



<https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-3-0436>

## INTENSIFICATION OF EXOGENOUS GEODYNAMIC PROCESSES IN AREAS WITH LARGE LINEAR OBJECTS, ASSOCIATED WITH CHANGES IN THE CHARACTERISTICS OF SOILS DISPLACED BY CONSTRUCTION AND OPERATION ACTIVITIES

Yu. V. Gensiorovsky<sup>1</sup>, N. N. Ukhova<sup>2</sup>, S. I. Shtel'makh<sup>2</sup>,  
N. N. Grin<sup>3</sup>, Yu. A. Stepnova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sakhalin Branch of Far East Geological Institute, Far East Branch of RAS, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia

<sup>3</sup> Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

**Abstract:** In the studied region, vast land areas are influenced by construction and operation of large linear facilities, such as oil-gas pipelines, power lines, motor roads and railways. In the areas along and inside the construction right-of-way zones, considerable changes occur in landscapes, microclimate conditions, hydrological features of water bodies, and geological engineering characteristics of the rocks. Furthermore, anthropogenic soil materials are produced. In our study, such materials are termed 'man-made / technogenic soils', which means the soil material displaced during stripping operations in the areas allocated for construction of linear objects, and the soil material resulting from coal mining and quarrying. The above-mentioned changes in the geological environment lead to intensive exogenous geodynamic processes (EGP) taking place during construction and in the first years of the object operation. In areas where such objects are located near and in residential areas, the EGP impact is observed in the zones that have been previously not at all influenced or only slightly affected by EGP. In our comprehensive study aimed at the assessment of the scale of the regional landslide and mudflow processes, the physical and chemical properties of technogenic soils were determined, their mineral and chemical composition was analyzed, and the levels of chemical contamination of the studied soils were estimated. The research results can be used in engineering-geological, construction, hydrometeorological surveys, as well as forecasting the development of EGP and their impact on the territory adjacent to the large linear objects.

**Key words:** landslide; mudflow; exogenous geodynamic processes; technogenic soil; chemical and mineral composition of soils; Sakhalin Island; clay mineral

Статья публикуется по материалам доклада, сделанного авторами на XII Российско-Монгольской международной конференции «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-Монгольского региона» (1–5 октября 2018 г., г. Иркутск)

### RESEARCH ARTICLE

**Received:** February 13, 2019

**Revised:** May 14, 2019

**Accepted:** July 2, 2019

**For citation:** Gensiorovsky Yu.V., Ukhova N.N., Shtel'makh S.I., Grin' N.N., Stepnova Yu.A., 2019. Intensification of exogenous geodynamic processes in areas with large linear objects, associated with changes in the characteristics of soils displaced by construction and operation activities. *Geodynamics & Tectonophysics* 10 (3), 697–714. doi:10.5800/GT-2019-10-3-0436.

# ИНТЕНСИФИКАЦИЯ РАЗВИТИЯ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В РАЙОНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ КРУПНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ, СВЯЗАННАЯ С ИЗМЕНЕНИЯМИ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВ

Ю. В. Генсировский<sup>1</sup>, Н. Н. Ухова<sup>2</sup>, С. И. Штельмах<sup>2</sup>,  
Н. Н. Гринь<sup>3</sup>, Ю. А. Степнова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН,  
Южно-Сахалинск, Россия

<sup>2</sup> Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>3</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**Аннотация:** Интенсификация хозяйственной деятельности, связанная со строительством и дальнейшей эксплуатацией крупных линейных объектов (нефтегазопроводы, линии ЛЭП, авто- и железные дороги), затрагивает обширные области вдоль полосы строительства. В данной полосе происходит изменение ландшафтов, рельефа, микроклимата, гидрологических характеристик водных объектов, инженерно-геологических характеристик горных пород, слагающих территорию, и образование техногенных грунтов. Под «техногенными грунтами» в работе понимаются перемещенные грунты, образовавшиеся в результате срезов при планировке территории под прокладку линейных объектов, и грунты, сформированные при разработке угольных шахт и карьеров. Эти изменения геологической среды приводят к интенсивному развитию экзогенных геодинамических процессов (ЭГП) во время строительства и в первые годы эксплуатации объекта. В районах, в которых такие объекты проходят по селитебным территориям, в зоне влияния ЭГП оказываются площади, ранее мало подверженные их влиянию. В рамках данного исследования выполнены комплексные работы по оценке масштабов развития оползневых и селевых процессов, определены параметры физико-химических свойств техногенноперемещенных грунтов, определен их минеральный и химический состав, оценен уровень химического загрязнения исследуемых грунтов. Результаты исследований могут применяться при инженерно-геологических, строительных, гидрометеорологических изысканиях, а также при составлении прогноза развития ЭГП и их влияния на территории, прилегающие к крупным линейным объектам.

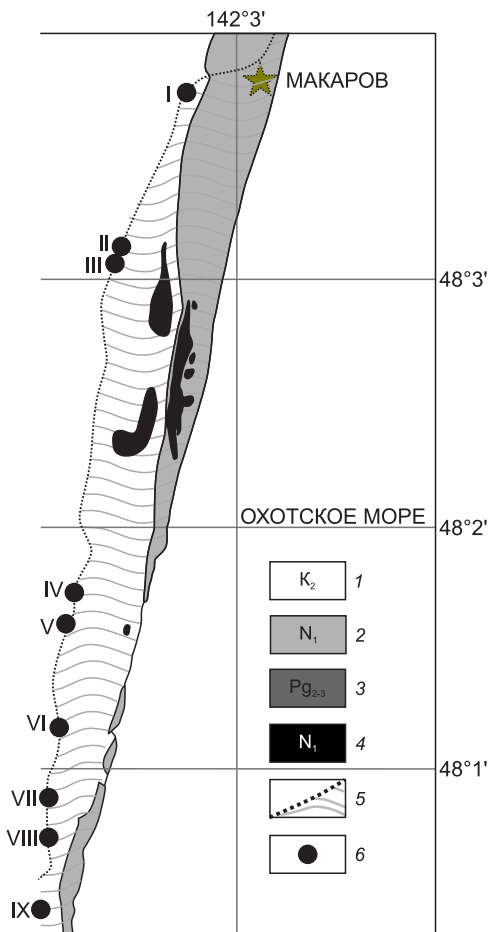
**Ключевые слова:** оползень; сель; экзогенные геодинамические процессы; техногенный грунт; химический и минеральный состав грунтов; о. Сахалин; глинистый минерал

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В рассматриваемом районе, в узком коридоре, ограниченном с восточной стороны заливом Терпения, с западной стороны – отрогами Западно-Сахалинских гор (рис. 1), проходят основные коммуникации, связывающие северные и центральные районы Сахалинской области с югом острова. Вдоль побережья следуют автомобильная и железная дороги. На расстоянии до 8 км в глубь острова вытянуты линии ЛЭП и трасса нефтегазопроводов проекта «Сахалин-2», в непосредственной близости к ним находятся линии оптоволоконной связи нескольких коммуникационных компаний. С учетом рельефа, все элементы системы находятся в сложном взаимодействии.

Исследуемая территория благоприятна для развития фактически всего спектра ЭГП (оползни, сели, плоскостная эрозия, суффозия, крип, речная глубинная и боковая эрозия) по комплексу инженерно-геологических, геоморфологических и гид-

рогеологических условий. Активное развитие ЭГП вызвано сочетанием природных и антропогенных факторов. К природным факторам относятся: геологическое строение, инженерно-геологические свойства горных пород, большое количество атмосферных осадков и уровни стояния грунтовых вод, что вызывает сильное обводнение грунтов. К антропогенным факторам относятся: отвалы грунтов, искусственно созданные во время добычи угля открытым и закрытым способом до середины 90-х годов XX века, а также отвалы грунта, сформированные при строительстве нефтегазопроводов «Сахалин-2»; обводнение массивов естественных и техногенных грунтов подземным стоком, перераспределенным при строительстве нефтегазопроводов «Сахалин-2», автодорог; сброс поверхностного стока с полосы отвода нефтегазопроводов «Сахалин-2», линий ЛЭП, автодорог на крутые, зачастую обезлесенные в результате строительства склоны, где до этого ЭГП были развиты незначительно.



**Рис. 1.** Геологическая карта-схема района исследований. 1 – меловая система, представленная алевролитами, аргиллитами, песчаниками, туфами; 2 – образования неогеновой системы, сложенные преимущественно алевролитами, аргиллитами с прослоями песчаников, с включениями гравелитов, конгломератов, песков, туфобрекчий; 3 – палеогеновая система, представленная песчаниками, алевролитами, аргиллитами, конгломератами; 4 – интрузивные породы неогеновой системы, представленные габбро-диоритами; 5 – зона влияния антропогенного воздействия; 6 – участки отбора проб.

**Fig. 1.** Geological map of the study area. Rock systems: 1 – Cretaceous (aleurolite, argillite, sandstone, tuff); 2 – Neogenic (mainly aleurolite, argillite interbedded with sandstone, with inclusions of gravelite, conglomerates, sand, tuff breccias); 3 – Paleogenic (sandstone, aleurolite, argillite, conglomerates). 4 – intrusive rocks of the Neogenic system (gabbro diorite); 5 – anthropogenic impact zone; 6 – sampling sites.

В работе рассматриваются основные процессы, которые наиболее угрожают непосредственно линейным объектам, а также инфраструктуре и населению рассматриваемого района.

