

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

УДК 441.4

Н.С. Евсеева

КРИОМОРФОГЕНЕЗ НА ТЕРРИТОРИИ БАССЕЙНА НИЖНЕЙ ТОМИ

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта «Оценка экологических рисков при освоении инвестиционно-привлекательных территорий в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг. (ГК № П742 от 20 мая 2010 г.).

Основная черта современной геокриологической обстановки исследуемой территории – формирование длительного сезонного промерзания поверхностных пород. Глубина промерзания зависит от механического состава пород, увлажнения, мощности снежного покрова, температуры воздуха и почв и др. С сезонной мерзлотой связаны опасные природные процессы и явления – морозное пучение, морозное растрескивание грунтов.

Ключевые слова: опасные природные процессы; сезонная мерзлота; морозное пучение; морозное растрескивание грунтов.

Исследованию криогенных процессов посвящены работы многих исследователей: Н.И. Сумгина, Н.И. Толстихина, П.Ф. Швецова, С.П. Качурина, А.И. Попова, Н.Н. Романовского, Б.И. Втюрина, В.Л. Суходровского и др. Появились термины «криоморфогенез», «Криолитогенез» и др. Так, под криоморфогенезом В.Л. Суходровский и Г.Ф. Гравис [1] понимают рельефообразование, обусловленное совокупностью процессов, сопутствующих физико-механическим и литогенетическим процессам в промерзающих, мерзлых и протаивающих почвах и горных породах, вызванных энергомассообменом при изменениях температуры и переходом ее через точку плавления льда.

Цель данной работы – характеристика криогенных процессов и явлений на территории бассейна нижней Томи, относящихся к опасным природным процессам и явлениям – морозного пучения, морозного растрескивания грунтов, а также оплывания почвогрунтов.

Бассейн нижнего течения р. Томи в пределах Томской области расположен в Южной геокриологической зоне континентального региона, в пределах Урай-Новосибирской подзоны – подзоны развития сезонно-мерзлых пород и потенциально возможного образования многолетнемерзлых пород при антропогенном воздействии на среду [2]. Основной чертой современной геокриологической обстановки территории является

формирование длительного сезонного промерзания поверхностных пород. Глубина промерзания зависит от механического состава пород, увлажнения, мощности снежного покрова, температуры воздуха и почв естественного покрова и др.

В южной части Западно-Сибирской равнины, в том числе и Томской области, распространены рыхлые породы, представленные в основном пылеватыми суглинками, местами с признаками облессования в верхней части разреза. В стратиграфическом отношении они, как правило, не расчленены. В литературе их называют «покровные отложения», покровные суглинки, элювиально-делювиальные отложения и т.д. Покровные отложения характеризуются рядом признаков [3, 4]: они залегают с поверхности и плащеобразно перекрывают другие генетические типы горных пород разного состава и возраста на различных геоморфологических элементах; в гранулометрическом составе преобладают пылеватые фракции; однотипны по составу, неслоисты, в верхней части разреза обычно макропористы; повышено содержание солей, главным образом карбонатных; породы имеют значительную водопроницаемость и др.

Большое значение для развития пучения грунтов и морозобойного растрескивания имеют температуры воздуха и температуры поверхности почвы (табл. 1).

Таблица 1

Температуры воздуха и почвы по данным метеостанций Томск и Первомайское [5]

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Год
Средняя месячная и годовая температура воздуха, °С													
Томск	-19,1	-16,9	-9,9	0,0	8,7	15,4	18,3	15,1	9,3	0,8	-10,1	-17,3	-0,5
Первомайское	-19,4	-17,4	-9,8	0,3	8,7	15,8	18,5	14,9	8,8	0,6	-10,5	-18,2	-0,6
Температура почвы, °С													
Среднемесячная и годовая													
Томск	-20	-20	-11	0	11	20	23	17	10	0	-11	-18	0
Первомайское	-21	-20	-12	-1	11	20	24	18	10	0	-11	-19	0
Абсолютный минимум на поверхности почвы													
Томск	-51 1974	-53 1969	-43 1966, 1972	-39 1964	-13 1958, 1964	-7 1961	1 1983	0 1982	-10 1968	-37 1976	-50 1952	-52 1968	-53 1969
Первомайское	-54 1979	-54 1951	-48 1978	-35 1980	-17 1958	-6 1972 и др.	3 1971 и др.	-1 1967	-8 1977 и др.	-31 1976	-53 1952	-52 1958, 1972	-54 1951, 1979

