

УДК 624.131.544:551.311.2:627.141.1

ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В НИЗКОГОРЬЕ О. САХАЛИН КАК ФАКТОРЫ РИСКА ДЛЯ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ “САХАЛИН-2”

© 2008 г. Н. А. Казаков, Ю. В. Генсиоровский

Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН

Поступила в редакцию 11.02.2008 г.

В результате исследований последних лет установлено, что объемы и динамические характеристики снежных лавин, селевых потоков и оползней, а также характеристики русловых процессов на малых реках в низкогорье о. Сахалина достигают значений, присущих этим явлениям в высокогорье. Повторяемость периодов массового формирования катастрофических селей, оползней и сильных паводков составляет ~5 лет. Качественная оценка рисков от экзогенных геодинамических и русловых процессов для нефтегазопроводов, строящихся по проекту “Сахалин-2”, показывает, что вероятность их разрушения в результате воздействия экзогенных геодинамических и русловых процессов чрезвычайно высока. Поскольку в проектных решениях, принятых для строительства нефтегазопроводов при пересечении участков развития опасных геологических и гидрологических процессов не учитывается высокая интенсивность проявления природных процессов, необходимая степень защиты трубопроводов от их воздействия в должной мере не обеспечена. При выходе глубоких циклонов, сопровождающихся сильными осадками, каскадное и синергетическое воздействие селевых, оползневых и русловых процессов на трубопроводы приведет к одновременному их повреждению и разрушению в десятках мест. По предварительным оценкам, время существования нефтегазопроводов составит ~5–7 лет.

ВВЕДЕНИЕ

Из-за особенностей рельефа, климата и геологического строения о. Сахалина катастрофические природные процессы – снежные лавины, селевые потоки, оползни и русловые процессы – здесь более опасны для линейных сооружений, чем другие экзогенные и гидрометеорологические процессы в силу того обстоятельства, что они распространены гораздо шире, чем принято считать, а их характеристики и повторяемость близки к характеристикам процессов, развивающихся в высокогорье.

Поскольку воздействие рассматриваемых опасных процессов на линейные сооружения (в частности, на магистральные трубопроводы) носит ряд специфических особенностей, стоимость защитных мероприятий может быть снижена на ранних стадиях проектирования.

Как показывает практика, именно на ранних стадиях проектирования вследствие недоучета степени рисков от опасных природных процессов возникают системные ошибки в выборе трасс линейных сооружений, влекущие за собой либо необходимость применения дорогостоящих методов инженерной защиты, либо перетрассировку вследствие невозможности строительства или эксплуатации объекта.

При выборе трассы нефтегазопроводов по проекту “Сахалин-2” реальный уровень рисков от опасных геологических и гидрометеорологических процессов учтен не был.

ЛАВИННЫЕ, СЕЛЕВЫЕ, ОПОЛЗНЕВЫЕ И РУСЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ НА О. САХАЛИНЕ

Территория о. Сахалин – низкогорье. Абсолютные отметки рельефа не превышают 1600 м (в среднем 200–1000 м). Однако глубина расчленения рельефа достигает 500–1000 м, что позволяет относить его к альпинотипному. Зона развития лавинных, селевых и оползневых процессов захватывает всю высотную зону: от уровня моря до водоразделов (0–1600 м).

Площадная пораженность территории лавинными процессами о. Сахалин достигает 70%, селевыми – 50%, оползневыми – 70%. Высокая степень залесенности территории не препятствует развитию лавинных, селевых и оползневых процессов. Лес, способствуя снижению частоты формирования лавин, селей и оползней, не способен полностью исключить возможность их развития на склонах крутизной более 35° [2].

В отношении угрозы для населения и хозяйства от лавин, селевых потоков, оползней и русловых процессов Сахалинская область – один из

Таблица 1. Лавины экстремальных объемов, зарегистрированные на о. Сахалине в 1970–2007 гг.

Дата	Адрес	Объем, тыс. м ³	Даль- ность выбро- са, м	Абс. отметка, м		Заложе- ние, м	Линия отрыва лавины	
				линии отрыва лавины	нижней границы конуса выноса		длина, м	толщи- на, м
17–18.03.1970 г.	Сусунайский хребет, пик Чехова, р. Уюновка	500.0	2500	900	300	600	400	–
28–29.02.1972 г.	Сусунайский хребет, пик Чехова, р. Перевальная	120.0	2000	900	300	600	–	–
17.03.1981 г.	Сусунайский хребет, р. Уюновка	230.0	1900	850	300	550	330	4.0
03.01.1991 г.	Восточно-Сахалинские горы, Чамгинский пере- вал, гора Граничная	1400.0	3000	1300	500	800	500	4.0–6.0
09.01.2006 г.	р. Казачка, г. Невельск	18.0	600	200	5	195	100	2.0

самых опасных регионов России. В лавиноопасных, селеопасных и оползневых зонах находится более 50 населенных пунктов Сахалинской области и более 1000 км транспортных магистралей. Большая часть территории о. Сахалина находится в зонах затопления при паводках и половодье. Объемы и дальность выброса снежных лавин и селевых потоков в низкогорье о. Сахалин достигают значений, присущих лавинам и селям в районах высокогорья.

Лавинные процессы. Средние объемы лавин, формирующихся в низкогорье о. Сахалин, 0.5–10 тыс. м³, однако максимальные превышают 1.0 млн. м³ (табл. 1). Максимальный объем лавины, зарегистрированной в Восточно-Сахалинских горах 03.01.1991 г., составил 1.4 млн. м³ при дальности выброса до 3 км при высоте фронта до 70 м [6]. Высота фронта лавин, сошедших в районе горы Лопатина (Восточно-Сахалинские горы) в 2005 г., достигала 100 м.

Лавины больших объемов формируются в низкогорье о. Сахалина благодаря сочетанию следующих факторов лавинообразования:

- заложение лавиносборов, достигающее 500–1000 м;
- большое количество твердых осадков; зарегистрированные максимумы осадков за снегопад – 350 мм; суточный – 127 мм, часовой – 43 мм [3, 6];
- сильная перекристаллизация снежной толщи, которая играет ведущую роль в формировании катастрофических лавин.

Лавины объемом более 200 тыс. м³ сходят на Среднем Сахалине раз в 3–5 лет, на Южном Сахалине – раз в 5–7 лет.

