушающихся торфяных горизонтов. Интенсивного формирования озерных сапропелевых отложений в озере не происходило. До дренажа озеро практически не было покрыто водной растительностью, за исключением разреженных осоковых ассоциаций. Основным впечатлением озерной стадии торфяника является его различная степень заиленности и более высокая разложённость органического вещества.

Из криогенных образований, возникших после осушения озера, следует выделить образование плоскобугристых торфяников с близким залеганием льдистой мерзлоты (0,4-0,6 м). Плоские торфяные бугры покрыты сетью морозобойных трещин и, частично, оголенными торфяными пятнами. Форма бугров варьирует от округлой до вытянутой в виде плоских гряд. Высота бугров колеблется от 1 до 1,5 м, размеры от 5-8 м до 20-25 м в поперечнике.

По мере зарастания обнаженного торфяного дна растительными сообществами площадь оголенных торфяников сокращалась. В 1984 г. она составляла 20%, в 1988 г. – 10%. В настоящее время открытые участки торфа занимают около 2% котловины и представляют собой преимущественно оголенные торфяные пятна на плоскобугристых торфяниках. В озерной котловине торфяные пятна являются реликтовыми образованиями, сформировавшимися на месте изначально незадернованной поверхности торфа. Форма пятен округлая либо лентовидная, размеры варьируют от 5 до 50 метров в диаметре. Оголенные торфяные пятна широко распространены в регионе на бугристых торфяниках в южной тундре и лесотундре, их генезис был описан ранее [4].

После осушения на большей части котловины начали формироваться заболоченные арктофилово-пушицевые луга, постепенно сменившиеся пушицево-осоковыми сообществами. Данные заболоченные сообщества в 1984 г. занимали около 70% территории котловины. Высота естественного травостоя (вейник, осока, арктофила рыжеватая, пушица) изменялась от 0,39 до 1,5 м. В 1984 г. в котловине озера начали сенокосение, дополнительного посева трав и внесения удобрений не производилось. Урожайность варьировала от 50 до 300 ц/га зеленой массы, при средних показателях 100 ц/га. Использование котловин осушенных озер в качестве сенокосных угодий не оказало существенного влияния на сукцессионные изме-

нения растительных сообществ котловины. Прекращение сельскохозяйственного использования котловин было связано с экономическими причинами. В 1990-е гг. в связи с изменением экономической ситуации в стране выращивание крупного рогатого скота и поддержка собственной кормовой базы в субарктических районах стало нерентабельным.

Дальнейшая эволюция заболоченных лугов, сформировавшихся в начале 1980-х гг., проходила по трем основным направлениям сукцессионных изменений. В течение 30 лет здесь сформировались плоскобугристые торфяники, злаковые луговины и заболоченные ивняки. Только небольшая часть котловины осталась занята заболоченными лугами.

По мере аградации многолетней мерзлоты под луговыми сообществами, которая сопровождалась поднятием отдельных участков котловины озера, сформировались тундровые злаковые луговины. Почвы под ними характеризуются наличием маломощного травянистого очеса, залегающего непосредственно на торфяном горизонте. В настоящее время мерзлота под тундровыми луговинами осушенного озера является относительно устойчивой, на отдельных участках в результате мерзлотного пучения происходит формирование бугров высотой до 50 см и диаметром до 5 м. Дальнейшая эволюция тундровых луговин может осложниться зарастанием их ивняковыми сообществами с последующей деградацией мерзлоты и заболачиванием. Другим вариантом является формирование торфяных бугров, на которых злаковые сообщества в будущем могут быть замещены мохово-кустарничковой растительностью.

В настоящее время в регионе большие площади тундровых луговин существуют в окрестностях г. Воркута, где они сформировались на суглинистых почвах плакоров. Их постагрогенная эволюция развивается по пути зарастания луговин кустарничково-моховой растительностью. Торфяные мерзлотные почвы тундровых луговин в регионе встречаются локально и, поэтому, могут быть предложены для включения в список редких почв тундры.

Часть территории котловины принципиально не изменилась за последние 30 лет, здесь продолжают существовать остаточные заболоченные осоковые луга с торфяными мерзлотными почвами. Площадь заболоченных лугов, в первые годы занимающих большую часть котловины, сократилась в несколько раз.

В котловине осушенного озера постепенно увеличивается площадь ивняковых сообществ, в 2011 г. их относительная доля составила 17%. Формирование ивняков сопровождается снегонакоплением и опусканием кровли многолетнемерзлых пород, здесь формируются торфяные (немерзлотные) почвы. Постепенное зарастание ивняковой расти-

тельностью котловины озера приводит к деградации поверхностной мерзлоты, способствуя заболачиванию котловины. Для сравнения проведен анализ структуры растительного покрова котловины бывшего озера, осушение которого произошло естественным путем 90 лет назад. Естественно осушенная котловина находится в 5 км к востоку от котловины оз. Опытное и характеризуется схожими размерами. В настоящее время 80% площади этой котловины занято заболоченными ивняковыми сообществами с немерзлотными почвами.