Анализ табл. 1 показывает, что абсолютный минимум температуры на поверхности почвы достигает -54°C . Средний из абсолютных минимумов температуры почвы варьируется на исследуемой территории от -35 до -48°C в зимние месяцы и от -3 до -37°C весной и осенью. Среднегодовые температуры пород изменя-

ются от 0 до $2,5-4,5^{\circ}\text{C}$ [2]. Устойчивое промерзание почв происходит в ноябре, в отдельные годы (1964/65, 1966/67, 1968/69) почва уже в октябре промерзла до глубины 20 см. Средняя дата устойчивого промерзания почвы – 1 ноября, самая поздняя – 15 ноября, самая ранняя – 25 октября (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Данные о сроках и глубине промерзания почв [6, 7]

Дата начала устойчивого промерзания			Глубина промерзания почвы по мерзлотометру Данилова, см						Средняя из максимальных за зиму
средняя	ранняя	поздняя	X	XI	XII	I	II	III	
01.11	25.10	15.11	2	36	68	94	109	110	108

Максимальная глубина промерзания почвы наблюдается в третьей декаде марта – первой декаде апреля, но в отдельные годы смещается во вторую и даже третью декады апреля (1953/54, 1957/58, 1963/64 и др.). В четырех из девяти лет почва промерзает на глубину 1,11–1,30 м [6]. По данным Д.А. Гиличинского [8], глубина промерзания почв изменяется от 1,0 до 3,5 м.

По данным Гидрометцентра Томской области [9, 10] на 31.03.2006 и 2011 г. почва промерзала на глубину 48–150 см.

Продолжительность периода с температурой почвы 0°C и ниже под естественным покровом колеблется от 191 до 122 дней на глубине 0,2 м и от 199 до 104 дней на глубине 0,4 м. Продолжительность периода с отрицательными температурами (до -5°C и ниже) под естественным покровом составляет: на поверхности почвы – с 17.09 по 17.04; на глубине 0,4 м – с 26.10 по 15.04; на глубине 0,8 м – с 10.01 по 15.04 [11].

Растительный покров оказывает влияние на температуры почвы: затеняет ее поверхность, что уменьшает приток тепла в почву днем и отток его ночью; определяет инверсионное распределение температур в системе «поверхность почвы – приземный слой воздуха», ослабляя турбулентное перемешивание; иссушает почву через десукцию и транспирацию, уменьшая ее теплосодержание и др. В разных типах лесов почва промерзает на разную глубину. Так, в период с 1977 по 1985 г. в кедряках почва промерзала до глубины 0,8 м, а в березняках и осинниках – на 0,25–0,4 м [12]. Таким образом, глубина промерзания почв колеблется в значительных пределах.

Средняя глубина промерзания серой лесной почвы на Томь-Яйском междуречье составляет 108 см при колебании значений от 74 до 138 см, распределение повторяемости максимальных глубин промерзания по слоям показано в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Повторяемость максимальных глубин промерзания [11]

Глубина, см	71–90	91–110	111–130	130–150
Повторяемость, %	22	22	39	17

Опыт хозяйственной деятельности в областях развития длительной (более 6 месяцев в году) сезонной мерзлоты почвогрунтов свидетельствует [13], что в районах с избыточным атмосферным увлажнением мерзлотно-термический режим почв ухудшается: увеличивается глубина промерзания почв, запаздывают сроки их оттаивания и прогрева до активных температур и т.д.

Сведение лесов и распашка земель привели к нарушению теплового баланса и температурного режима почвогрунтов, для почв пашни характерны повышенное излучение в ночное время и уменьшение радиационного баланса, что способствует снижению теплоресурсов пашни [6]. В.А. Хмелев и др. [14] также отмечают, что на крупных пахотных массивах стали формироваться очаги холода, способствующие общему выхолаживанию пашни. Так, на Томь-Яйском междуречье из-за уплотнения пахотного слоя водопроницаемость почв уменьшается, в результате гидротермический режим и условия теплообеспеченности верхнего слоя пахотных глубоко оподзоленных почв ухудшают-

ся. Увеличение размеров отдельного поля привело к тому, что снегонакопление на полях уменьшилось и как следствие – к увеличению глубины промерзания почв (рис. 1). Все это неблагоприятно отразилось на уровне весеннего накопления влаги (табл. 4).