Селевые процессы. На о. Сахалине формируются селевые потоки всех типов: грязекаменные, грязевые, наносоводные, водоснежные. Средние

объемы грязекаменных селей: 0.5–10 тыс. м³, максимальные – превышают 500 тыс. м³. Их дальность выброса достигает 16 км (табл. 2).

Грязекаменные сели больших объемов (см. табл. 2) формируются в низкогорье о. Сахалина благодаря сочетанию следующих факторов селеобразования [1, 3–5]:

- глубина расчленения рельефа, достигающая 500–1000 м;
- крутизна склонов водосборов селевых бассейнов и селевых русел, достигающая в верховьях 35–50°;
- большое количество жидких осадков: зарегистрированные максимумы осадков за циклон – 1200 мм; суточный – 230 мм, часовой – более 50 мм;
- состав горных пород территории: слабосцементированные алевриты, аргиллиты и песчаники (легко размываемые и размокаемые), насыщающие селевой поток глинистыми фракциями, в сочетании с прочными интрузивными, вулканогенными и метаморфическими породами, формирующими крупноглыбовую составляющую потоков.

Выделяется 2 основных класса селевых комплексов, в которых частота формирования селей и их объемы сильно различаются.

1. Склоны морских террас, сложенные преимущественно алевритами и аргиллитами. Формируются грязекаменные и грязевые сели. Объемы селевых потоков составляют 300–15000 м³. Дальность выброса селей – 0.3–2.0 км, высота селевой волны – до 3 м, плотность – 1.5–1.9 т/м³. Частота формирования селей – раз в 2–3 года.

2. Массивы интрузивных, вулканогенных и метаморфических пород, сложенные диоритовыми

Таблица 2. Грязекаменные сели экстремальных объемов, зарегистрированные на о. Сахалине в 1872–2007 гг.

Дата	Адрес	Объем, тыс. м ³	Даль- ность выброса, м	Абс. отметка, м		Заложе- ние, м	Толщина селевых отложе- ний, м
				верхней границы селевого очага	нижней границы конуса выноса		
сентябрь 1875 г.	гора Макарова, р. Пулька	500.0	4000	700	20	680	10.0
4–5.08.1981 г.	гора Макарова, р. Пулька	>300	4000	700	20	680	10.0
4–5.08.1981 г.	Западно-Сахалинские горы, гора Ледяная, р. Буюклинка	>300	10000	1200	70	1130	6.0
август 1872 г.	Сусунайский хребет, р. Рогатка	>500	12000	900	40	860	10.0
4–5.08.1981 г.	Сусунайский хребет, р. Рогатка	>300	8000	900	40	860	4.0
4–5.08.1981 г.	п-в Ламанон, гора Ичара, р. Вязовка	>200	9000	1000	20	980	2.0

порфиритами, андезитами, диоритами, дацитами, зеленокаменными сланцами и серпентинитами. Формируются грязекаменные потоки катастрофических объемов: более 550 тыс. м³. Дальность выброса селей достигает 16 км, высота селевой волны 12 м, плотность 2.0–2.1 т/м³. Частота формирования грязекаменных селей объемом до 100 тыс. м³ – в среднем 1 раз в 11–12 лет, объемом более 200 тыс. м³ – раз в 25–30 лет.

Необходимо отметить ряд особенностей селевого режима в низкогорье о. Сахалин:

- объемы и динамические характеристики катастрофических селей определяются геологическими (составом пород, слагающих потенциальные селевые массивы) и геоморфологическими факторами (морфометрическими характеристиками селевых бассейнов); гидрометеорологические факторы играют подчиненную роль;

- частота формирования селевых потоков зависит от скорости накопления продуктов выветривания в селевых очагах, т.е. от состава пород в очагах твердого питания селей и степени их предшествующего увлажнения; прямой зависимости между выпадением обильных осадков и формированием селевых потоков большого объема на Сахалине нет.

По результатам полевых исследований, проводившихся авторами в 1978–2007 гг., и анализа архивных материалов установлено, что грязекаменные селевые потоки объемом более 300 тыс. м³ формировались на Южном и Среднем Сахалине в 1875, 1924, 1928, 1947, 1954, 1964, 1970, 1981, 1992, 1993 гг., а количество периодов массового формирования селевых потоков за 133 года – не менее 46 (табл. 3).

Оползневые процессы на о. Сахалине развиваются преимущественно на породах верхнемелового, палеогенового и неогенового возраста. Площадная пораженность территории Среднего

и Южного Сахалина оползневыми процессами достигает 70%.

По механизму образования оползней, размеру и мощности оползневых тел на о. Сахалине выделяются 3 основных типа [7, 8]:

- оползни-оплывины – небольшие маломощные современные оползни, развивающиеся в водонасыщенных склоновых отложениях или на телах древних оползней;
- оползни течения, развивающиеся в покровных отложениях (протяженность от десятков до первых сотен метров);
- блоковые оползни мощностью от 8 до 30 м и более.

Объемы блоковых оползней и оползней течения могут превышать 1.0 млн. м³. Так, объем активного оползня-течения между п.п. Ильинский – Белинское (западное побережье) оценивается в 1.5–2.0 млн. м³ при мощности до 16 м, а объемы блоковых оползней на восточном побережье (Макаровский район) превышают 5.0 млн. м³ при толщине оползневого массива до 200 м.

Русловые процессы. Большая часть рек о. Сахалина относится к категории горных или полугорных. Большая часть водосборов бассейнов рек Сахалина лежит в интервале абсолютных высот 350–1200 м при глубине расчленения рельефа 250–1000 м. Реки имеют малую длину, большие уклоны русел и большие относительные высоты водосборов. Площади большинства речных бассейнов 1–15 км², длина водотоков 3–10 км; средневзвешенный уклон русла 40–60‰; максимальный уклон – более 100‰, уклоны водосборов малых рек могут достигать 500‰.

При выпадении сильных осадков или бурном снеготаянии время добегания паводочной волны очень мало, вследствие чего на этих реках наблюдается резкий и сильный подъем уровней воды. Так, на правых притоках р. Поронай за 3 часа

Таблица 3. Периоды сильных наводнений и массового формирования селевых потоков и оползней на Среднем и Южном Сахалине (в районах трассы нефтегазопроводов "Сахалин-2") в 1872–2007 гг.