## 2. РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Район исследований вытянут вдоль побережья зал. Терпения с севера на юг о. Сахалин (рис. 1). Северный край рассматриваемого участка представляет собой холмисто-волнистую наклонную равнину с предгорными шлейфами и комплексом морских и аллювиально-морских цокольных террас с абсолютной высотой до 200 м, глубиной расчленения рельефа до 40–60 м. Водоразделы преимущественно плоские, долины рек и ручьев – V-образные с крутыми (до 30°) бортами [Atlas..., 1967].

От р. Макарова на юг между береговыми хребтами и Камышовым хребтом расположены слабо-волнистые участки междуречий, на которых глубина расчленения редко превышает 20–40 м. Территория характеризуется в основном плоскими водоразделами и относительно пологими склонами,

и только для водоразделов рек Макарова-Лесная и Лесная-Лазовая рельефу присущи крутые склоны и острые гребни.

Крутосклонный, резко расчлененный горный рельеф развит в районах Макаровского хребта и хребта Жданко. Абсолютные высоты территории превышают 400–500 м, глубина расчленения может быть более 200 м [Atlas..., 1967; Lomtadze, 1976; Polunin, 1989].

**Климат.** Рассматриваемый район работ относится к Средне-Сахалинской горной климатической области, в которой отличительные особенности климата в основном определяются рельефом [Atlas..., 1967]. Среднегодовая температура воздуха составляет в Макарове 1.5 °С, во Взморье – 2.1 °С.

Среднегодовое количество осадков, по данным сети гидрометеорологических станций (ГМС), колеблется от 948 (ГМС Макаров) до 1014 мм (ГМС Взморье) [Kolodeev, Zhukova, 1976]. Наибольшее их количество приходится на теплый период, когда наблюдаются выходы глубоких циклонов и тайфунов (тропических циклонов), приносящих интенсивные ливневые дожди.

Зарегистрированные суточные максимумы осадков составляют: по ГМС «Макаров» – 230 мм, по ГМС «Взморье» – 106 мм [Gensiorovsky, 2011].



Такое количество осадков при их высокой интенсивности обуславливает высокую степень активности ЭГП [Kazakov et al., 2015]. За последние 15 лет на исследуемой территории отмечено восемь случаев массовой активизации ЭГП. Последний случай зафиксирован в сентябре 2018 г. Количество выпавших за сутки осадков составило 145 мм [Weather Schedule, 2019]. Выпадение такого количества осадков привело к активизации селей и оползней с их выходом на автомобильную и железную дороги, повреждением полотна и мостовых переходов, нарушением водоснабжения в г. Макарове.

Прогноз активизации ЭГП в весенне-летний период должен учитывать и количество влаги, накопленной в снежном покрове (в водном эквиваленте) в различных высотных зонах и ландшафтных выделах в районе исследований. Вертикальный градиент запаса воды в снежном покрове (водного эквивалента) в рассматриваемом районе составляет 70 мм/100 м [Kazakov, Gensiorovsky, 2007; Gensiorovsky, Kazakov, 2009b].

**Геологическое строение.** Горные породы, подверженные интенсивному формированию ЭГП на рассматриваемой территории, представлены двумя стратиграфо-генетическими комплексами.

К комплексу морских отложений нижнечетвертичного и верхнечетвертичного звена относятся образования аккумулятивного чехла высоких (80–120 и 150–200 м) морских террас.

Образования неогеновой системы, в которых выделено пять свит: холмская ( $N_1hl$ ), чеховская ( $N_1ch$ ), вехнедуйская ( $N_1vd$ ), курасийская ( $N_1kr$ ) и маруямская ( $N_{1-2mr}$ ), сложены преимущественно алевролитами, аргиллитами с прослоями песчаников [Geology of the USSR, 1972].

Палеогеновые отложения представлены чередующимися, преимущественно алевроито-глинистыми и песчано-конгломератовыми образованиями.

В эти отложения вклиниваются интрузивные массивы [Gensiorovsky, Kazakov, 2009a], сложенные диоритовыми порфиритами, андезитами и диоритами, и горные массивы палеозойского возраста, сложенные зеленокаменными сланцами и серпентинитами. Интрузивные породы (габбро-диориты) среднемиоценового возраста ( $\delta v N_1$ ) обнажаются в осевой части Макаровского хребта.

Меловая система представлена, главным образом, верхнемеловыми отложениями быковской свиты ( $K_2bk_3$ ), граничащими с неогеновыми, которые на большей части площади налегают на меловые с размывом и резким несогласием, местами граница с ними проходит по тектоническому разрыву.

Быковская свита состоит из характерных темносерых, а во влажном состоянии почти черных



**Рис. 2.** Обнажение коренных пород быковской свиты (средняя подсвита  $K_2bk_2$ ). Выветрелые алевролиты.

**Fig. 2.** Outcropped rocks of the Bykov formation (medium sub-suite  $K_2bk_2$ ). Weathered aleurolite (siltstone).

аргиллитов и алевролитов (рис. 2), с обильными мергелистыми конкрециями, с тонкими прослоями песчаников и с несколькими мощными пластами песчаника (до 10–20 м), являющимися характерными маркирующими горизонтами.

Комплекс преимущественно песчаных пород неогена имеет наибольшее распространение в пределах исследуемой территории и занимает до 60 % всей ее площади.

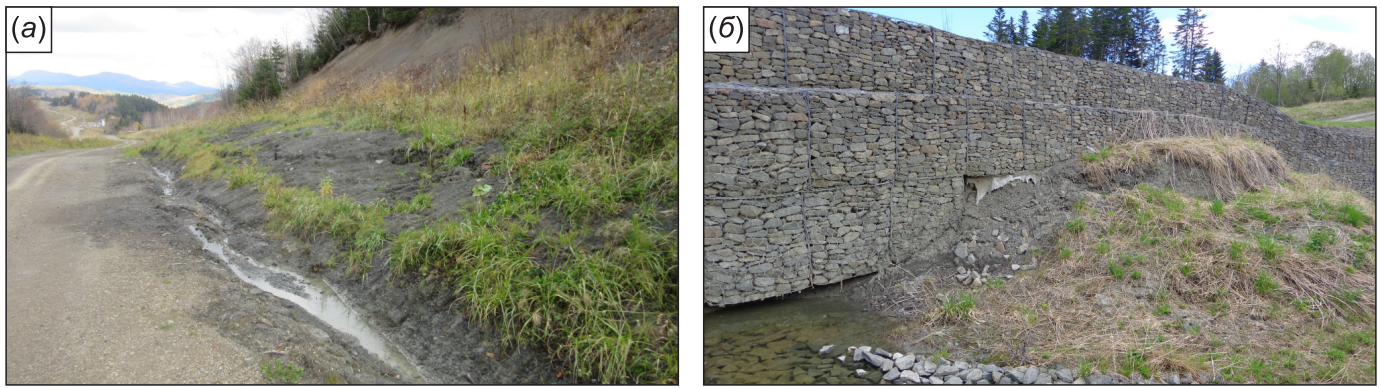
Четвертичная система представлена различными генетическими типами отложений. Средне- и верхнечетвертичные морские отложения ( $mQ_{II-III}$ ) развиты фрагментарно, слагают чехлы высоких морских террас. Мощность образований составляет от 2–4 до 25 м (рис. 3).

К отложениям верхнечетвертичного и современного звена относятся элювиальные ( $eQ_{III-IV}$ ),



**Рис. 3.** Обнажение морских отложений ( $mQ_{II-III}$ ) на высокой террасе в районе р. Кринка.

**Fig. 3.** Outcropped marine sediments ( $mQ_{II-III}$ ) on a high terrace near the Krinka river.



**Рис. 4.** Разгрузка подземных вод на водоразделе рек Лесная – Лазовая: (а) – выклинивание воды на участке срезки водораздела; (б) – разгрузка воды из-под габиона оползневой защиты.

**Fig. 4.** Groundwater discharge area at the watershed of the Lesnaya and Lazovaya rivers. (a) – water outcrop at the cross section of the watershed; (b) – water discharge from under a gabion installed for landslide mitigation purposes.

мощность 2.0–3.0 м, делювиально-пролювиальные ( $dpQ_{III-IV}$ ), мощность 0.3–4.0 м, аллювиальные ( $aQ_{III-IV}$ ), мощность 0.5–6.0 м и техногенные образования ( $tQ_{IV}$ ), мощность слоя 0.6–15.0 м.

По условиям залегания и характеру циркуляции в водовмещающих породах в районе представлены грунтовые поровые и пластово-поровые воды четвертичных отложений и трещинно-жильные воды водоносных комплексов неогеновых и меловых образований.

Водоносный комплекс меловых отложений быковской свиты приурочен к зонам разуплотнения и повышенной трещиноватости.

Следует отметить, что высокие уровни подземных вод комплекса сохраняются даже на водораздельных поверхностях (рис. 4).