Наши наблюдения показывают, что распределение влагозапасов на пашне изменяется в зависимости от мощности снежного покрова от 0–50 мм (возвышенные участки пашни, наветренные склоны) до 500–710 мм в районе лесополос, кромок лесных массивов, преобладают значения от 50 до 200 мм [15].

Промерзание почв на пашне происходит неравномерно и, как отмечал еще Н.А. Качинский [16], зависит от микрорельефа пашни и снежного покрова. Наблюдения А.И. Петрова, Н.С. Евсеевой и др. в течение 1989–2011 гг. показали, что высота снежного покрова в марте на пашне изменяется от 0 до 211 см. Возвышенные участки пашни – купола – из-за деятельности ветра уже в середине-конце марта лишены снега либо его высота составляет 0–30 см. В депрессиях разного генезиса на пашне высота снежного покрова достигает 180–

190 см, а в сугробах у лесополос – до 200–241 см, возможно более.

Г.Е. Пашневой, О.Э. Печень-Песенко [12] установлено, что при снежном покрове более 60 см черноземы, серые лесные почвы и дерново-подзолистые почвы промерзали примерно на 0,4 м, а при меньшей высоте снежного покрова – на глубину от 0,55 до 1,35 м. Средняя глубина промерзания темно-серых лесных почв на Томь-Яйском междуречье составляет 116 см [14]. Наблюдения

З.И. Ястремской [17], А.Г. Дюкарева и др. [18] и наши показывают, что мощность сезонной мерзлоты на пашне различна: на куполах – до 1,0–2,0 м, а в депрессиях и под сугробами в несколько раз меньше (от 0 до 0,3–0,6 м).

В особо суровые зимы при недостаточной высоте снежного покрова в автоморфных почвах подтайги минимальные температуры на глубине 3 см опускаются до -25°C и происходит сильное вымерзание озимых (табл. 5).

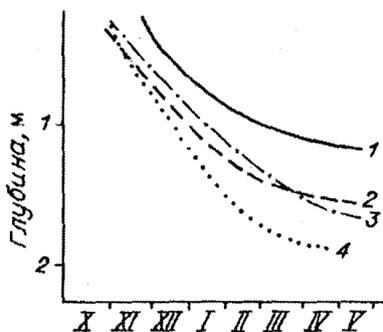


Рис. 1. Глубина промерзания почв южной тайги и лесостепи Западной Сибири с 1950 по 1970 г. [14]. Южная тайга: 1 – 1950–1960 гг.; 2 – 1960–1970 гг. Лесостепь: 3 – 1950–1960 гг.; 4 – 1960–1970 гг.

Таблица 4

Мощность снежного покрова, глубина промерзания и весеннее влагонакопление в профиле пахотных глубокооподзоленных почв [14]

Точка наблюдения	Мощность снега, см	Глубина промерзания, см	Весенний влагозапас в почвах, мм
1	50	38	266
2	35	76	212
3	25	112	82
4	35	85	87
5	50	45	203
6	85	20	310
7	95	0	266
8	105	0	270
9	85	8	230

Таблица 5

Средняя из абсолютных минимумов температуры в почвах (на глубине узла кущения) [19]

Метеостанция	Период наблюдений	Средний минимум температуры, $^{\circ}\text{C}$	Год	Абсолютный минимум температуры, $^{\circ}\text{C}$
Первомайское	1958–1971 гг.	-12,9	1968	-24,5

Наши наблюдения за температурой на поверхности почв пашни вблизи с. Лучаново показали, что в конце марта она достигает низких значений, например $-37,1^{\circ}\text{C}$ (26.03.1991 г.), $-23,1^{\circ}\text{C}$ (24.03.1996 г.) [20 и др.].