№ п/п	Период	Максимальное количество осадков в долинах за явление (по ГМС), мм	№ п/п	Период	Максимальное количество осадков в долинах за явление (по ГМС), мм
1	Сентябрь 1875 г.	–	24	19.09.1954 г.	53
2	7–9.10.1899 г.	81	25	26–28.09.1954 г.	110
3	16–17.10.1899 г.	73	26	31.08–1.09.1955 г.	118
4	28–29.08.1913 г.	102	27	6–7.09.1961 г.	54
5	1–3.10.1917 г.	113	28	17–19.09.1961 г.	165
6	5–6.09.1919 г.	70	29	7–9.10.1961 г.	113
7	17–18.09.1919 г.	70	30	28–29.07.1962 г.	60
8	22–23.09.1919 г.	76	31	9–10.08.1962 г.	131
9	22–24.08.1924 г.	249	32	8–10.09.1962 г.	109
10	9–10.10.1928 г.	128	33	1–2.09.1963 г.	80
11	27–28.08.1931 г.	125	34	17–19.09.1963 г.	146
12	5.10.1932 г.	152	35	10–12.09.1965 г.	170
13	26–27.09.1935 г.	125	36	18–22.09.1965 г.	182
14	3–5.10.1936 г.	157	37	16–18.08.1970 г.	85
15	20–21.10.1936 г.	72	38	2–3.09.1970 г.	80
16	7–8.09.1941 г.	105	39	18–19.09.1970 г.	220
17	27–28.07.1942 г.	142	40	11–13.10.1972 г.	192
18	4–5.08.1944 г.	125	41	3–7.08.1981 г.	296
19	18–19.09.1944 г.	101	42	11–13.09.1982 г.	123.9
20	23–25.08.1946 г.	109	43	2–3.09.1992 г.	142
21	16–17.09.1947 г.	279	44	1–7.08.1993 г.	329
22	8–9.09.1954 г.	71	45	11–15.07.2002 г.	129
23	17–21.09.1954 г.	99	46	30.09–1.10.2003 г.	100

уровень воды в малых реках поднимается от 0.3 до 2.5–3.0 м.

На малых водотоках, имеющих узкие V-образные долины, сильное превышение реальных уровней воды над расчетными возникает из-за подпора воды, обусловленного закорчевыванием и перекрытием русла оползнями, сходящими с бортов долин, и снежными лавинами, формирующими лавинные дамбы.

Во время сильных паводков большое влияние на динамику русловых процессов оказывают карчеходы. При этом длина завалов и заломов может превысить 300 м. Такие явления в сочетании с морфологией речных долин служат причиной сильных смещений русел. Так, на правых притоках р. Поронай за сильный паводок плановые деформации русел достигают 1000–1500 м.

Во время паводков максимальные уровни стояния воды на малых реках поднимаются до 10.0 м, а ширина зеркала увеличивается с 2 до 300–2000 м. При этом расходы воды превышают

1700 м³/с, а скорости течения – 5.0 м/с. Так, максимальные расходы воды дождевых паводков на р. Макарова (площадь водосбора – 580 км²) в сентябре 1970 г. составили 652 м³/с (измеренный расход), а в августе 1981 г. – 1740 м³/с (по меткам высоких вод) при среднегодовом расходе ~30 м³/с (табл. 4), что сопоставимо с паводочными расходами воды такой реки, как р. Терек. Максимальные измеренные расходы воды следует признать сильно заниженными, поскольку во время прохождения сильных паводков гидрологические посты, как правило, разрушаются до наступления пика паводка.

Большие скорости потоков в сочетании с геологическим строением территории (легко размываемые породы, преимущественно алевролиты) приводят к сильному насыщению потоков твердой фракцией. В результате плотность паводковых потоков приближается к плотности несвязных селей, составляя по предварительным оценкам 1.1–1.2 т/м³, а их эродирующая способность

Таблица 4. Сравнительные характеристики меженных и экстремальных паводочных расходов и уровней рек Сахалина вдоль трассы трубопроводов “Сахалин-2”

Название реки	Ширина русла, м		Уровень, м		Расход воды, м ³ /с		Максимальная величина плановых деформаций русла за явление, м
	межень	паводок	межень	паводок	межень	паводок	
Буюклинка	10–15	200	0.5	7.0	1.50	>700	1000
Нижняя Матросовка	15–20	250	0.3	7.0	1.20	>700	1000
Леонидовка	15–20	300	0.5	10.0	3.50	>1000	1500
Макарова	15–30	300	0.5	7–8	6.50	1720	200
Рогатка	1–3	40	0.2	5	0.100	69.3	100

сильно превышает эродирующую способность водных потоков. Расчет характеристик таких потоков методами, принятыми в гидрологии, не вполне репрезентативен.

Осадки. Важнейший фактор, определяющий интенсивность развития оползневых, селевых, лавинных и русловых процессов, – количество и интенсивность осадков (табл. 5). Количество выпадающих в горах осадков сильно превышает значения осадков, регистрируемых на гидрометеорологических станциях (ГМС) [3].

Повторяемость выпадения сильных осадков на о. Сахалине высока (см. табл. 3, рис. 1). В такие периоды происходит массовое формирование селевых потоков и оползней и затопление территории.

КАЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА РИСКОВ ОТ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ БЕРЕГОВЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ПО ПРОЕКТУ “САХАЛИН-2”

Трасса береговых трубопроводов по проекту “Сахалин-2” проложена по территории, на которой активно развиваются опасные геологические и гидрологические процессы (рис. 2).

В зоне прохождения трассы магистральных трубопроводов в Макаровском, Поронайском и Смирныховском районах расположены полигоны, на которых Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института (ДВГИ) ДВО РАН проводит исследования снежного покрова, осадков, оползневых, лавинных, селевых и русловых процессов. Длительный ряд наблюдений (с 1978 г.), начатых до начала строительства нефтегазопроводов, позволяет сделать выводы как о динамике этих процессов, так и о ее изменениях в результате антропогенного воздействия на лавинные, селевые и т.д. комплексы во время строительства трубопроводов в 2003–2007 гг.

Высокая интенсивность проявления экзогенных геодинамических и русловых процессов на трассе трубопроводов обусловлена сочетанием физико-географических и геологических условий территории.

1. Несмотря на то, что территория, по которой проходит трасса трубопроводов – низкогорье (абсолютные отметки 200–1300 м), глубина расчленения рельефа велика (200–1000 м).

2. Территория в районах прохождения трассы сложена преимущественно легко размокаемыми слабосцементированными породами – алевролитами и аргиллитами.