К специфическим условиям района исследования относится наличие больших объемов техногенных грунтов, находящихся в разной степени уплотнения. Ориентировочный объем этих грунтов превышает несколько миллионов кубических метров. Примером может служить участок на водоразделе рек Можайка и Пулька. Только на этой территории при строительстве нефтегазопроводов проекта «Сахалин-2» в 2006–2008 гг. было перемещено не менее 1000000 м<sup>3</sup> грунта [Gensiorovsky, Kazakov, 2009b]. Кроме этих грунтов есть и более ранние техногенные грунты, которые формировались при работе шахты «Макаровская» до 1991 г. и при разработке поля этой шахты открытым способом в 1993–2003 гг. К югу от этого участка отвалы техногенных грунтов формировались во время строительства автодороги с. Поречье – с. Пугачево. Таким образом, в рассматриваемом районе сформировались участки, на которых находятся грунты со специфическими особенностями, к которым относятся: неоднородность по составу, неравномерная

сжимаемость, возможность самоуплотнения от собственного веса и под действием внешних источников, склонность к длительным изменениям структуры и свойств во времени [Gensiorovsky, Kazakov, 2009b]. В целом природные условия района благоприятны для развития ЭГП.

Основными ЭГП, представляющими опасность для населения и инфраструктурных объектов, в данном районе являются селевые и оползневые. Данные процессы тесно связаны друг другом, и зачастую сошедший оползень переходит в селевой поток, а сходящий сель эродировывает склон долины водотока и вызывает активизацию оползней, которые насыщают селевой поток грунтово-древесной составляющей.

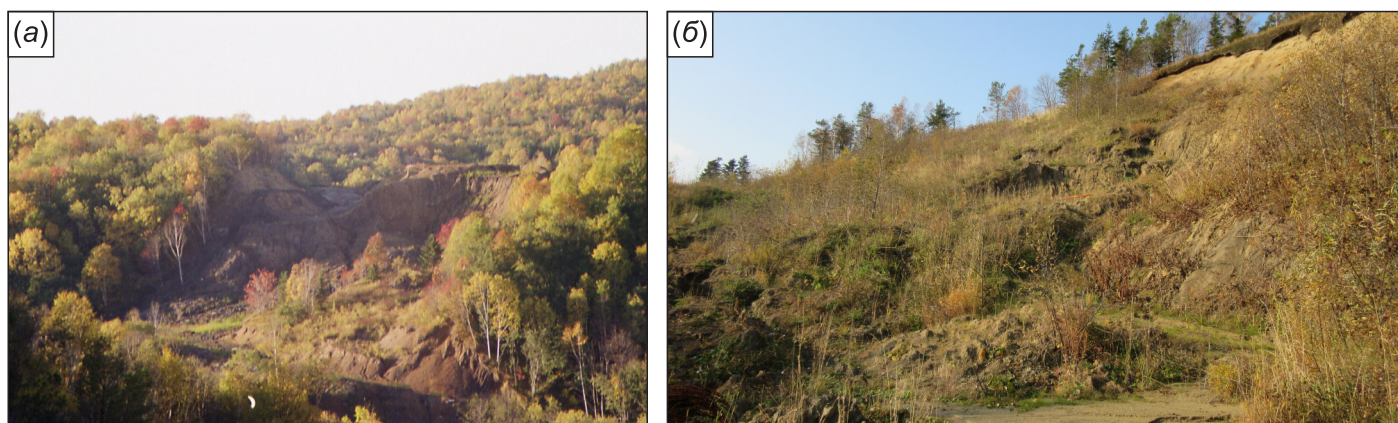
Оползни широко распространены на исследуемой территории, как в прибрежной части, так и в глубине рассматриваемого района.

На Сахалине Г.В. Полуниным в зависимости от геологических условий было выделено 40 типов оползней, характерных для определенных литологических комплексов [Polunin, 1989]. Для оценки оползневой ситуации на территории населенных пунктов и вдоль автомобильных, железных дорог специалистами лаборатории лавинных и селевых процессов Сахалинского филиала ДВГИ ДВО РАН было выделено четыре основных типа оползней [Lobkina et al., 2013].

Для рассматриваемой территории характерны два основных типа оползней:

Оползни-оплывины развиты в делювиальных отложениях – это небольшие маломощные современные оползни которые, развиваются в водонасыщенных склоновых отложениях или на телах древних оползней. Имеют наибольшее распространение в районе исследований, широко развиты на склонах крутизной 20–45°. Размеры таких





**Рис. 5.** Оползневые процессы в Макаровском районе о. Сахалин: (а) – оползень-поток, сформировавшийся на отвале пустой породы угольного карьера. Правый борт р. Кринка. 2004 г.; (б) – вторичный оползень на том же участке, сформировавшийся после пригрузки тела оползня-потока 2004 г, отвалом породы, вывезенной с полосы отвода трассы нефтегазопроводов «Сахалин-2» 2017 г.

**Fig. 5.** Landslide processes in the Makarov district, Sakhalin Island: (a) – landslide in 2014. It formed on waste rock from a coal mine. Right side of the Krinka river; (б) – secondary landslide in 2017. It occurred on the same site after the 2004 landslide body was loaded down with waste rock taken from the Sakhalin-2 oil-gas pipeline RoW.

оползней небольшие, как правило, не превышают первых десятков, реже – сотен квадратных метров, а объемы – 3000 м<sup>3</sup>. Поверхность скольжения определяется кровлей коренных пород. Глубина захвата пород обычно не превышает 1.5–3.0 м.

*Оползни-потоки* (глетчерообразные оползни) имеют широкое распространение на о. Сахалин. Наиболее интенсивно они развиты в слаболитифицированных песчано-глинистых породах; глубина захвата пород 5.0–40.0 м; объем – от 50 до 300 тыс. м<sup>3</sup>. Формируются как на старых породных отвалах техногенных грунтов, образованных при строительстве трубопроводов «Сахалин-2», угольных карьеров (рис. 5), автомобильной дороги, так и на естественных склонах. По структуре оползневого склона и положению поверхности смещения горных пород выделяются асеквентные и консеквентные оползни. Породы оползневых тел могут иметь нарушенное и ненарушенное сложение.

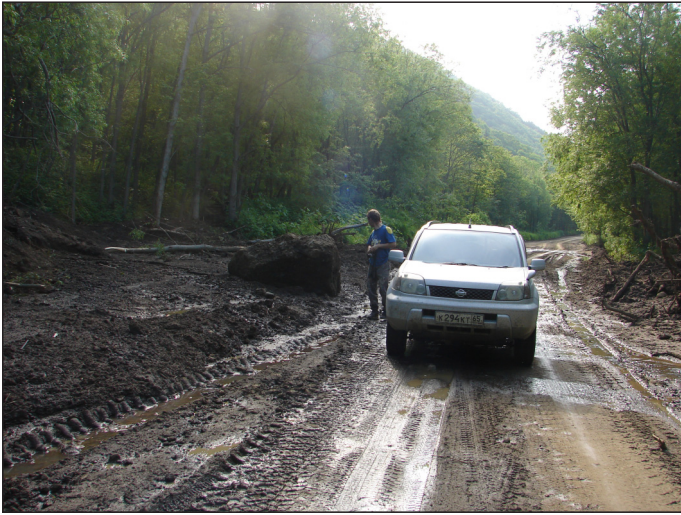
*Сели.* Селеобразующие породы на исследуемой территории в основном представлены тремя стратиграфо-генетическими комплексами:

1. Комплекс морских отложений нижнечетвертичного–верхнечетвертичного звена, литологический состав которого представлен супесями (от пластичных до твердых) и суглинками (от твердых до текучепластичных), реже песками и гравийно-галечниками.

2. Комплекс преимущественно песчаных пород неогена (маруямская, курасийская свиты), представленный слабопрочными мелкозернистыми песчаниками и алевrolитами. В эти отложения вклиниваются интрузивные породы, представлен-

ные на территории района гранитами, диоритами и дацитами [Gensiorovsky, 2011]. Грязевые сели распространены на склонах морских террас. Грязекаменные сели отмечаются по руслам постоянных водотоков [Budarina et al., 1987]. Их твердая составляющая состоит преимущественно из песчано-глинистого материала (до 70–75 %) количество дресвы и щебня составляет до 15–20 %, с незначительным включением валунов (до 5 %). Область питания селей обычно совпадает с областью транзита и приурочена к нижним и средним течениям водотоков. Разгрузка селевых потоков происходит у подножья морской террасы и в долинах рек в виде конусов выноса [Kazakov, Zhukova, 1990] (рис. 6). Максимальная мощность селевых отложений может превышать 5 м, а максимальный объем конусов выноса – достигать 100 тыс. м<sup>3</sup> [Polunin, 1989; Gensiorovsky, Kazakov, 2009b]. Селеопасный период – с апреля по ноябрь; периодичность проявления селей – 1 раз в 3–5 лет; 1 раз в 5–7 лет происходит массовое формирование селей [Gensiorovsky, 2011].

3. Комплекс техногенных грунтов, представленный значительным количеством техногенных грунтов с включением остатков древесной растительности, находящихся в породных отвалах. Обводнение этих массивов способствует формированию крупных оползней-потоков с большой дальностью пробега. При попадании в русла водотоков оползневые массы трансформируются в сели (рис. 7), которые выходят к автомобильной и железной дорогам, повреждают и блокируют проезд по ним, повреждают линии связи и угрожают объектам жизнеобеспечения в населенных пунктах.



**Рис. 6.** Конус выноса грязекаменного селя в бас. р. Лесной. Июнь 2009.

**Fig. 6.** Mudflow cone in the Lesnaya river basin. June 2009.

### 3. ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Во время полевых работ по оценке ЭГП в 2017 г. сотрудниками лаборатории селей и лавинных процессов ДВГИ РАН были отобраны образцы техногенноперемещенных грунтов из шурфов глубиной 0.5–1.0 м вдоль трассы нефтегазопровода в Макаровском районе о. Сахалин. Соответствие шифра проб номерам участков отбора, обозначенных на геологической карте-схеме района исследований (см. рис. 2), представлено в табл. 1.