Т.И. Азьмука [19] установила, что при одинаковой мощности снежного покрова максимальная глубина промерзания почв в северных районах области меньше, чем в южных. Как отмечают многие исследователи, на большеконтурных полях лесостепной зоны и южнотаежной подзоны Западной Сибири установлено устойчивое увеличение глубин промерзания почв [21]. Продолжительность сохранения мерзлоты в профиле темно-серых лесных почв пашен составляет 5–6 месяцев [14].

Пестрополье в замерзании почв на пашне приводит весной к их «пятнистому» протаиванию и особенно-

стям стока талых снеговых вод, к развитию криогенных процессов и явлений, мало- и не характерных для естественных ландшафтов, – морозобойного растрескивания, оплывания и сплывания (конжелифлюкции).

На урбанизированных территориях – в г. Томске, по данным В.Е. Ольховатенко и др. [7], нормативное значение глубины промерзания в среднем равно 2,2 м. При строительстве водопроводов она увеличивается до 3,1 м, а при прокладке канализационных сетей уменьшается до 1,7 м. Из процессов криоморфогенеза на исследуемой территории наиболее развиты пучение, реже – морозобойное растрескивание. Согласно В.Л. Суходровскому и Г.Ф. Гравису [1], названные процессы проявляются в чистом виде. Кроме того, весной на пашне местами развивается оплывание почв.

Пучение грунтов – это движения земной поверхности: подъем при промерзании и опускание при оттаивании, не выраженные в формах рельефа, называются также морозной пульсацией, или гидротермическими движениями.

К пучиноопасным в исследуемом районе относятся все участки, где с поверхности залегают глинистые породы со значительным увлажнением, исключение

составляют участки с песчаными грунтами и прибортовые части долин. В целом на территории развито интенсивное пучение (рис. 2). Пучинные образования (бугры) высотой до 20 см часто приводят к деформации и нарушению сплошности дорожного полотна. В районе г. Томска начало пучинообразования вдоль железной дороги начинается со второй половины ноября – первой половины декабря.

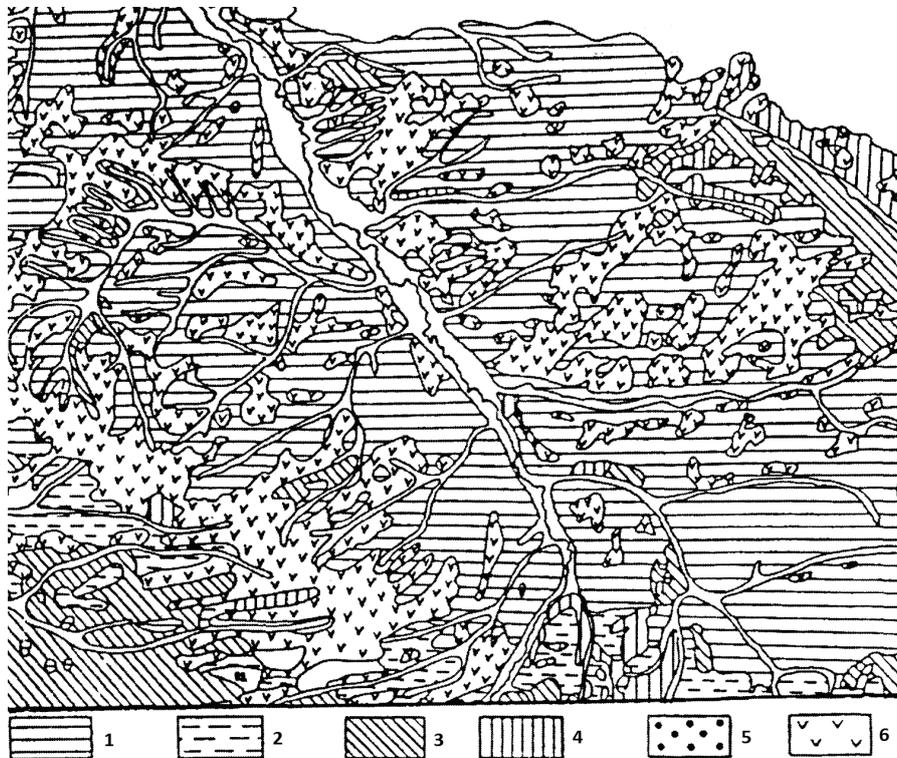


Рис. 2. Фрагмент карты районирования территории по развитию процессов пучения в минеральных грунтах [8]:
 1 – районы с весьма интенсивным процессом пучения; 2 – районы с интенсивным процессом пучения;
 3 – районы со слабым процессом пучения; 4 – районы с отсутствием процессов пучения грунтов;
 5 – район единичных бугров пучения; 6 – торф

После оттаивания бугров явного изменения в рельефе не наблюдается, но происходит перемещение частиц пород вниз по склонам – от 2,5 до 70 см [3].