3. На территории выпадает большое количество осадков при высокой интенсивности (за 2–3 сут в горах может выпасть более 1000 мм жидких осадков).

Таблица 5. Максимальное суточное количество осадков по гидрометеорологическим станциям вдоль трассы трубопроводов “Сахалин-2”

Гидрометеорологическая станция	Абсолютная высота станции, м	Год	Максимальное суточное количество осадков от дождя, мм
Онор	178	1904	110
Смирных	113	1951	118
Березняки (Буюклы)	80	1970	220
Матросово	160	1959	113
Гастелло	10	1970	221
Поронайск	2	1951	163
Макаров	38	1930	230
Взморье	10	1984	219
Долинск	43	1947	222
Южно-Сахалинск	22	1981	117



Рис. 1. Ход количества жидких осадков на Южном и Среднем Сахалине в 1897–2005 гг. по гидрометеорологическим станциям вдоль трассы трубопроводов "Сахалин-2".

На стадии выбора трассы трубопроводов сложные геологические и физико-географические условия территории не были учтены в необходимой мере. Высокий уровень рисков от воздействия на трубопроводы экзогенных геодинамических и русловых процессов был проигнорирован. Соответственно принятые проектные решения по выбору трассы и разработке мероприятий по обеспечению безопасности трубопроводов не смогли обеспечить требуемого уровня их защиты даже на период строительства. Возникшие при строительстве трубопроводов проблемы в значительной степени являются следствием проектных решений, принятых на стадии выбора трассы.

Трубопроводам угрожают следующие экзогенные геодинамические и гидрометеорологические опасные процессы.

Лавинные процессы. Общая протяженность лавиноопасных участков на трассе нефтегазопроводов более 21,5 км (без учета участков на подъездных путях к трассе). Объемы единовременных выносов лавин на трассе (долина р. Пулька; хребет Жданко) достигают 300 тыс. м³, высота фронта лавин превышает 20 м, толщина лавинных отложений достигает 10 м.

Ожидаемые последствия для трубопроводов. На участке 352–353 км (р. Пулька, левый приток р. Макарова) вероятно формирование ям выбивания и повреждение трубопроводов подземной прокладки.

В период ноябрь – май лавины представляют опасность для персонала, техники и легких наземных сооружений. Так, 28.02.2006 г. на подъезд-

ную дорогу к трассе между г. Макаровом и рр. Макарова, Сосновка, Солянка, Пулька сошла снежная лавина (толщина завала дороги 1,0 м).

Сход снежных лавин на строительные площадки и технические средства в период строительства повлечет за собой загрязнение водотоков (за счет разлива горюче-смазочных материалов и т.п.). Большая толща лавинных отложений затруднит или сделает на долгое время невозможным доступ к трубопроводам аварийных и эксплуатационных бригад. Для расчистки лавинных завалов потребуются доставка к местам аварий тяжелой техники.

При строительстве трубопроводов на многих лавиноопасных участках на склонах был вырублен лес, что привело к изменению характера проявления и динамики лавинных процессов. Так, в долине р. Пулька в 2006 г. был вырублен лес в нижней части лавиноопасного склона и подрезан склон. В результате чего сформировались условия для возникновения прыгающих лавин, увеличению их скорости и силы удара о днище долины по сравнению с теми значениями, которые были рассчитаны на основе материалов полевых изысканий.

Селевые процессы. Трасса нефтегазопроводов по проекту "Сахалин-2" подвергается воздействию селевых потоков всех типов: грязекаменных, грязевых, наносоводных и водоснежных. Общая протяженность селеопасных участков на трассе нефтегазопроводов около 20 км (без учета подъездных путей к трассе). Объемы единовременных селевых выносов достигают 500 тыс. м³, толщина селевых отложений на трассе 6–16 м,

глубина селевой эрозии 6.0–10.0 м. Высота селевых волн на трассе может превышать 6.0 м (долина р. Пулька и др.).

Наибольшую опасность селевые процессы представляют на следующих участках трассы нефтегазопроводов:

- 352–357 км (р. Пулька, левый приток р. Макарова; р. Солянка); трубопроводы на протяжении 3 км укладываются непосредственно в селевые отложения, толщина которых достигает 10 м и в селевое русло (рис. 3, 4), которое засыпано строительными грунтами и перекрыто автодорожной насыпью;

- 426–435 км (подножие хребта Жданко, ж.д. ст. Цапко); трасса на протяжении 9 км проложена по селевым отложениям, толщина которых достигает 4.0–16.0 м. Глубина селевой эрозии в старых селевых отложениях может достигать 16.0 м.

Ожидаемые последствия для трубопроводов. При сходе грязекаменных селей объемом более 70 тыс. м³ произойдет повреждение и разрушение трубопроводов подземной прокладки на протяжении нескольких километров. Большая толща селевых отложений затруднит или сделает невозможным доступ к трубопроводам аварийных и эксплуатационных бригад. Для персонала, техники и легких наземных сооружений селевые потоки представляют опасность, как в период строительства объекта, так и в период эксплуатации.

В проектной документации параметры селевых потоков занижены в несколько раз, несмотря на то, что в 1998–2004 гг. были проведены селевые изыскания с расчетами параметров селевых потоков, селевого режима и разработкой рекомендаций по защите трубопроводов.

Для защиты от воздействия селевых потоков нефтегазопроводы заглубляют в селевые отложения на глубину до 9 м. Однако эти решения не обеспечат защиты трубопроводов подземной прокладки от селевых потоков, поскольку при прохождении селевых потоков старые селевые отложения размываются и вовлекаются в селевой процесс. Размыв селевых отложений происходит здесь и во время сильных паводков.

На ряде участков после многочисленных перетрассировок трубопроводы из неселеопасных зон были перенесены в селеопасные (например, в долине р. Пулька).