Образцы представлены глинистым и песчано-суглинистым материалом желто-коричневого и желто-серого цвета, отмечено наличие растительных остатков; для образцов № 910, 912 – значительное количество дресвы и гравия, для образца № 914 – реакция с 5%-ной соляной кислотой.

### 4. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Работы по исследованию процессов, рассматриваемых в данной статье, разделены на два этапа: полевой и камеральный. Полевые работы проводятся на исследуемом участке с 2004 по 2018 г. Для описания ЭГП использовались методики, принятые при их мониторинге [Sheko, 1971, 1999; Sheko et al., 1975; Sheko, Grechishcheva; 1988]. В 2004–2016 гг. ведомственными организациями выполнялись работы по исследованию физико-механических свойств грунтов согласно требованиям при проведении инженерно-геологических изысканий. Для расчета увлажнения территории использовалась методика, предложенная в работе [Gensiorovskiy,

2011]. Во время полевых работ в 2017 г. были отобраны образцы грунтов для определения физико-механического, минерального и химического состава. Такое комплексное исследование грунтов для этой территории было выполнено впервые. Задача исследования состояла в том, чтобы провести «расширенные» исследования [Ryashchenko, Ukhova, 2008; Ryashchenko, 2010; Ryashchenko et al., 2014] и получить дополнительную информацию о составе и свойствах грунтов, вовлеченных в оползневые и селевые процессы.

**Физико-механические свойства.** Параметры физического состояния, прочностные свойства грунтов, а также их гранулометрический состав были определены в лаборатории по изучению состава и физико-механических свойств горных пород Научно-исследовательского и проектного института геологии, инженерных изысканий и экологии (НИИПИ ГИИиЭ) ИРНТУ по стандартным методикам: ГОСТ 25100-2011 «Грунты. Классификация», ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» (п.п. 5, 7, 8, 12, 13), ГОСТ 12536-2014 «Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава» (п.п. 4.2, 4.3, 4.5), ГОСТ 12248-2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости», п. 5.1. Испытания на одноплоскостной срез проводились по схеме консолидированно-дренированного испытания (схема «медленного сдвига»).



**Рис. 7.** Конус выноса грязевого селевого потока, сформировавшегося в результате схода оползня с отвала техногенных грунтов проекта «Сахалин-2». Бас. р. Солянка. 25 июня 2009 г.

**Fig. 7.** Mudflow cone resulting from the landslide of technogenic soils from the Sakhalin-2 project. Solyanka river basin. June 25, 2009.



Т а б л и ц а 1. Соответствие шифра лабораторных проб номерам участков, обозначенных на геологической карте-схеме района исследований (см. рис. 1)

Table 1. Codes of laboratory samples, and their correspondence to the numbers of sites shown in the geological map of the study area (see Fig. 1)

№ п/п	Лабораторный шифр образца	№ геологического участка	Глубина отбора образца, м
1	910	II	0.3
2	911	V	0.5
3	912	XI	1.0
4	913	I	0.5
5	914	VI	0.5
6	915	III	0.8

**Минеральный состав.** Минеральный состав исследуемых селевых отложений был определен методом порошковой дифракции на дифрактометре ДРОН-3 в Центре коллективного пользования (ЦКП) «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН. Условия съемки: аппарат ДРОН-3.0, излучение – Cu K $\alpha$ , Ni – фильтр, V=25 кВ, I=20 мА, угловой диапазон: 3 – 55° – 2 $\theta$  со скоростью измерения – 1°/мин. Рентгенограмма идентифицирована с помощью программы поиска фаз *DiffraCplus*, PDF-2, 2007 г. Для определения глинистой составляющей образец был исследован методом «ориентированных препаратов» со специальной пробоподготовкой: проба истерта в дистиллированной воде резиновым пестиком, осаждена на предметное стекло и высушена при комнатной температуре (BC), насыщена этиленгликолем (ЭГ) и прокалена при 550 °C (T). Для полного анализа было проведено четыре съемки для каждого образца.

**Химический и микроэлементный состав.** Определение химического состава оползневых отложений (содержание породообразующих элементов в оксидной форме) проводилось методом силикатного анализа по схеме, разработанной в ЦКП «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН согласно инструкциям ВИМС (Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского) [Revenko, 2014; Ryashchenko, Ukhova, 2008]. Были рассчитаны геохимические коэффициенты (табл. 2). Коэффициенты кремнекис-

лый (Ki), основной (BA) и зрелости (Kz) рассматриваются как суммарные показатели химической зрелости отложений. Коэффициенты карбонатности (Kk) и щелочной коэффициент (Kh) показывают соответственно отношение содержания оксидов кальция и магния, калия и натрия; коэффициент окисления (Ko) характеризует интенсивность окислительных процессов (FeO/Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). При обработке данных использовались программы «Стандартная статистика» и «Кластерный анализ R-типа и Q-типа» [Lukashev, 1972; Ryashchenko, Ukhova, 2008; Sklyarov et al., 2001].

Концентрации микроэлементов определялись на спектрометре S8 TIGER (Германия, фирма Брукер) [Revenko, 2014]. В данной работе рассмотрены содержания токсичных элементов и тяжелых металлов (S, F, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As), выполнена оценка уровня химического загрязнения исследуемых грунтов и рассчитан коэффициент суммарного загрязнения (Zc), отражающий эффект воздействия этих элементов. Расчет был выполнен по формуле:

$$Zc = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n - 1), \quad (1)$$

где  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -элемента в образце, равный для S, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb и As отношению концентрации токсичного элемента к предельно допустимым концентрациям (ПДК) [Hygiene Standards..., 2006; Grebenshchikova et al., 2008; Kitaev,

Т а б л и ц а 2. Формулы геохимических коэффициентов

Table 2. Equations of geochemical coefficients

Коэффициенты	Формулы
Кремнекислый	Ki=SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Зрелости	Kz=Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /Na <sub>2</sub> O
Основной	BA=(CaO+K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O)/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Щелочной	Kh=K <sub>2</sub> O/Na <sub>2</sub> O
Карбонатный	Kk=CaO/MgO
Окисления	Ko=FeO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>



*Grebenshchikova, 2014*], для  $F$  – отношению его содержания к ОДК (относительно допустимые концентрации) [*Konarbaeva, Yakimenko, 2012*], для  $Co$  – отношению концентрации кобальта к кларку в почвах [*Vinogradov, 1957*];  $n=9$  – число учитываемых элементов (S, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, As, F и Co) [*Poryadin, Khovansky, 1996*].

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИТИЧЕСКОГО БЛОКА

### 5.1. ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

Данные о современном состоянии оползневых отложений представлены в таблице 3.

Согласно полученным результатам исследуемые грунты по числу пластичности были отнесены к тяжелым суглинкам (пылеватой и песчанистой разновидности) и один образец № 910 – глина легкая, пылеватая, дресвяная. К особенностям данных образцов по гранулометрическому составу можно отнести их высокую пылеватость – содержание пылеватых фракций изменяется в пределах от 25.2 % (№ 910) до 67.0 % (№ 915). При этом образцы имеют число пластичности 12.6–17.8 % и небольшие значения показателя текучести при степени влажности, близкой или равной 1 (табл. 3). Образцы № 910 и 912 содержат значительное количество дресвы и щебня – до 42.1 %, что позволяет отнести их к продуктам коры выветривания материнских пород. Образец № 914 отличается высоким содержанием тонко-мелкопесчаной (27.1 % + 32.4 %) и пылеватой (25.9 % + 10.8 %) фракций, малым количеством глинистой (2.8 %) фракции и поэтому сравнительно более высокими значениями пределов пластичности (табл. 3). Для всех образцов характерна высокая степень влажности  $S_r$  0.97–1.00 д.ед.

Изучение прочностных свойств грунтов в данном случае было выполнено для образцов № 910 и 913 (рис. 8). Испытания на одноплоскостной срез проводились при природной плотности и влажности, что, в свою очередь, дает нам возможность оценить величину сцепления грунта и угол внутреннего трения при природном сложении толщи. При анализе графиков испытаний на срез становится очевидным, что один из образцов (глина полутвердая дресвяная) не обладает сцеплением ( $C=0$  кПа), по-видимому, вследствие неоднородного гранулометрического состава (преобладают (>50 %) крупнообломочная и крупнопесчаная фракции размером >1 мм). Для второго образца (суглинок полутвердый) характерно сцепление ( $C=16$  кПа) и достаточно высокий угол внутреннего трения, величина которого определяется преимущественно пылеватым составом грунта (33.5 % + 27.4 %).

### 5.2. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ

Методом РСА было исследовано пять образцов и получены записи рентгенограмм – дифрактограммы. Для примера на рисунке 9 представлена дифрактограмма образца 911 (лабораторный номер С-2). В результате расшифровки дифрактограмм был определен фазовый состав исследованных отложений (табл. 4).

Минеральный состав изученных отложений представлен кварцем, полевым шпатом и глинистыми минералами. Можно отметить однородность минерального состава этих образцов: во всех исследуемых образцах присутствуют глинистые минералы (ГМ) в количестве 20–40 %; в их состав входят гидрослюда, смектит, каолинит и смешанослойные минералы в разных комбинациях (гидрослюда-смектит, гидрослюда-хлорит). Исключение составляет образец № 914, который состоит из кальцита (40 %), незначительных количеств кварца и полевого шпата и глинистого минерала – смектита (35 %).