При использовании сезоннопромерзающего слоя грунта в качестве естественного основания фундаментов необходимо учитывать не только воздействие на них морозного пучения, но и осадок при последующем оттаивании грунтов. До настоящего времени вопросы развития деформаций оснований, происходящих в процессе оттаивания сезоннопромерзающего слоя под фундаментом, а также знакопеременных деформаций при многолетнем сезонном промерзании-оттаивании остаются малоизученными. В.В. Фурсовым [22] с 1978 г. проводятся наблюдения за вертикальными перемещениями малозаглубленных фундаментов на площадках с сильнопучинистыми грунтами в г. Томске. Автором установлено, что незагруженные фундаменты ($P = 0$) выпучиваются практически одновременно с развитием промерзания грунтов под их подошвой и максимально перемещаются от воздействий деформаций пучинистых грунтов. После оттаивания грунтов они опускаются в первоначальное положение (рис. 3), причем их осадки равны поднятию при пучении грунтов.

Перемещение загружаемых фундаментов было меньшим, чем незагружаемых. При оттаивании грунтов оснований наблюдались дополнительные осадки, имеющие характер просадок. В.В. Фурсов отмечает, что с увеличением нагрузки на фундамент перемещения его за счет морозного пучения уменьшаются, но увеличиваются дополнительные осадки при оттаивании: наибольшие осадки наблюдаются после первого цикла сезонного промерзания-оттаивания. После второго они составляют 30–60% от предыдущей осадки и уменьшаются в течение ряда лет с тенденцией затухания вследствие постепенного уплотнения и упрочнения слоя грунта, промерзающего под подошвой фундамента.

В.В. Фурсов приводит результаты экспериментальных и расчетных значений дополнительных осадок фундамента с заглублением 1,5 м и давлением на грунт 0,2 МПа за период в семь лет (рис. 4).

Необходимо отметить, что процесс промерзания-оттаивания, сопровождающийся текстурно-структурными преобразованиями пылевато-глинистых грунтов, приводит к изменению их физико-механических свойств по сравнению с исходными до промерзания.