Мониторинг селевых процессов во время строительства не проводится. Во время строительства в селевых комплексах произошли серьезные изменения (нарушение целостности дернового покрова, вырубка леса в селевых руслах, складирование строительных грунтов в селевых руслах и т.д.), что привело к изменению характеристик селевых комплексов и динамики селевых процессов. В результате воздействие селевых процессов

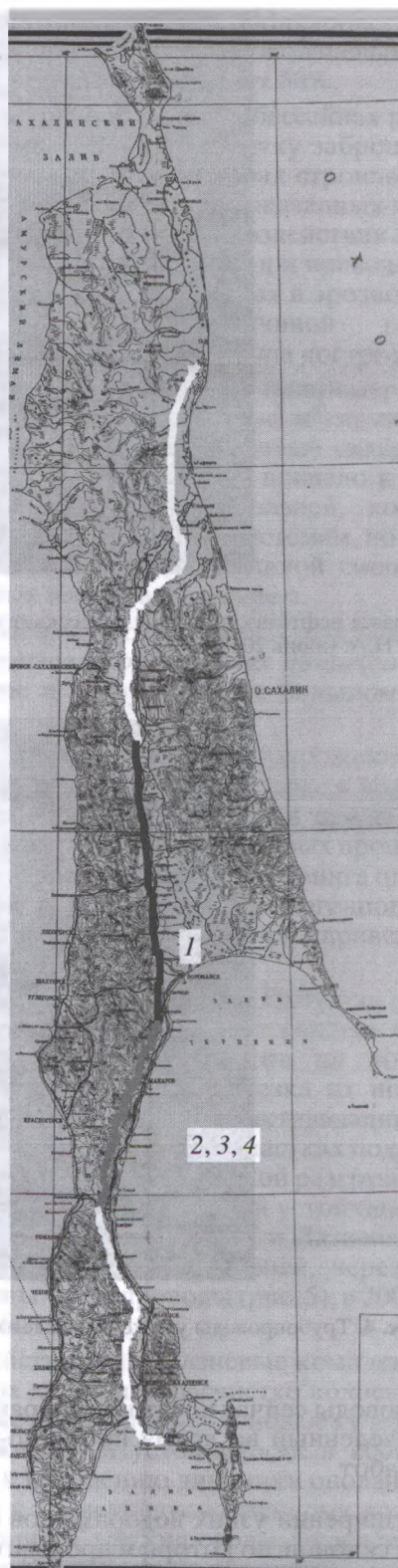


Рис. 2. Трасса трубопроводов по проекту "Сахалин-2". Участки преимущественного развития опасных экзогенных и русловых процессов, угрожающих трубопроводам: 1 – русловые деформации; 2 – селевые потоки; 3 – оползни; 4 – снежные лавины.



Рис. 3. Трасса нефтегазопроводов пересекает конус выноса грязекаменного селя (1981 г.) в долине р. Пулька. Фото Казакова Н.А. (июнь 2007 г.).



Рис. 4. Трубопроводы уложены в селевое русло (р. Пулька). Фото Генсиоровского Ю.В. (осень 2007 г.).

на трубопроводы сейчас носит иной характер, нежели определенный во время проектно-изыскательских работ.

При расширении узких водоразделов и выполаживании склонов, по которым проходит трасса, производится срезка и перемещение больших объемов грунтов (несколько миллионов кубометров). Например, на водоразделе рр. Можайка и Пулька объем таких грунтов составил не менее 1 млн. м³. В 2006–2007 гг. были отмечены многочисленные случаи складирования грунта (десятки тысяч кубометров) на склонах и в дни-

щах долин селеносных рек (Кармовая, Кринка, Можайка, Пулька и др.), что приведет к увеличению объемов, плотности и изменению структурно-реологических типов селевых потоков и повлечет за собой увеличение степени воздействия селей на автомобильную и железную дороги, расположенные ниже по течению.

В долине и русле р. Пулька сформирован антропогенный потенциальный селевой массив, обводнение которого приведет к формированию селевого потока и выносу в р. Макарова нескольких десятков тысяч кубометров грунтов. Выполнен-

ные гидротехнические мероприятия не только не уменьшают риск возникновения селевых и паводковых потоков, напротив, способствуют увеличению их повторяемости, объема и разрушительной силы.

Параметры временных водопропускных сооружений под полотном технологических автодорог повсеместно не соответствуют не только селевым, но и гидрологическим характеристикам водотоков, что даже при возникновении рядового паводка приведет к их разрушению и последующему формированию селевого потока.

Складирование отвалов грунта в поймах рек и на бортах долин привело к формированию антропогенных грязевых селей. Так, летом 2007 г. в бассейнах рр. Кринка и Лазовая из антропогенных грунтов сформировалось несколько грязевых селей небольшого объема (до 3 тыс. м³), которые прошли по руслам нескольких нерестовых водотоков и на протяжении 100–300 м перекрыли их селевыми отложениями толщиной до 1.2 м.

Оползневые и эрозионные процессы. Значительная часть трассы (преимущественно, в Макаровском и Долинском районах) проходит по оползневым участкам и на протяжении не менее 100 км подвержена воздействию эрозионных и других опасных инженерно-геологических процессов: линейной эрозии, плоскостного смыва, крипа, солифлюкции и др.

В зоне прохождения трассы нефтегазопроводов развиты процессы солифлюкции, оползни-оплывины, оползни течения мощностью до 7.5 м и блоковые оползни мощностью более 10.0 м, представляющие для трубопроводов серьезную опасность. На большинстве участков трассы оползни находятся в активной стадии и развития и способны увеличиться в размерах при подрезках склонов и землетрясениях.

В бассейнах рр. Лесная и Лазовая трасса проложена в районах развития миоценовых аргиллитов и алевролитов быковской свиты (мощностью 60–200 м), которые обладают крайне низкой степенью литификации и в водонасыщенном состоянии легко размокают (обломок алевролита диаметром 30–40 см полностью размокает за 10–15 ч, превращаясь в тугопластичные суглинки). При этом прочностные характеристики пород резко уменьшаются, и процесс образования оползней после начала подвижки лавинообразно ускоряется. Углы их естественного откоса в сухом состоянии составляют 32–35°, в увлажненном – 9–17°.

После уничтожения дернового покрова процесс их полного разрушения составляет от нескольких дней до 1 года и резко ускоряется при выпадении осадков.

Этими особенностями алевролитов и аргиллитов быковской свиты обусловлена высокая активность оползневых, эрозионных и других опас-

ных склоновых процессов в Макаровском районе, где пораженность склонов оползневыми процессами в зоне трассы достигает 50%.

Трасса трубопроводов в бассейнах рр. Лесная, Лазовая проложена по участку заброшенной автомобильной дороги, которая строилась в 1970–1980-х гг. Именно свойства указанных горных пород, разрушающихся при воздействии атмосферных осадков и грунтовых вод и приводящих к активному развитию склоновых и эрозионных процессов, послужили причиной того, что автомобильная дорога не была достроена.