В первый год после осушения в котловине оз. Опытное сформировался естественный водоток (приток ручья Малый Юнкошор). Ручей оказывает дренажный эффект на юго-западный сектор котловины. В пойме ручья сформировались слабообразованные аллювиальные почвы, занимающие около 3% площади котловины. Формирование аллювиальных отложений сопровождалось размыванием торфяных и подстилающих песчано-глинистых отложений. Изначально пойма ручья была покрыта травянистой арктофило-пушицевой растительностью, к 1990 г. сформировались ивняковые сообщества. Наличие подстилающих песчаных отложений способствовало развитию водной эрозии в котловине озера.

**Криогенные изменения.** До осушения под озером существовал несквозной талик, многолетняя мерзлота залегала в отложениях приозерной террасы. Вода озера летом оказывала значительное тепляющее действие, максимальная температура воды и поверхности дна варьировала в интервале +20...+30°C. Зимой большая часть акватории озера промерзала до дна, при этом промерзание затрагивало и верхнюю часть донных отложений. Промерзание торфяного дна способствовало процессам перемещения поверхностных торфяных слоев, т.к. при таянии ледового покрова вмержшие придонные слои льда всплывали, поднимая с собой фрагменты поверхностных донных горизонтов.

Осушение котловины озера резко изменило тепловые условия почвогрунтов и спровоцировало формирование многолетней мерзлоты в торфяных донных и подстилающих минеральных отложениях. Локальная аградация ММП в регионе проявляется преимущественно на участках частичного либо полного современного осушения термокарстовых озер [15]. Известно, что в регионе мелиорация болотных массивов даже в условиях крайнесеверной тайги приводила к возникновению в торфяных почвах многолетней мерзлоты [10].

В период формирования многолетней мерзлоты в 1981–1995 гг. проводились измерения температуры грунтов. После дренажа температура донных отложений стала отрицательной на протяжении 8 месяцев. Глубина снежного покрова, варьирующая от 0,2 до 1 м, не защищала почвы от полного промерзания. При отрицательных

температурах ниже -3°C и мощности снега до 1 м происходил процесс охлаждения почвогрунтов, который привел к образованию многолетней мерзлоты. Наибольшее снижение температуры грунтов после осушения фиксировалось в центральной части котловины. Величина снижения температуры здесь составила более 1,25°C (скважины Р-27, 28) и 1,05°C (скважина Р-29). Наиболее значительное снижение температуры фиксировалось в интервале глубин 4-13 м. Выше и ниже данных глубин, а также на окраинах котловины понижение температуры было не столь существенным.

Наибольшее снижение температуры почвогрунтов произошло на участках с высотой снежного покрова менее 80 см. В 1984 г. предполагалось, что в почвах котловины многолетняя мерзлота образуется на площади примерно равной 50% [7]. На остальных пониженных участках мерзлота формироваться не будет, в связи с их большей снегозаносимостью. Однако исследования, проведенные в 2011 г., показали, что относительная площадь мерзлотных почв составила 77%, что в 1,5 раза больше прогнозируемого. Тем не менее, данная цифра практически совпадает с относительной площадью участков – 81%, где глубина снега не превышала 80 см (табл. 1).

**Таблица 1.** Глубина снежного покрова в котловине осушенного оз. Опытное (1984 г.)

Мощность снега, см	% от общей площади
0-20	0.5
20-40	3.4
40-60	24.8
60-80	53.2
80-100	13.7
>100	4.4

Формирование многолетней мерзлоты (1981-1995 гг.) происходило на фоне слабовыраженного тренда увеличения среднегодовой температуры в регионе (База данных по климату Института биологии, сост. Г.Г. Мажитова). В 1995 г. мощность многолетнемерзлых пород под котловиной осушенного озера составила 10-12 метров.

В первые годы после осушения котловины озера на поверхности торфа активизировалось морозобойное растрескивание, особенно активно проявлявшееся на участках, где мощность снега не превышала 40 см, т.е. на площади равной 4% от площади озера. Ширина трещин через 1-2 года после осушения достигала 10-20 см, глубина 40-60 см. В 1980-е годы криогенные трещины росли по ширине и глубине, увеличивалась их густота. В настоящее время активному трещинообразованию подвержены контуры торфяных бугров, занимающие около 7% территории котловины. Соответственно за 30

лет общая площадь котловины, подверженная активным криогенным процессам, увеличилась приблизительно в 2 раза. Это связано с формированием и поднятием торфяных бугров, образование которых происходит при сегрегации льда в подстилающих породах. Формирование плоских торфяных бугров было уже заметно на третий год после осушения, через 10 лет бугры полностью сформировались.