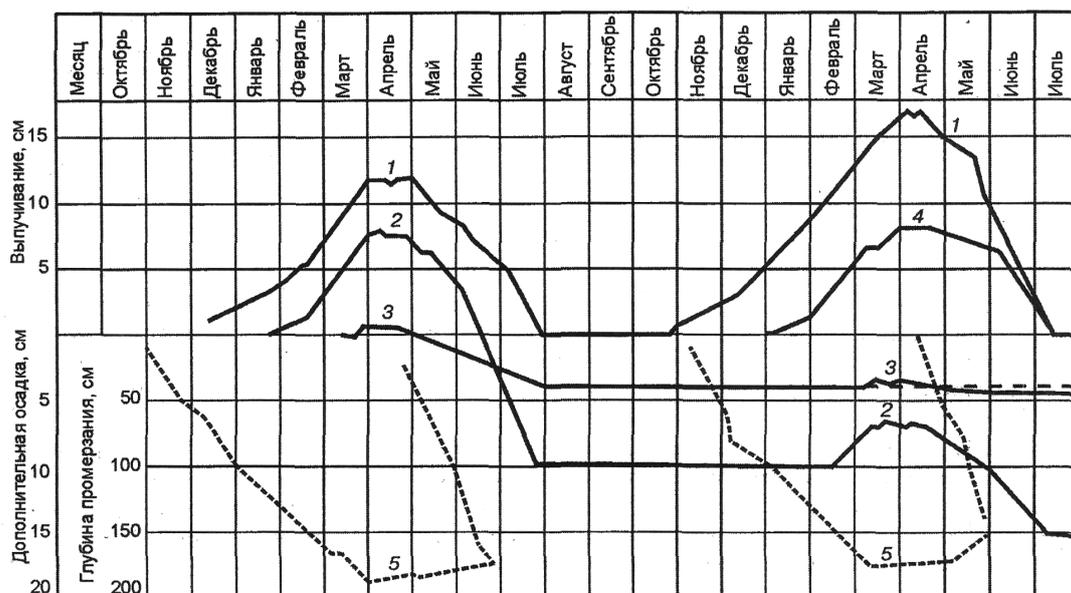


Рис. 3. Вертикальные перемещения фундамента при сезонном промерзании-оттаивании грунтов: 1 – поверхностная марка; 2 – фундамент ($P_1 = 0,3$ МПа; $d_1 = 1,0$ м); 3 – фундамент ($P_2 = 0,2$ МПа; $d_2 = 1,5$ м); 4 – марка на отметке 1,9 м; 5 – глубина промерзания; d_1, d_2 – заглубление фундаментов-штампов [22]

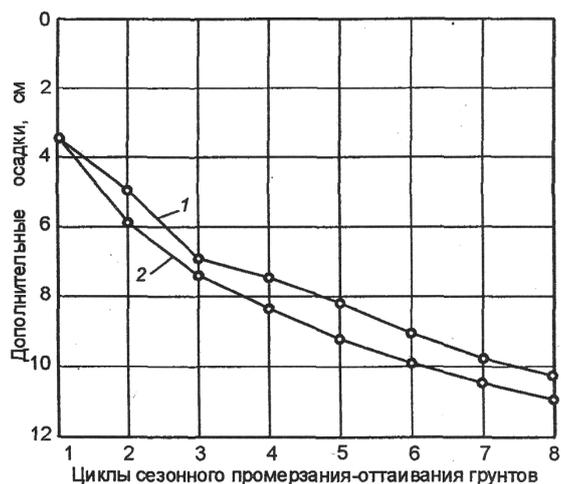


Рис. 4. График зависимости дополнительных осадок при многолетнем сезонном промерзании-оттаивании грунтов в основании фундамента Φ_0 ($d = 1,5$ м, $P = 0,2$ МПа): 1 – экспериментальные данные; 2 – расчетные [22]

Таблица 6

Температуры воздуха и почв в третьей декаде марта 1996 г. (по данным АМСГ Томска) [20]

Дата	Температура воздуха, °С			Минимальная температура почвы, °С
	минимальная	максимальная	средняя	
20.03	-23,4	-2,5	-12,0	-30,6
21.03	-21,6	-3,4	-12,6	-29,2
22.03	-18,0	-5,6	-12,2	-23,6
23.03	-19,4	-3,6	-10,9	-26,0
24.03	-14,2	-4,8	-9,8	-23,1
25.03	-19,8	-2,3	-11,4	-25,5
26.03	-17,0	-2,7	-9,4	-23,4
27.03	-12,2	-1,8	-6,9	-20,2
28.03	-13,0	-0,4	-6,6	-19,3
29.03	-16,7	1,8	-6,3	-22,1
30.03	-	4,0	-4,3	-
31.03	-12,4	5,3	-2,5	-19,2

Морозобойное растрескивание проявляется в зимнее время и ранней весной на наиболее дренированных участках поверхности с минимальным снежным покровом – это обнажения вдоль рек, возвышенные участки пахотных угодий и др.

В марте – апреле температура поверхности почвогрунтов отрицательная, а минимум ее за 1990–2004 гг. достигал $-37,1^{\circ}\text{C}$ (26.03.1991 г.). В результате на обнаженной поверхности куполов пашни мы почти ежегодно наблюдали морозобойное растрескивание почвогрунтов. Оно представлено образованием сезонно-трещинных полигонов, чаще всего 4–8-угольников, подобных тем, что формируются на такырах. Размеры полигонов изменяются от 3×5 до 10×15 см, реже – более. Глубина трещин, измеренная нами в пределах видимости, колеблется от долей сантиметра до 4,5 см, а ширина – от 1–3 до 15–20 мм. К 12–13 ч почва на склоне оттаяла на глубину 0,5–3 см и мелкие трещины стали «заплывать». Подобные явления мы наблюдали неоднократно, например 14.03.01 г., 10.03.02 г., 15.03.03 г. и др.