Присутствие значительного количества глинистых минералов (20–36 %) и их разновидностей объясняет способность грунтовой толщи при взаимодействии с водой (снеговые талые воды и ливневые осадки) образовывать разжиженную глинистую массу, которая может передвигаться по склону, вызывая активизацию оползневых процессов.

Смектиты, гидрослюды и смешанослойные минералы, которые входят в состав глинистой фракции изучаемых грунтов, способны поглощать значительное количество воды. Эти минералы имеют слоистое строение, подвижную кристаллическую решетку – «пакеты» с чередующимися кристаллическими решетками и участвуют в формировании структурных связей. В зависимости от количественного соотношения смектита, гидрослюды и видов смешанослойных минералов в составе глинистой фракции грунтов будут изменяться показатели набухания, гидрофильности, пластичности, прочности и деформируемости грунтов [*Ryashchenko, 2006; Ryashchenko, Ukhova, 2008; Khmelevtsev, 2014*].

### 5.3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

В таблицах 5 и 6 приведены результаты определения химического состава исследуемых отложений – содержание порообразующих элементов в оксидной форме (%), тяжелых металлов и токсичных элементов (ppm).

Анализ содержания порообразующих элементов показал, что в целом данные грунты имеют однородный химический состав:  $SiO_2$  – 63.27–64.67 %,

Таблица 3. Результаты гранулометрического состава и физико-механических свойств грунтов  
 Table 3. Particle size distribution, and physico-mechanical properties of soils

№	Наименование грунта (лабораторное)										
	Галька, щебень	Гравий, дресва	Песок	Пыль, глина			Наименование грунта (лабораторное)				
	200-10	10.0-2.0	2.0-1.0	1.0-0.5	0.5-0.25	0.25-0.1	0.10-0.05	0.05-0.01	0.010-0.002	<0.002	
910	3.2	36.3	20.2	0.0	0.0	1.0	4.2	13.9	11.3	9.9	Глина легкая пылеватая полутвердая дресвяная
911											Алеврит
912	0.9	41.2	16.7	0.0	0.0	0.7	4.3	12.8	12.7	10.7	Суглинок тяжелый пылеватый твердый дресвяный
913	0.6	1.2	0.6	0.0	0.3	1.8	8.6	33.5	27.4	26.0	Суглинок тяжелый пылеватый полутвердый
914				0.1	0.9	27.1	32.4	25.9	10.8	2.8	Суглинок тяжелый песчанистый твердый
915				0.1	0.4	0.2	27.1	39.9	32.3		Суглинок тяжелый пылеватый твердый

О к о н ч а н и е т а б л и ц ы 3

E n d o f T a b l e 3

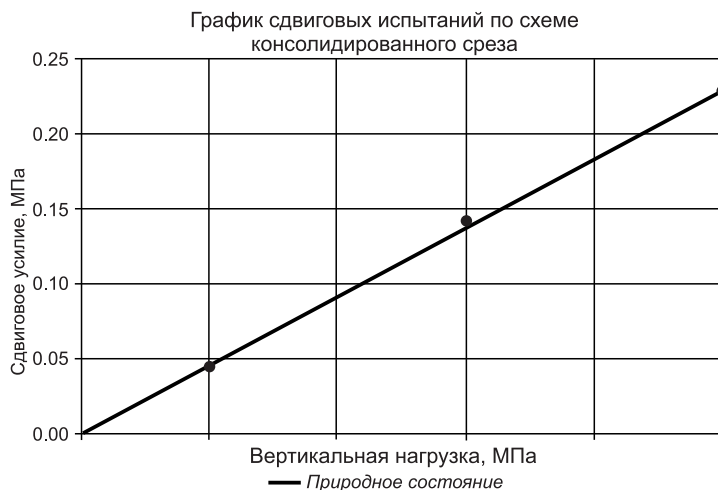
№	W, д.ед.	Пределы пластичности				Плотность				e, д.ед.	n, %	S <sub>r</sub> , д.ед.	C, кПа	φ, град
		W <sub>L</sub> , д.ед.	W <sub>P</sub> , д.ед.	I <sub>P</sub> , д.ед.	I <sub>L</sub> , д.ед.	ρ, г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>d</sub> , г/см <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> , г/см <sup>3</sup>						
910	0.299	0.446	0.268	0.178	0.17	1.90	1.46	2.67	0.825	45.2	0.97	0	25	
911	0.137					2.24	1.97	2.63	0.335	25.1	1.00			
912	0.210	0.429	0.279	0.150	-0.46									
913	0.268	0.405	0.267	0.138	0.01	1.93	1.52	2.63	0.728	42.1	0.97	16	31	
914	0.321	0.616	0.490	0.126	-1.34	1.92	1.45	2.59	0.782	43.9	1.00			
915	0.300	0.492	0.323	0.169	-0.14	1.98	1.52	2.64	0.733	42.3	1.00			

П р и м е ч а н и е. W – природная влажность грунта; пределы пластичности: W<sub>L</sub> – влажность на границе текучести, W<sub>P</sub> – влажность на границе раскатывания, I<sub>P</sub> – число пластичности, I<sub>L</sub> – показатель текучести; плотность: ρ – грунта, ρ<sub>d</sub> – сухого грунта, ρ<sub>s</sub> – частиц грунта; e – коэффициент пористости; n – пористость; S<sub>r</sub> – степень влажности; C – сцепление при природной влажности; φ – угол внутреннего трения при природной влажности.

N o t e. W — natural moisture of soil; plasticity limits: W<sub>L</sub> – moisture for fluidity limit, W<sub>P</sub> – moisture for rolling limit, I<sub>P</sub> – plasticity index, I<sub>L</sub> – fluidity index; density of: ρ – soil, ρ<sub>d</sub> – dry soil, ρ<sub>s</sub> – soil particles; e – porosity; S<sub>r</sub> – moisture degree; C – adhesion for natural moisture; φ – angle of internal friction for natural moisture.

Образец 910  
Одноплоскостной срез ГОСТ 12248-2010  
ВСВ 25 h=35 мм S=40 см<sup>2</sup>

Нормальное давление, МПа	Сопротивление срезу, МПа	
	Природное состояние	
0.10	0.044	
0.30	0.142	
0.50	0.228	
Коэффициент внутреннего трения	0.46	
Угол внутреннего трения	25	
Удельное сцепление, МПа	0.000	



Образец 913  
Одноплоскостной срез ГОСТ 12248-2010  
ВСВ 25 h=35 мм S=40 см<sup>2</sup>

Нормальное давление, МПа	Сопротивление срезу, МПа	
	Природное состояние	
0.10	0.075	
0.30	0.135	
0.50	0.193	
Коэффициент внутреннего трения	0.59	
Угол внутреннего трения	31	
Удельное сцепление, МПа	0.016	

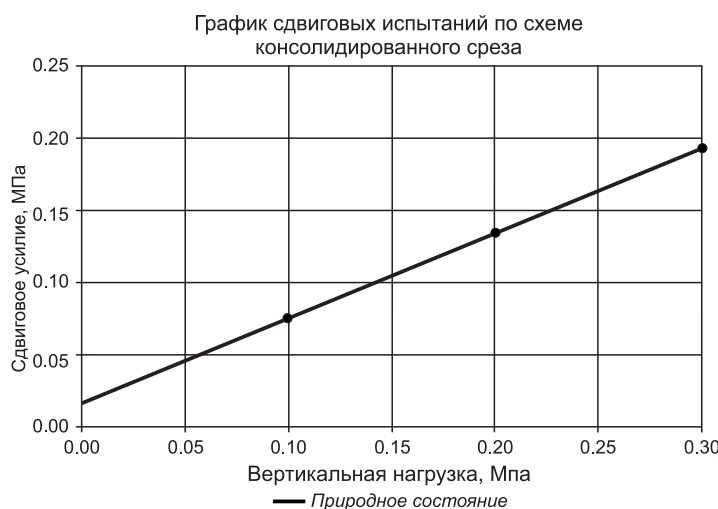


Рис. 8. Результаты испытания прочностных свойств грунтов, обр. № 910, № 913.

Fig. 8. Strength properties of soils. Test results for samples 910 and 913.