Анализ карты-схемы глубины снежного покрова в осушенной котловине озера

(составитель Н.Б. Какунов, 1984 г.) и сопоставление ее с контурами современных ландшафтов выявил определенные закономерности, обусловившие дальнейшее формирование ландшафтов. Большая часть мерзлотных почв котловины (около 80%), в т.ч. на формирующихся торфяных буграх, изначально образовалась при мощности снега в интервале 40-80 см (табл. 2).

**Таблица 2.** Соотношение современных площадей (%) почв с контурами глубины снежного покрова в 1984 г. (южная часть котловины озера)

Почвы/глубина снега, см	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	>100
Пойменные слабодифференцированные	0	31	31	22	15	1
Озера	1	3	9	40	31	17
Торфяные олиготрофные деструктивные почвы бугров	0	7	48	43	2	0
Сухоторфяные почвы бугров	1	7	30	41	18	3
Торфяные эутрофные почвы заболоченных ивняков	0	4	36	52	4	3
Торфяные эутрофные почвы заболоченных лугов	0	2	8	40	45	4
Торфяные эутрофные почвы тундровых луговин	0	4	29	56	10	0

Известно, что минеральные мерзлотные почвы в регионе формируются на относительно наветренных участках, где максимальная мощность снега обычно не превышает 50 см [14]. Однако развитие почв на относительно мощном необходимом торфяном наносе при умеренной глубине снежного покрова (40-80 см) в условиях отсутствия высокой кустарниковой растительности способствует сохранению или аградации мерзлоты. Высокая температуропроводность сильно льдистых торфяных горизонтов определяет сливающийся тип мерзлоты в пределах почвенного профиля. Современные заболоченные луга приурочены к относительно низким участкам, где мощность снега варьировала в пределах 60-100 см.

Формирование торфяных бугров, в свою очередь, усиливает дивергенцию снегонакопления. В настоящее время в регионе почвы торфяных бугров функционируют при относительно маломощном снежном покрове [5]. В последние годы снегомерной съемки в котловине озера не проводилось, однако присутствие оголенных пятен и низкая кустарничковая растительность на торфяных буграх свидетельствуют о незначительной мощности снега зимой.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Торфяно-минеральный состав донных отложенный способствовал их охлаждению и образованию многолетней мерзлоты после осушения оз. Опытное. Аградация мерзлоты в большей части котловины способствовала формированию торфяных

мерзлотных почв под луговыми и кустарничковыми сообществами.

Изначально после осушения озера на большей части котловины формировались заболоченные луга. В дальнейшем сукцессионное развитие лугов шло в различных направлениях, начали образовываться типичные и редкие ландшафты тундры. При активизации криогенных процессов формируются плоскобугристые торфяники с оголенными пятнами и морозобойными трещинами. На осушенных торфяных массивах без активных признаков криогенеза развиваются злаковые луговины на торфяных мерзлотных почвах. Дальнейшее развитие заболочивания ведет к формированию заболоченных лугов и ивняковых сообществ. Под кустарничковыми сообществами происходит процесс дегградации поверхностной мерзлоты, который в будущем будет прогрессировать. Процессы водной эрозии при осушении озера способствуют оформлению гидрографической сети, в пойме ручьев формируются ивняково-травянистые сообщества на аллювиальных почвах.

Торфяные эутрофные перегнойно-торфяные (мерзлотные) почвы злаковых луговин формируются локально и могут быть рекомендованы для включения в список редких почв европейского Северо-Востока России.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-31111 мол\_а «Многолетнемерзлые торфяники Большеземельской тундры: экологическое состояние почвенно-мерзлотного комплекса при климатическом потеплении в 21 веке» и программы ОБН РАН № 12-Т-4-1006 «Экологические качества эталонных почв европейского*