Складирование грунтов (например, в Макаровском районе – десятки тыс. м³) на склоны крутизной более 15° на оползневые склоны и в отвершки эрозионных врезов привело к формированию антропогенных оползней, которые не только нанесли ущерб экосистемам, но и на некоторых участках стали причиной смещения уже уложенных нефтегазопроводов.

Ожидаемые последствия для трубопроводов от воздействия оползневых процессов – их повреждение и разрушение на большом протяжении.

При строительстве трубопроводов в 2003–2007 гг. произошли качественные и количественные изменения геологической среды, которые привели к активизации склоновых процессов. Отсутствие строительного мониторинга оползневых процессов и контроля антропогенного воздействия на оползневые комплексы привело к изменению их динамики.

На участках трассы от р. Нитуй до р. Красная применяемые методы строительства (складирование строительных грунтов на поверхности оползневых массивов, подрезка их подножий и пр.) повсеместно привели к активизации оползневых процессов. На многих участках подрезка подножий склонов стала причиной разгрузки подземных вод и изменения условий устойчивости склонов. В бассейнах рр. Лесная и Лазовая величина смещения некоторых оползней, через которые проложены трубопроводы (рис. 5), в 2007 г. составила 40–60 см.

Воздействие на оползневые комплексы и борта речных долин при расчистке полосы трассы и прокладке дорог вдоль склонов без учета условий их увлажнения и устойчивости в 2006–2007 гг. привело к изменению динамики оползневых процессов и к их непредусмотренному воздействию на строящиеся трубопроводы, экосистемы и социально-экономические объекты.

На участках прохождения трассы по крутым склонам активизация эрозионных процессов привела к размыву склонов и формированию оврагов.

В настоящее время на рр. Буюклинка, Кармовая, Кринка, Можайка, Лазовая, Лесная в резуль-

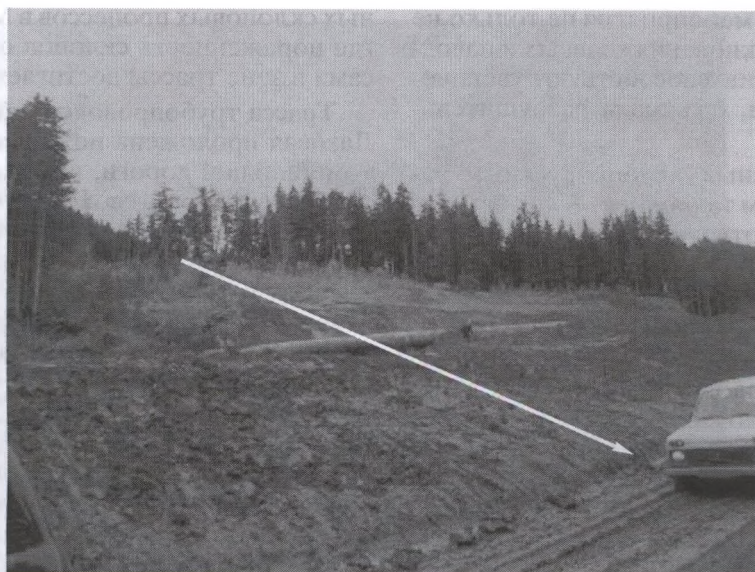


Рис. 5. Трубопроводы уложены в тело активного оползня. Бассейн р. Лесная. Фото Казакова Н.А. (июнь 2007 г.).

тате складирования строительных грунтов и подрезки склонов сформированы многочисленные антропогенные оползневые комплексы. Отмечены антропогенные оползни и оползни-потоки, движущиеся в долины рек и лесные массивы за пределы полосы землеотвода трассы нефтегазопроводов.

Повсеместно происходит активное размывание и смыв грунтов в русла рек, а применяемые экраны из геотекстиля и другие противоэрозионные мероприятия не обеспечивают стабилизацию грунтов и защиту водотоков от смыва взвешенных веществ.

Гидрологические и русловые процессы. Трасса нефтегазопроводов на своем протяжении пересекает более 1100 постоянных и временных водотоков. Несмотря на то, что большинство рек относится к категории малых, особенности их гидрологических характеристик, режима и характер русловых процессов, определяющие воздействие гидрологических процессов на инженерные сооружения, заставляют относить их к категории опасных водотоков.

Так, на реках, пересекаемых трассой нефтегазопроводов, ширина зеркала в межень составляет 1.0–15 м при глубине 0.3–1.5 м. При прохождении половодья и паводков ширина зеркала водотоков увеличивается с 10 до 2000 м, уровень стояния вод – до 10.0 м, а за явление величина плановых деформаций достигает 100–500 м, вертикальных – 3.0 м.

Наиболее опасными в отношении развития русловых процессов являются реки Пиленга, Славка, правые притоки р. Поронай (от р. Северная Хандаса до р. Леонидовка) и реки Макаров-

ского района (от р. Нитуй до р. Тихая). Расходы при прохождении паводков очень большие; отмечается 10-кратное превышение паводочных расходов воды над меженными.

Паводки 1970 и 1981 гг. в этом районе привели к затоплению населенных пунктов и многочисленным человеческим жертвам из-за резкого изменения русла рек.

Ожидаемые последствия для трубопроводов – их разрушение. Проектом предусмотрена подземная прокладка трубопроводов по всей протяженности трассы. Основным способом строительства переходов через водотоки принят траншейный. Только через 7 рек, определенных как самые уязвимые, переходы выполнены наклонно-направленным бурением.

Проектом предусмотрены следующие основные способы берегоукрепления: габионы матрацного типа; каменная наброска; маты типа “Енкамат”. На большинстве рек берегоукрепление за пределами полосы отвода (43 м) не предусмотрено, что в результате смещений русла приведет к размыву траншей трубопроводов.

Переходы через водотоки проектируются не по индивидуальным проектам (как это предусмотрено Российскими СНИПами для участков пересечения горных рек и участков проявления опасных природных процессов), а по типовым проектным решениям, которые зачастую не соответствуют критериям обеспечения защиты трубопроводов от русловых процессов.

Основное ошибочное решение, по нашему мнению, принятие типовых проектных решений на строительство переходов через реки с шириной зеркала в межень менее 10 м и на переходы

через малые реки сегмента 3 трассы нефтегазопроводов (водотоки от р. Нитуй до р. Тихая). Но именно для переходов через реки этого сегмента в заключении Государственной экологической экспертизы проекта говорилось: "Переходы через водные преграды в районе Макаровских гор являются уникальными объектами, строительство каждого из которых требует принципиального технического решения по каждому объекту".