В Якутии на супесчаном субстрате ширина подобных трещин составляет 8–14 мм [1], на Западно-Сибирской равнине обычно не более 3–4 см [23]. Образование трещин, видимо, связано с гравитационным механизмом разрушения горных пород, обусловленным расклинивающим действием тонких пленок воды. По Э.Д. Ершову [24], величина расклинивающего давления пленочной влаги изменяется от тысячных долей МПа до 10 МПа и более (т.е. до 100 атмосфер и, воз-

можно, более). При суточных колебаниях температуры происходит циклическое выдавливание воды из микротрещин породы и затем обратное ее поступление, что ведет к расширению и углублению трещин.

Ю.Б. Бадю, Ю.К. Васильчук, П.И. Кашперюк и В.Т. Трофимов [23] отмечают, что с понижением температуры сопротивление мерзлого грунта на разрыв возрастает. Концентрация напряжений приводит к образованию микротрещин и дальнейшему микроскопическому разрушению.

Криогенно-склоновые процессы – оплывание и течение почвогрунтов, как показали наши наблюдения, развиваются в конце марта и первой половине апреля на склонах пашни крутизной $2-3^{\circ}$ и более. Наиболее характерны эти процессы для южных склонов пашни, где на куполах почва при высоких максимальных температурах воздуха в дневное время оттаивает довольно рано (табл. 7), а на северных склонах почвы чаще всего мерзлые. Освободившаяся влага мигрирует вниз, в результате чего происходит переувлажнение почв на контакте с мерзлым слоем. Влажность оттаявших почв высокая (38–81%), и под действием силы тяжести почвы либо оплывают, либо наблюдается их течение вниз по склонам по мерзлому слою. Проследить истинные размеры этих процессов на распаханной и лишенной снега поверхности пашни трудно. В местах, где конжelifлюкционные потоки разгружаются на снег в депрессиях, эти процессы прослеживаются ясно. Так, 3 апреля 1991 г. длина одного из таких потоков достигала 1,5 м при мощности отложений до 7 см.

Т а б л и ц а 7

Глубина оттаивания почв на пашне Томь-Яйского междуречья на примере ряда лет

Дата	Мощность оттаявшего слоя почвы на склонах, см		Температура, $^{\circ}\text{C}$		
	Южная экспозиция	Северная экспозиция	Максимальная воздуха	Среднесуточная воздуха	На поверхности почвы
01.04.1989 г.	10–25	7–18	–	–	–
25.03.1990 г.	5–6	0	4,2	1,3	–0,6
08.04.1990 г.	8–33	6–20	–	1,4	–
03.04.1991 г.	0,5–7	0	2,8	–1,2	–9,4
16.04.1991 г.	15–22	До 10	7,0	1,2	–6,6
18.04.1992 г.	4–25	1–7	5,4	2,7	–5,2
11.04.1993 г.	5–28	0,5–8	8,8	4,1	–4,5
24.03.1996 г.	0,5–3,0	0	–4,8	–9,8	–23,1
12.04.2009 г.	1–5	1–3	–2	–	–
26.04.2011 г.	25–30	15–20	15	–	–

Мы считаем, что на начальных этапах таяния снежного покрова на пашне чаще всего совместно проявляются два процесса – оплывание (на склонах круче $2-3^{\circ}$) и плоскостного смыва при ведущей роли первого. В таких случаях длина потоков достигает 40 м (18.04.92 г.), а мощность отложений в местах разгрузки – до 37 см. Скорость конжelifлюкции за 10–12 дней 1992 г. достигала 3,33 м/сут.

Выводы: 1) территория бассейна нижней Томи подвержена морозному пучению, морозному растрескиванию почвогрунтов; 2) строительство дорог, зданий,

мостов, распашка земель и т.д. изменяют характер распределения снежного покрова и растительности, что влияет на температуру и влажность почвогрунтов. В результате на автодорогах усиливается сезонное пучение, что сильно повышает стоимость содержания дорог; 3) при строительстве зданий при оттаивании грунтов оснований наблюдаются дополнительные осадки наибольшего значения достигают после первого цикла сезонного промерзания-оттаивания. Эти осадки могут привести к деформированию зданий, а по дан-