северо-востока России, их биоорганический потенциал в свете подготовки Красной книги почв Республики Коми».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас Архангельской области / Под ред. Д.Ф.Федорова. М.: ГУГК, 1976. 72 с.
2. *Голдина Л.П.* География озёр Большеземельской тундры. Л.: Наука, 1972. 102 с.
3. *Елсаков В.В., Марущак И.О.* Межгодовые изменения термокарстовых озер Северо-Востока европейской России // Исследование земли из космоса. 2011. № 4. С. 1-13.
4. *Каверин Д.А., Пастухов А.В.* Генетическая характеристика мерзлотных оголенных пятен на плоскобугристых торфяниках Большеземельской тундры // Изв. Самар. НЦ РАН. 2013. Т. 15, № 3. С. 55-62.
5. *Каверин Д.А., Пастухов А.В., Мажитова Г.Г.* Температурный режим тундровых почв и подстилающих многолетнемерзлых пород (европейский Северо-Восток России) // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, № 3 (в печати).
6. *Какунов Н.Б.* Климатические изменения и динамика водно-тепловых условий почвогрунтов и растительности в естественном и нарушенном состоянии // Геология разведки. 1980. № 7. С. 134.
7. *Какунов Н.Б., Черпаков А.С., Дзениш З.М., Блохин В.А., Юдина Е.А.* Изучение и прогнозирование режима подземных вод в северных регионах территории деятельности Полярно-Уральского производственного геологического объединения (Воркутинская гидрогеологическая режимная партия, 1983-1984 г.г.) / Свободный отчет о результатах работ Воркутинской гидрогеологической партии за 1972-1982 гг. Т. I. Воркута: Полярноуралгеология, 1984.
8. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестн. Том. гос. ун-та. 2008. № 311. С. 185-189.
9. Классификация и диагностика почв России / Составители: Л.Л.Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск, Ойкумена. 2004. 342 с.
10. *Кочеткова В.Л.* Торфяные почвы болот р. Большая Инта, их генезис и процессы, происходящие при освоении // Автореф. дис. канд. с.-х. наук. Сыктывкар, 1966. 26 с.
11. *Кравцова В.И., Быстрова А.Г.* Изменение размеров термокарстовых озер в различных районах России за последние 30 лет // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII, № 2. С. 16-26.
12. *Кравцова В.И., Тарасенко Т.В.* Динамика термокарстовых озер центральной Якутии при изменениях климата с 1950 года // Криосфера Земли. 2011. Т. XV, № 3. С. 31-42.
13. *Кривошеков В.С.* Научные основы мелиорации и рационального использования земель в зоне многолетнемерзлых пород (на примере Чукотки). Автореф. дис. докт. геогр. наук. Владивосток, 2000. 45 с.
14. *Мажитова Г.Г.* Температурные режимы почв в зоне сплошной многолетней мерзлоты европейского Северо-Востока России // Почвоведение. 2008. № 1. С. 54-67.
15. *Оберман Н.Г., Шеслер И.Г.* Современные и прогнозируемые изменения мерзлотных условий Европейского северо-востока Российской Федерации // Проблемы Севера и Арктики Российской Федерации. 2009. Бюл. № 9. С. 96-106.
16. *Протасьева И.В.* Аэрометоды в геокриологии. М., Наука, 1967. 196 с.
17. *Томирдиаро С.В.* Способ создания долговременных луговых угодий в тундре. Авт. свид. № 242751 // Бюлл. изобр. М., 1969. № 15.
18. *Шило Н.А., Томирдиаро С.В., Киселев И.Е.* Формирование долговременных луговых угодий на искусственно осушенных землях дниц термокарстовых озер тундровой зоны СССР: (Рекомендации). Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1984. 53 с.
19. *Hayes D.J., Kicklighter D.W., McGuire A.D., Chen M., Zhuang Q., Yuan F., Melillo J.M., Wullschlegel S.D.* The impacts of recent permafrost thaw on land-atmosphere greenhouse gas exchange // Environmental Research Letters. 2014. Vol. 3, № 4. doi:10.1088/1748-9326/9/4/045005.

### FEATURES OF SOIL GENESIS IN THE BASIN OF DRAINED LAKE «OPYTNOE» (EUROPEAN NORTHEAST OF RUSSIA)

© 2014 D.A. Kaverin<sup>1</sup>, A.V. Pastukhov<sup>1</sup>, N.B. Kakunov<sup>2</sup>, A.V. Kalmykov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Biology Komi SC UB RAS, Syktывkar

<sup>2</sup>«Vorkutageologiya», Vorkuta

<sup>3</sup>Municipal City Centre for the development of tourism, Vorkuta

The case study of the evolution of soils and landscapes has been characterized in the basin of drained lake «Opytnoe» with peat-mineral sediments (the Bolshezemelskaya Tundra). The features of permafrost aggradation and cryogenic processes have been assessed. In the basin the specific peat permafrost-affected soils develop under meadow communities. The general direction of the evolution of the drained lake is landscape and soil restoration typical for tundra.

**Key words:** lake draining, permafrost aggradation, landscape evolution, peat permafrost-affected soils

*Kaverin Dmitry*, Candidate of Geography, senior researcher of soil department, dkav@mail.ru; *Pastukhov Alexander*, Candidate of Geography, researcher of soil department, alpast@mail.ru; *Kakunov Nikolay Borisovich*, Head of the hydroregime party, mail@mireko.ru; *Kalmykov Alexander Vasilievich*, principal specialist, avklm2@yandex.ru