Отметим несколько распространенных проектных решений для переходов нефтегазопроводов через речные долины, которые не смогут обеспечить защиты трубопроводов от повреждения (разрушения) вследствие воздействия русловых процессов:

1) заглубление трубопроводов ниже линии предельного размыва только под существующими руслами рек, тогда как заглубление трубопроводов по всей ширине поймы в зоне русловых деформаций не предусмотрено;

2) в руслах и поймах рек не предусмотрена противозрозионная защита грунтов обратной засыпки, но учитывая интенсивность гидрологических и русловых процессов на реках Сахалина, каменная наброска не обеспечит противозрозионной защиты траншей;

3) производится укладка труб на протяжении нескольких десятков (сотен) метров параллельно руслу реки на расстоянии 1–5 м от меженного русла (рр. Сосновка, Солянка, Пулька, Тауланка и др.), тогда как даже при небольших паводках размыв траншей будет проходить на протяжении сотен метров;

4) проходка траншей и укладка труб в русло реки на протяжении от нескольких сотен метров до 3 км (р. Пулька);

5) речные меандры пересекаются без учета ожидаемого естественного спрямления речного русла (рр. Сусуя, Пугачевка и др.).

На правых притоках р. Поронай (рр. Орловка, Ельная, Буюклинка, Матросовка Нижняя, Замысловатая, Леонидовка) выше трассы нефтегазопроводов наблюдается уход водотоков в аллювиально-пролювиальные отложения большой мощности (более 100 м) и формируется подрусловой сток. Но при прохождении даже небольших паводков происходят резкие подъемы уровней воды (от 0.2 до 3 м за 3 час дождя), в этих случаях можно ожидать:

- выдавливание трубопроводов к дневной поверхности вследствие неучтенного при проектировании бокового давления подруслового потока на трубопроводы подземной прокладки;

- фильтрацию поверхностных вод в аллювиальные отложения и прекращение поверхностного стока (при пересечении этих рек траншеями),

что в зимнее время может вызвать вымерзание и гибель биоты; такие случаи наблюдались в январе–феврале 2006 г. на переходах трубопроводов через реки Смирныховского района.

Поскольку не предусмотрено заглубление трубопроводов ниже линии предельного размыва на всем протяжении поймы, длина ожидаемого размыва траншей трубопроводов может составлять на отдельных сегментах трассы до сотен метров. Так, в поймах рр. Леонидовка, Замысловатая, Нитуй и др. длина зоны размыва траншей трубопроводов вследствие планового смещения русел и затопления пойм может достигать 1500–2000 м.

Принятые в проектных решениях значения скорости течения также сильно занижены. Например, максимальное значение скорости течения р. Макарова принято равным 3 м/с, а измеренное (в створе перехода трассы) 20.05.2006 г. составило 4.9 м/с.

Следует отметить, что полевое проектирование, практикуемое при строительстве нефтегазопроводов на участках перехода через реки, приводит к тому, что даже сильно заниженные (по сравнению с фактически наблюдаемыми) расчеты гидрологических процессов для створов переходов не могут использоваться, поскольку створы переходов сильно смещаются по сравнению с расчетными.

Вопросы, не исследовавшиеся при проектировании пересечения рек нефтегазопроводами:

1) максимальные значения уровней и расходов воды дождевых паводков на реках 2, 3 сегментов трассы, берущих начало в приводораздельной части Западно-Сахалинских гор (правые притоки р. Поронай, рр. Гастеловка, Горянка, Нитуй, Туровка, Марковка, Горная, Видная, Гарь, Кармовая, Кринка, Можайка, Пулька, Макарова, Солянка, Лесная и ее притоки, Лазовая и ее притоки, Мостовая, Травяная, Тихая, Фирсовка, Лиственница, Кирпичная), и уровней и расходов воды в половодье на реках 1, 2 сегментов трассы (р. Набиль и ее притоки, притоки р. Тымь) в несколько раз превышают расчетные значения;

2) максимальные уровни воды на малых водотоках сегмента 3 трассы нефтегазопроводов, имеющих узкие V-образные долины (рр. Видная, Гарь, Кармовая, Кринка, руч. Можайка, рр. Можайка, Пулька и др. малые водотоки) не соответствуют расчетным величинам (сильное превышение реальных уровней над расчетными наблюдается из-за возникновения подпоров воды вследствие закорчевывания русла и схода оползней с бортов долин, приводящих к возникновению дамб в руслах рек, и формирования паводочной волны при их прорыве);

3) при сильных осадках время добегания паводочной волны очень мало, вследствие чего на этих реках наблюдается резкий подъем уровней



Рис. 6. Карчеход на р. Буюклинка, разрушивший п. Березняки в августе 1981 г. ниже трассы нефтегазопроводов “Сахалин-2”. Фото из фондов Сахалинского краеведческого музея.

воды, а максимальные скорости течения на таких реках, как р. Макарова, по полевым оценкам превышают 5.0 м/с;

4) во время сильных паводков по рекам переносится большое количество карчей, которые забивают русло реки, образуют заломы и вызывают смещения русла; на реках 2 и 3 сегментов трассы нефтегазопроводов (Орловка, Ельная, Буюклинка, Нижняя Матросовка, Замысловатая, Леонидовка) возникают карчеходы, завалы и заломы протяженностью более 300 м. Так, в 2003 г. на р. Леонидовка (правый приток р. Поронай), пересекаемой трассой нефтегазопроводов, возник залом протяженностью 350 м, в результате чего основное русло реки сместилось на 700 м к северо-востоку.

При прохождении тайфунов “Оджин” и “Филис” 1–7 августа 1981 г. на перечисленных реках наблюдались карчеходы, послужившие одной из причин экстремального подъема уровней воды, повлекшего за собой затопление правой стороны долины р. Поронай, разрушение ряда населенных пунктов и многочисленные жертвы среди населения (рис. 6).

Анализ данных опросов местных жителей и неопубликованных материалов гидрологических исследований, выполнявшихся в начале 1970-х гг., показал, что русло р. Леонидовка в створе перехода трассы за последние 30 лет сместилось к северо-востоку на 600–700 м от своего положения, а в 2003–2005 гг. река вернулась в прежнее русло, сместившись к югу на 550 м.

Следствия. При проектировании в расчетах принимаются заниженные значения расчетных

уровней стояния вод, объемов стока и скорости течения воды и соответственно заниженные значения русловых деформаций.