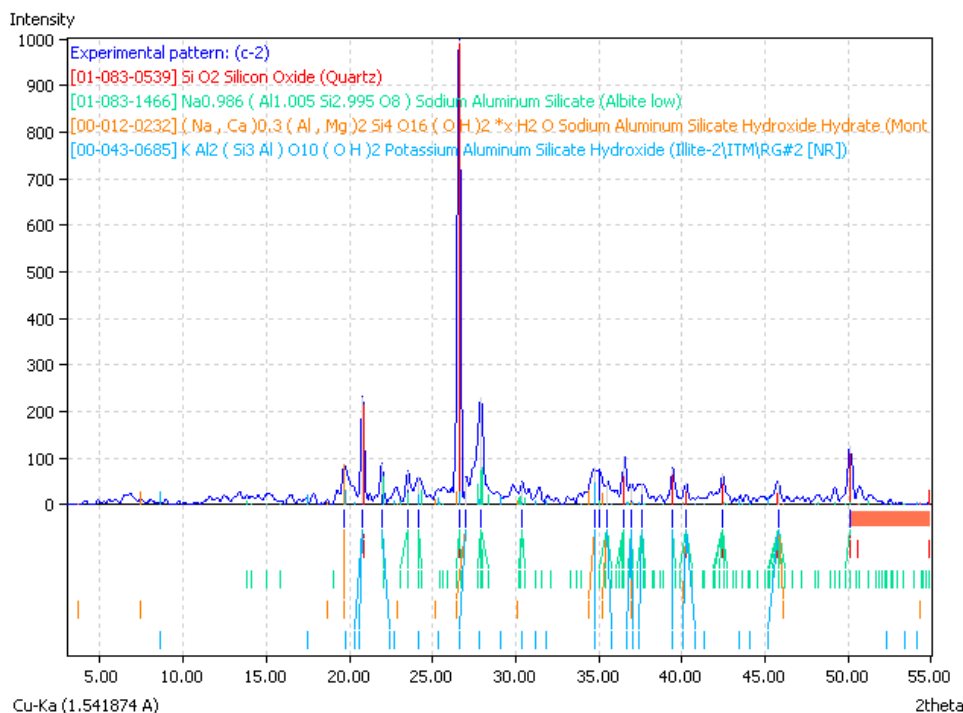


Рис. 9. Дифрактограмма, идентифицированная с помощью программы поиска фаз Diffrac<sup>plus</sup>, PDF-2, 2007 г. Образец 911 (лабораторный номер С-2). Фазовый состав (%): кварц – 50±5, полевошпатовый шпат – 20±5, глинистые минералы – 35±5.

Fig. 9. Diffractogram reconstructed by Diffrac<sup>plus</sup>, PDF-2, 2007. Sample 911 (laboratory number C-2). Phase composition (%): quartz – 50±5, feldspar – 20±5, clay minerals – 35±5.



Т а б л и ц а 4. Минеральный состав оползневых отложений о. Сахалин (Макаровский район)

Table 4. Mineral composition of landslide deposits in the Makarov district, Sakhalin Island

№	Фазовый состав, %	Глинистые минералы (ГМ)
910	Кварц – 35±5 полевой шпат – 25±5 глинистые минералы – 30±5	Гидрослюда, каолинит, смешанослойные минералы – гидрослюда-сметит и гидрослюда-хлорит
911	Кварц – 50±5 полевой шпат – 20±5 глинистые минералы – 35±5	Гидрослюда, смектит, следы хлорита, следы смешанослойных минералов
912	Кварц – 40±5 полевой шпат – 20±5 глинистые минералы – 35±5	Гидрослюда, смектит, следы хлорита, следы смешанослойных минералов
913	Кварц – 40±5 полевой шпат – 20±5 глинистые минералы – 35±5	Гидрослюда, смектит, хлорит, смешанослойные минералы – гидрослюда-хлорит, гидрослюда-сметит
914	Кальцит – 40±5 кварц – 8±3 полевой шпат – 15±5 глинистые минералы – 36±5	Сметит
915	Кварц – 55±5 полевой шпат – 20±5 глинистые минералы – 20±5	Гидрослюда, каолинит, смешанослойный минерал гидрослюда-хлорит

Т а б л и ц а 5. Содержание породообразующих элементов в оползневых отложениях о. Сахалин (Макаровский район) (%)

Table 5. Content of rock-forming elements in landslide deposits in the Makarov district, Sakhalin Island (%)

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	ППП	CO <sub>2</sub>
910	63.27	0.75	16.20	3.29	1.97	0.04	1.59	0.57	2.50	2.95	0.14	1.65	4.51	0.15
911	64.67	0.66	14.75	3.50	1.28	0.03	1.64	1.09	1.98	2.97	0.10	2.80	3.95	0.15
912	64.56	0.66	15.56	4.41	1.03	0.02	1.52	0.20	1.92	3.01	0.08	2.37	4.49	<0.06
913	63.27	0.67	15.80	3.69	1.61	0.04	1.68	0.49	2.07	2.92	0.11	2.45	5.09	0.13
914	40.14	0.58	14.05	4.47	0.65	0.56	1.93	14.31	0.71	0.94	0.11	7.23	3.79	10.32
915	63.55	0.66	16.33	4.19	1.24	0.04	1.48	0.04	1.89	2.80	0.07	2.16	5.34	0.09

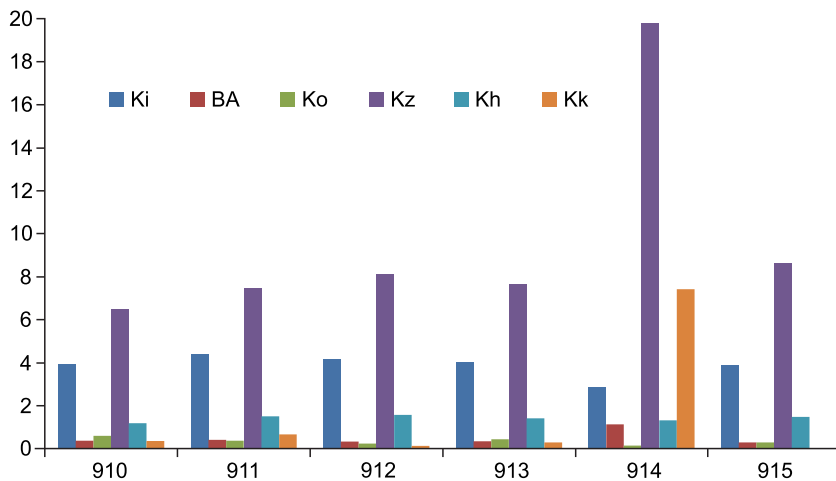
Т а б л и ц а 6. Содержание токсичных элементов и тяжелых металлов в оползневых отложениях о. Сахалин (Макаровский район) (ppm)

Table 6. Concentration of toxic elements and heavy metals in landslide deposits in the Makarov district, Sakhalin Island (ppm)

№ образца	S <sub>(общ.)</sub>	F	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	Zc
910	157	811	67	12	34	53	96	18	<3*	8
911	170	691	68	11	32	38	107	15	3.9	9
912	141	721	67	8.0	36	46	126	21	6.1	10
913	241	756	64	5.2	33	39	117	19	5.9	10
914	124	424	12	9.0	27	16	99	16	<3*	5
915	179	664	61	13	29	35	224	22	7.0	12
ПДК, мг/кг	160	–	100	–	85	55	100	32	2	
Кларк, мг/кг	470	660	83	18	58	47	83	16	1.7	

П р и м е ч а н и е. <3\* – концентрация мышьяка является ниже предела обнаружения методом РФА (менее 3 ppm).

N o t e. <3\* – arsenic concentration less than 3 ppm, which is below the XRF detection limit.



**Рис. 10.** Соотношение геохимических коэффициентов в образцах оползневых отложений о. Сахалин, Макаровский район.

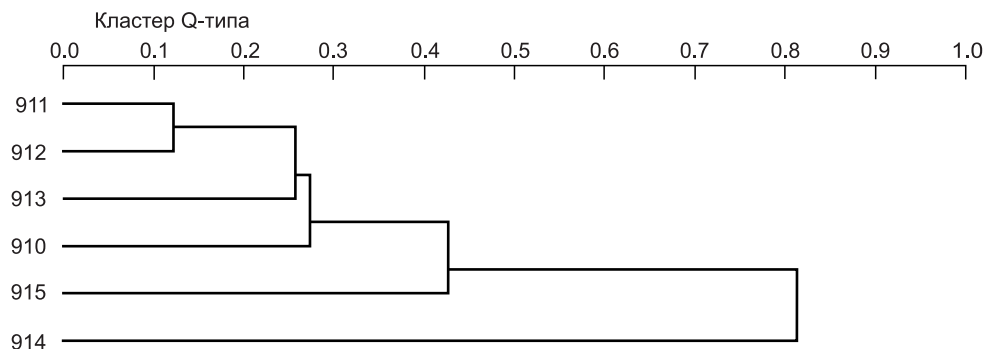
**Fig. 10.** Ratios of geochemical coefficients for landslide samples from the Makarov district, Sakhalin Island.

$Al_2O_3$  – 14.75–16.33 %;  $TiO_2$  – 0.66–0.75 %, преобладание трехвалентного железа  $Fe_2O_3$  – 3.29–4.47 % и  $FeO$  – 1.03–1.97 %; низкие содержания карбонатов  $MgO$  – 1.48–1.68 %,  $CaO$  – 0.04–1.09 %,  $CO_2$  – 0.09–0.15 %; содержание щелочей 1.92–3.01 %; высокие значения гидратированной воды  $H_2O^-$  и ППП (потери при прокаливании 1000 °С) свидетельствует о присутствии воды в межмолекулярном пространстве и кристаллической решетке глинистых минералов. Исключение составляет обр. № 914, для которого определено высокое содержание карбонатной составляющей  $CaO$  – 14.31 % и  $CO_2$  – 10.32 %.

По данным силикатного анализа были рассчитаны геохимические коэффициенты – отношения породообразующих оксидов (формулы – см. табл. 2). В данном случае распределение коэффициентов – коэффициента зрелости  $Kz$ , карбонатности  $Kk$ , основного  $BA$ , кремнекислого  $Ki$  – показывает отличие образца № 914 (рис. 10) от остальных образцов выборки. По микроэлементному составу также наблюдаются отличия: минимальное со-

держание фтора, хрома, меди (табл. 6). Учитывая отличия обр. № 914 по минеральному и гранулометрическому составу, можно предположить «привнос» этого грунта с другой территории, что подтверждает результат корреляционного анализа – дендрограмма кластерного анализа Q-типа (рис. 11), на которой показано группирование образцов по «химическому критерию»: содержанию породообразующих оксидов, токсичных элементов и тяжелых металлов. Образец № 914 занимает отдельное положение от группы исследуемых глинистых грунтов, что подтверждается его низким показателем связи с этой группой (0.8).