ным А.С. Курбатовой и др. [25], и к технологическим авариям; 4) на пашне увеличивается глубина промерзания почв, запаздывают сроки их оттаивания и прогрета до активных температур; на крупных пахотных массивах формируются очаги холода, способствующие общему выхолаживанию пашни и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суходровский В.Л., Гравис Г.Ф. Мерзлота и рельеф // Проблемы экзогенного рельефообразования. М., 1976. Кн. 1. С. 189–263.
2. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. М. : Недра, 1989. 454 с.
3. Сергеев Г.М. Инженерная геология. М. : Изд-во МГУ, 1978. 384 с.
4. Строкова Л.А. Состав и свойства покровных отложений Томского Приобья // Обский вестник. 1999. № 1–2. С. 122–127.
5. Научно-прикладной справочник по климату СССР. СПб. : Гидрометеоиздат, 1993. Сер. 3 : Многолетние данные. Вып. 20 : Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. С. 39–46.
6. Азьмука Т.И. Климат почв Среднего Приобья. Новосибирск : Наука, 1986. 120 с.
7. Ольховатенко В.Е., Рутман М.Г., Лазарев В.М. Опасные природные и техноприродные процессы на территории г. Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем. Томск : Печатная мануфактура, 2005. 152 с.
8. Гилчичинский Д.А. Сезонная криолитозона Западной Сибири. М. : Наука, 1986. 144 с.
9. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2007 г. Томск : Графика, 2008. 148 с.
10. Экологический мониторинг: Состояние окружающей среды Томской области в 2010 г. Томск : Оптимум, 2011. 144 с.
11. Климат Томска. Л. : Гидрометеоиздат, 1982. 176 с.
12. Пашнева Г.Е., Печень-Песенко О.Э. Влияние снежного покрова на гидротермический режим почв юга Томской области // Ледники и климат Сибири. Томск, 1987. С. 162–165.
13. Прогноз изменения природных условий Западной Сибири / под ред. А.И. Попова, В.Т. Трофимова. М. : Изд-во МГУ, 1988. 236 с.
14. Хмелев В.А., Панфилов В.П., Дюкарев А.Г. Генезис и физические свойства текстурно-дифференцированных почв. Новосибирск : Наука, 1988. 128 с.
15. Кнауф Р.В., Евсеева Н.С., Петров А.И. [и др.]. Рельеф как фактор развития водной эрозии почв // Вестник Томского государственного университета. Прил. № 3 (IV) : материалы науч. конф. «Проблемы геологии и географии Сибири». 2–4 апреля 2003 г. Томск, 2003. С. 58–60.
16. Качинский Н.А. Замерзание, размерзание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. М. : Наука и Просвещение, 1927. 168 с.
17. Ястремская З.И. Влияние снегонакопления на смыв почв в условиях юга Томской области // Ледники и климат Сибири. Томск, 1987. С. 186–187.
18. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Дюкарев Е.А. Температурный режим глубоководных почв Томь-Яйского междуречья // Современные проблемы генезиса, географии и картографии почв. Томск, 2011. С. 35–38.
19. Азьмука Т.И. Ресурсы климата // Природные ресурсы Томской области. Новосибирск : Наука, 1991. С. 83–102.
20. Евсеева Н.С. Современный морфолитогенез юго-востока Западно-Сибирской равнины. Томск : Изд-во НТЛ, 2009. 484 с.
21. Чигир В.Г. Управление основным тепловым режимом криогенных почв как основа их комплексной мелиорации и рационального использования // Криогенные почвы и их рациональное использование. М., 1977. С. 163–234.
22. Фурсов В.В. Деформации сезоннопромерзающего пучинистого грунта основания и его взаимодействие с фундаментами сооружений // Обский вестник. 1999. № 1–2. С. 64–68.
23. Баду Ю.Б. [и др.]. Геологические процессы и явления, обусловленные деятельностью поверхностных вод // Экзогеодинамика Западно-Сибирской плиты (пространственно-временные закономерности). М., 1986. С. 5–22.
24. Ершов Э.Д. Криолитогенез. М. : Недра, 1982. 211 с.
25. Курбатова А.С., Мягков С.М., Шныпариков А.Л. Природный риск для городов России. М. : НИИПИ экологии города, 1997. 240 с.

Статья представлена научной редакцией «Науки о Земле» 8 ноября 2011 г.