Поскольку размыв бортов долины происходит выше расчетного уровня, а резкое увеличение скорости течения воды, насыщение потока грунтовым и древесным материалом (карчи) при прорыве завалов приводит к увеличению эродирующей способности потока, указанные ошибки влекут за собой превышение реальных значений донной и боковой эрозии над расчетными, размыв грунтов обратной засыпки над трубопроводами, их повреждение и разрушение.

Следует также отметить, что размещение строительных грунтов на затопляемых участках пойм в водоохраных зонах рек и в местах естественной разгрузки грунтовых вод повлекло за собой многократное увеличение мутности речных вод в нерестовых реках – как в паводки, так и в межень.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Уровень геологических и гидрологических рисков для береговых нефтегазопроводов по проекту “Сахалин-2” чрезвычайно высок. Общая протяженность участков развития опасных экзогенных геодинамических и русловых процессов составляет не менее 200 км.

Принятые компанией “Сахалин Энерджи Инвест Компани Лтд.” проектные решения по пересечению участков развития опасных экзогенных геодинамических и русловых процессов не обеспечат защиту трубопроводов. Так, вопреки

практике строительства сооружений инженерной защиты объектов, расположенных в зонах развития опасных природных процессов до или во время строительства самих объектов, для большинства участков пересечения трубопроводами участков проявления экзогенных геодинамических и гидрологических процессов проекты инженерной защиты не разработаны.

Каскадное и синергетическое воздействие геологических и гидрологических процессов на трубопроводы приведет к одновременному (в течение 1–3 сут) их повреждению/разрушению в десятках мест, которые восстановительные бригады не смогут устранить. В свою очередь, такое повреждение/разрушение нефтегазопроводов повлечет за собой и катастрофические последствия для окружающей среды и населения.

Оползни, селевые потоки, подъем уровней воды на реках и деформации их русел во время прохождения тайфунов “Оджин” и “Филлис” 1–7.08.1981 г. вызвали разрушение десятков километров автомобильных и железных дорог, мостов, населенных пунктов и многочисленные человеческие жертвы. Пос. Березняки, расположенный на р. Буюклинка ниже трассы трубопроводов, был полностью разрушен (см. рис. 6). Транспортное сообщение в пострадавших районах в полной мере было восстановлено только через несколько месяцев. За период 1875–2007 гг. средняя повторяемость таких явлений составила один раз в 3–5 лет (см. табл. 3, рис. 1).

Подобный сценарий возможен при выходе глубоких циклонов в теплый период года, когда трубопроводы в течение 1 сут могут быть одновременно повреждены (разрушены) в десятках мест в результате совокупного воздействия гидрологических, оползневых, селевых и эрозионных процессов. При этом доступ к трубопроводам для ликвидации аварий будет невозможен в течение длительного времени: от нескольких суток до нескольких недель.

Учитывая тот факт, что в Смирновском, Поронайском и Макаровском районах трасса трубопроводов пересекает речные долины и селевые русла выше автомобильных и железных дорог и населенных пунктов, следует ожидать, что при сильных паводках и при выходе глубоких циклонов воздействие опасных природных процессов на объекты инфраструктуры и население Сахалинской обл. будет усугубляться вследствие тех проектных решений, которые приняты при строительстве трубопроводов.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В низкогорье о. Сахалин объемы снежных лавин превышают 1 млн. м³, дальность выброса 3 км. Объемы грязекаменных селевых потоков

превышают 500 тыс. м³, дальность выброса 16 км. Объемы оползней могут превышать 2 млн. м³.

3. Лавины объемом более 200 тыс. м³ сходят на Среднем Сахалине раз в 3–5 лет, на Южном Сахалине – раз в 5–7 лет. Грязекаменные сели объемом до 200 тыс. м³ сходят на Среднем и Южном Сахалине раз в 10–12 лет, объемом более 200 тыс. м³ – раз в 15–20 лет.

5. В целом, в низкогорье лавинные и селевые процессы распространены гораздо шире, чем принято считать, а объемы лавин и селей достигают размеров, характерных для высокогорья.

6. Плановые деформации русла на малых реках о. Сахалин достигают 1500 м за паводок, вертикальные – 3.0 м.

7. Средняя повторяемость периодов выпадения сильных осадков, сопровождающихся сильными наводнениями и массовым формированием селей и оползней, составляет на Среднем и Южном Сахалине 5 лет.

8. По интенсивности лавинных, селевых, оползневых и русловых процессов низкогорье о. Сахалин относится к территории с высокой степенью риска, что должно учитываться при проектировании линейных сооружений.

9. Принятые компанией “Сахалин Энерджи Инвест Компани Лтд.” проектные решения по пересечению участков развития экзогенных геодинамических и русловых процессов не обеспечат защиту трубопроводов от воздействия селевых, оползневых и русловых процессов. Учитывая повторяемость периодов массового формирования селей, оползней и сильных паводков, вероятное время существования нефтегазопроводов по проекту “Сахалин-2” в бассейне р. Поронай и в Макаровском районе составит с момента постройки с 5–7 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Казаков Н.А. Сейсмогенные факторы селевого процесса в низкогорье (на примере о. Сахалин) // Геоэкология. 2007. № 1. С. 75–81.
2. Казаков Н.А. О формировании лавин в лесу // Матер. гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С. 192–197.
3. Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье // Геоэкология. 2007. № 4. С. 342–347.
4. Казаков Н.А., Генсиоровский Ю.В. Катастрофические селевые потоки в низкогорье о. Сахалина и их опасность для магистральных трубопроводов (на примере “Сахалин-2”) // Сб. матер. VII научно-практ. конф. “Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций”. М.: Антистихия, 2007. С. 58–60.

5. Казаков Н.А., Жируев С.П. Таксономические категории природных селевых комплексов (на примере о. Сахалин) // Матер. Шестой всерос. конф. "Оценка и управление природными рисками. (Риск -2006". М.: РУДН, 2006. С. 48–50.
6. Казаков Н.А., Окопный В.И., Жируев С.П., Генсировский Ю.В., Аникин В.А. Лавинный режим Во-
 сточно-Сахалинских гор // Матер. гляциологических исследований. 1999. Вып. 87. С. 211–215.
7. Полунин Г.В. Экзогенные геодинамические процессы гумидной зоны умеренного климата. М.: Наука, 1983. 249 с.
8. Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов. М.: Наука, 1989. 232 с.