В связи с тем, что данные образцы оползневых отложений отнесены к группе техногенноперемещенных грунтов, для них были рассчитаны коэффициенты загрязнения  $Zc$  (табл. 6). Согласно Сан-Пин 2.1.7.1287-03 [*Sanitary and Epidemiological Rules...*, 2003], большая часть исследуемых образцов характеризуется допустимой категорией загрязнения ( $Zc < 16$ ).



**Рис. 11.** Дендрограмма кластерного анализа Q-типа – группирование образцов оползневых отложений о. Сахалин по химическому составу.

**Fig. 11.** Q-type cluster analysis dendrogram. Grouping of landslide samples from the Sakhalin Island by chemical composition.

Т а б л и ц а 7. Кларки концентрации ( $K_c$ ) S, F, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb и As в исследуемых грунтахTable 7. Concentration clarks ( $K_c$ ) of S, F, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb and As in the studied soils

№	$K_c$ S <sub>(общ.)</sub>	$K_c$ F	$K_c$ Cr	$K_c$ Co	$K_c$ Ni	$K_c$ Cu	$K_c$ Zn	$K_c$ Pb	$K_c$ As
910	0.33	1.23	0.81	0.67	0.59	1.13	1.16	1.13	*
911	0.36	1.05	0.82	0.61	0.55	0.81	1.29	0.94	2.29
912	0.30	1.09	0.81	0.44	0.62	0.98	1.52	1.31	3.59
913	0.51	1.15	0.77	0.29	0.57	0.83	1.41	1.19	3.47
914	0.26	0.64	0.14	0.50	0.47	0.34	1.19	1.00	*
915	0.38	1.01	0.73	0.72	0.50	0.74	2.70	1.38	4.12

П р и м е ч а н и е. \* – концентрация мышьяка ниже предела обнаружения методом РФА (менее 3 ppm).

N o t e. \* – arsenic concentration less than 3 ppm, which is below the XRF detection limit.

Сопоставление содержания токсичных элементов и тяжелых металлов с их кларковым содержанием в земной коре оценивали по коэффициентам концентрации ( $K_c$ ), которые представляют собой отношения концентраций S, F, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb и As к их кларковым значениям в земной коре (табл. 7) [Voitkevich et al., 1970].

Во всех образцах значения кларков концентрации ( $K_c$ ) S, Cr, Co и Ni значительно меньше единицы (0.26–0.82), следовательно, содержания этих элементов в грунтах являются пониженными. По значению  $K_c$  Cu (0.34–0.98) в образцах концентрации меди также являются пониженными, за исключением образца № 910 ( $K_c > 1.10$  и равен 1.13), в котором происходит ее относительное накопление. Также наблюдается накопление свинца ( $K_c$  Pb=1.13–1.38), фтора ( $K_c$  F=1.15–1.23), цинка ( $K_c$  Zn 1.16–2.70). Для образцов № 911, 912, 913, 915 характерна значительная аккумуляция мышьяка ( $K_c$  As=2.29–4.12) [Perel'man, Kasimov, 1999]. Образец № 914 по элементам S, F, Cr, Ni, Cu, As, Pb характеризуется наименьшими коэффициентами концентраций и выглядит наиболее «экологически» благополучным.

## 6. РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования показали, что при интенсивном освоении территории (прокладке крупных линейных объектов) были существенно изменены ландшафты. Созданы крупные массивы техногенных грунтов, перемещенных в процессе строительства нефтегазопровода «Сахалин-2» и других линейных объектов. Строительство повлекло за собой изменение рельефа, а также изменение режима поверхностного и подземного стока в исследуемом районе. Это привело к созданию условий для обводнения грунтов и изменению их физико-механических свойств. Данные грунты ранее находились в устойчивом состоянии. Однако

с учетом их характеристик время полного разрушения обломков этих пород составляет от нескольких дней до одного года. Этот процесс резко ускоряется при их замачивании (выпадение дождей, снеготаяние). В водонасыщенном состоянии обломки легко размокают и превращаются в глинистую массу, которая начинает ползти по обнаженным склонам. Это обстоятельство подтверждает факт, что при обводнении и последующем размокании этих грунтов их прочностные характеристики падают почти до нуля, вследствие чего после смещения даже небольшого массива, склон обнажается, тем самым вовлекая в процесс все новые его участки и процесс оползнеобразования возрастает лавинообразно. Однако сошедший оползень зачастую переходит в селевой поток, а сходящий сель эродировывает склон долины водотока и вызывает активизацию оползней, которые насыщают селевой поток грунтово-древесной составляющей. И в таком взаимодействии дальность выброса селей и оползней возрастает кратно. В результате, ранее не затронутые или малозатронутые этими процессами территории оказываются в опасной зоне.

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Наличие большого количества техногенных, неоднородных по составу грунтов, находящихся в длительном процессе самоуплотнения и включающих значительный объем глинистого заполнителя, способствовало формированию в исследуемом районе потенциально неустойчивых оползневых массивов, в которых переход от равновесной фазы к активизации обуславливается изменением степени увлажненности грунтов.

2. В изученных глинистых техногенных грунтах определено значительное количество глинистых



минералов (20–36 %). Особенностью минерального состава этих грунтов является наличие смектитов, гидрослюды и смешанослойных минералов в глинистой фракции, что объясняет способность грунтов к набуханию и резкому снижению прочностных свойств, разжижению и их переход в текучее состояние с активизацией оползневых процессов. Плоскость скольжения таких оползней будет зависеть не столько от водоупоров, сколько от мощности техногенных грунтов. С учетом того, что в исследуемом районе имеются отвалы грунтов в неустойчивом состоянии, объем которых превышает 100 тыс. м<sup>3</sup>, формирование крупных оползней-потоков с большой дальностью пробега наблюдается фактически ежегодно. Оползневые отложения при попадании в русла водотоков обводняются и в дальнейшем трансформируются в сели, выходящие к автомобильной и железной дорогам, повреждают и блокируют проезд по ним, повреждают линии связи и угрожают объектам жизнеобеспечения в населенных пунктах.

3. Проведенные исследования химического состава техногенных грунтов не выявили фактора техногенного загрязнения тяжелыми металлами и токсичными элементами, но отметили некоторое

накопление мышьяка, фтора, цинка и свинца. При дальнейшем мониторинге рекомендуется продолжить исследования и выявить причину и источники аккумуляции элементов.

4. Наличие образца грунта с характеристиками, значительно отличающимися от характеристик остальных образцов, дает основание предположить факт привноса какого-то количества грунтов с другой территории при строительных работах, например отсыпке склонов или засыпке межтрубных пространств. С учетом того, что здесь продолжают развиваться эрозионные, суффозионные и оползневые процессы, нужны дополнительные исследования на этом участке.

## 8. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность Т.С. Филевой, ведущему инженеру ЦКП «Геодинамика и геохронология», за выполненные на высоком уровне исследования минерального состава грунтов оползневых отложений. Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП ИЗК СО РАН «Геодинамика и геохронология».

## 9. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Atlas of the Sakhalin Region*, 1967. Main Directorate of Geodesy and Cartography under the USSR Council of Ministers, Moscow, 137 p. (in Russian) [Атлас Сахалинской области. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1967. 137 с.].
- Budarina O.I., Perov V.F., Sidorova T.L.*, 1987. Mudflow phenomena on the Sakhalin Island. *Bulletin of Moscow University. Series 5. Geography* (3), 76–81 (in Russian) [Бударина О.И., Перов В.Ф., Сидорова Т.Л. Селевые явления о. Сахалин // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1987. № 3. С. 76–81].
- Gensiorovsky Yu.V.*, 2011. Exogenous Geological Processes and Their Impact on Town Territory Planning (Sakhalin Island). Brief PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). IEC SB RAS, Irkutsk, 19 p. (in Russian) [Генсиоровский Ю.В. Экзогенные геологические процессы и их влияние на территориальное планирование городов (на примере о. Сахалин): Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2011. 19 с.].
- Gensiorovsky Yu.V., Kazakov N.A.*, 2009a. Activization of exogenous geological processes in South Sakhalin on June 22–24. *Georisk* (2), 56–60 (in Russian) [Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А. Активизация экзогенных геологических процессов на Южном Сахалине 22–24 июня 2009 года // Геориск. 2009. № 2. С. 56–60].
- Gensiorovsky Yu.V., Kazakov N.A.*, 2009b. The impact of exogenous geodynamic and river channel processes on engineering protection structures of the Sakhalin–2 oil-gas pipeline project in the summer of 2009. *Georisk* (4), 38–45 (in Russian) [Генсиоровский Ю.В., Казаков Н.А. Воздействие экзогенных геодинамических и русловых процессов на сооружения инженерной защиты нефтегазопроводов проекта «Сахалин-2» летом 2009 года // Геориск. 2009. № 4. С. 38–45].
- Geology of the USSR*, 1972. Vol. 33. Sakhalin Island. Nedra, Moscow, 403 p. (in Russian) [Геология СССР. Т. 33. Остров Сахалин. М.: Недра, 1972. 403 с.].
- Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S.*, 2008. Environmental Geochemistry of the Baikal Region (Baikal Geoeological Testing Ground). Geo, Novosibirsk, 234 p. (in Russian) [Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон). Новосибирск: Гео, 2008. 234 с.].
- Hygiene Standards GN 2.1.7.2041-06 and GN 2.1.7.2042-06*, 2006. Maximum Permissible Concentrations (MPC) and Tentatively Allowable Levels (TAL) of Chemicals in Soil. Gossanepidnadzor, Moscow (in Russian) [Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06. Предельно-допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно допустимые уровни (ОДУ) химических веществ в почве. М.: Госсанэпиднадзор, 2006].
- Kazakov N.A., Gensiorovsky Yu.V.*, 2007. The effect of the vertical gradient of precipitation on the characteristics of hydrological, avalanche and mudflow processes in the lowlands. *Geocology. Engineering Geology. Hydrogeology*.

- Geocryology* (4), 342–347 (in Russian) [Казаков Н.А., Генсировский Ю.В. Влияние вертикального градиента осадков на характеристики гидрологических, лавинных и селевых процессов в низкогорье // *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*. 2007. № 4. С. 342–347].
- Kazakov N.A., Gensiorovsky Yu.V., Okopny V.I., Bobrova D.A., Kazakova E.N., Rybalchenko S.V., 2015. Conditions for the formation of cohesive mudflows with light precipitation and the distribution of dynamic characteristics in the mudflow. *Georisk* (4), 4–18 (in Russian) [Казаков Н.А., Генсировский Ю.В., Окопный В.И., Боброва Д.А., Казакова Е.Н., Рыбальченко С.В. Условия формирования связных селей при слабых осадках и распределение динамических характеристик в селевом потоке // *Геориск*. 2015. № 4. С. 14–18].
- Kazakov N.A., Zhukova Z.I., 1990. Conditions for the formation of mudflows in small water streams. In: Natural catastrophes and disasters in the Far East region. Vol. 2. Far East Branch of the USSR Acad. Sci., Vladivostok, p. 394–400 (in Russian) [Казаков Н.А., Жукова З.И. Условия формирования селевых паводков в малых водотоках // *Природные катастрофы и стихийные бедствия в Дальневосточном регионе*. Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. Т. 2. С. 394–400].
- Khmelevtsev A.A., 2014. Engineering and Geological Properties of Argillite-Like Clays of the Sochi Formation, and Their Influence on Construction Conditions in the City of Sochi. Brief PhD Thesis (Candidate of Geology and Mineralogy). IGE RAS, Moscow, 33 p. (in Russian) [Хмелевцев А.А. Инженерно-геологические свойства аргиллитоподобных глин сочинской свиты и их влияние на условия строительства в городе Сочи: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. М.: ИГЭ РАН, 2014. 33 с.].
- Kitaev N.A., Grebenschikova V.I., 2014. Rare and Ore Elements in Pribaikalie (Bedrocks, Bottom Sediments, and Soils). ISU Publishing House, Irkutsk, 123 p. (in Russian) [Китаев Н.А., Гребенщикова В.И. Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы). Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. 123 с.].
- Kolodeev E.I., Zhukova Z.I., 1976. Hydrometeorological conditions for the formation of landslides on Sakhalin. In: Natural conditions of Sakhalin. Geographical Society of the USSR, Leningrad, p. 38–44 (in Russian) [Колодеев Е.И., Жукова З.И. Гидрометеорологические условия образования оползней на Сахалине // *Природные условия Сахалина*. Л.: Географическое общество СССР, 1976. С. 38–44].
- Konarbaeva G.A., Yakimenko V.N., 2012. Content and distribution of halogens in the soil profile of natural and anthropogenic ecosystems of the southern regions of West Siberia. *Tomsk State University Bulletin. Biology* (4), 21–35 (in Russian) [Конарбаева Г.А., Якименко В.Н. Содержание и распределение галогенов в почвенном профиле естественных и антропогенных экосистем юга Западной Сибири // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2012. № 4. С. 21–35].
- Lobkina V.A., Kazakova E.N., Zhiruev S.P., Kazakov N.A., 2013. Methods of landslide risk assessment for territory of settlements of Sakhalin Region (Makarov city, Sakhalin). *Tikhookeanskaya Geologiya (Russian Journal of Pacific Geology)* 32 (5), 100–109 (in Russian) [Лобкина В.А., Казакова Е.Н., Жируев С.П., Казаков Н.А. Методика оценки оползневой опасности территории населенных пунктов (на примере г. Макаров, Сахалинской области) // *Тихоокеанская геология*. 2013. Т. 32. № 5. С. 100–109].
- Lomtadze V.D., 1976. Regularities in the distribution and development of geological processes as a basis for the rational use of the geological medium. In: Problems of engineering geology in connection with the rational use of the geological medium. Materials of the All-Union Conference. Leningrad, p. 4–14 (in Russian) [Ломтадзе В.Д. Закономерности распространения и развития геологических процессов как основа рационального использования геологической среды // *Проблемы инженерной геологии в связи с рациональным использованием геологической среды: Материалы Всесоюзной конференции*. Л., 1976. С. 4–14].
- Lukashev V.K., 1972. Geochemical Indicators of Hypergenesis and Sedimentation Processes. Nauka i Tekhnika Publishing House, Minsk, 320 p. (in Russian) [Лукашев В.К. Геохимические индикаторы процессов гипергенеза и осадкообразования. Минск: Наука и техника, 1972. 320 с.].
- Perel'man A.I., Kasimov N.S., 1999. Geochemistry of Landscape. Moscow State University, Moscow, 610 p. (in Russian) [Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.].
- Polunin G.V., 1989. Dynamics and Prognosis of Exogenous Processes. Nauka, Moscow, 231 p. (in Russian) [Полунин Г.В. Динамика и прогноз экзогенных процессов. М.: Наука, 1989. 231 с.].
- Poryadin A.F., Khovansky A.D., 1996. Assessment and Regulation of Environment Quality. Priboi Publishing House, Moscow, 350 p. (in Russian) [Порядин А.Ф., Хованский А.Д. Оценка и регулирование качества окружающей природной среды. М.: Издательский дом «Прибой», 1996. 350 с.].
- Revenko A.G., 2014. Physical and chemical methods of researching rocks and minerals in the Analytical Centre of the Institute of the Earth's Crust, SB RAS. *Geodynamics & Tectonophysics* 5 (1), 101–114 (in Russian) [Ревенко А.Г. Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН // *Геодинамика и тектонофизика*. 2014. Т. 5. № 1. С. 101–114]. <https://doi.org/10.5800/GT-2014-5-1-0119>.
- Ryashchenko T.G., 2006. Clay minerals and hazardous properties of dispersed soils. In: Modern geodynamics and hazardous natural processes in Central Asia. Vol. 4. Proceedings of the VI Russian-Mongolian conference on astronomy and geophysics. Ulan-Ude, p. 151–158 (in Russian) [Рященко Т.Г. Глинистые минералы и опасные свойства дисперсных грунтов // *Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии*. Вып. 4. Труды VI Российско-Монгольской конференции по астрономии и геофизике. Улан-Удэ, 2006. С. 151–158].

- Ryashchenko T.G.*, 2010. Regional Soil Studies (East Siberia). IEC SB RAS, Irkutsk, 287 p. (in Russian) [*Рященко Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2010. 287 с.].
- Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., Shtelmakh S.I., Grin' N.N.*, 2014. Loess Soils of the Mongolia-Siberian Region. IEC SB RAS, Irkutsk, 241 p. (in Russian) [*Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Гринь Н.Н.* Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2014. 241 с.].
- Ryashchenko T.G., Ukhova N.N.*, 2008. Chemical Composition of Dispersed Soils: Opportunities and Forecasts (East Siberia). IEC SB RAS, Irkutsk, 131 p. (in Russian) [*Рященко Т.Г., Ухова Н.Н.* Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь). Иркутск: ИЗК СО РАН, 2008. 131 с.].
- Sanitary and Epidemiological Rules and Norms SanPiN 2.1.7.1287-03*, 2003 Sanitary and Epidemiological Requirements to Soil Quality. Gossanepidnadzor, Moscow (in Russian) [Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПин 2.1.7.1287-03. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. М.: Госсанэпиднадзор, 2003].
- Sheko A.I.* (Ed.), 1971. Methodological Guide to the Integrated Study of Mudflows. Nedra, Moscow, 158 p. (in Russian) [Методическое руководство по комплексному изучению селей / Ред. А.И. Шеко. М.: Недра, 1971. 158 с.].
- Sheko A.I.* (Ed.), 1999. Methodological Recommendations for Long-Term Forecasting of Exogenous Geological Processes in the System of State Monitoring of the Geological Medium. VSEGINGEO, Moscow, 78 p. (in Russian) [Методические рекомендации по составлению долгосрочных прогнозов экзогенных геологических процессов в системе государственного мониторинга геологической среды / Ред. А.И. Шеко. М.: ВСЕГИНГЕО, 1999. 78 с.].
- Sheko A.I., Grechishcheva S.E.* (Eds.), 1988. Methods of Studying and Predicting Exogenous Geological Processes. Nedra, Moscow, 215 p. (in Russian) [Методика изучения и прогноза экзогенных геологических процессов / Ред. А.И. Шеко, С.Е. Гречищева. М.: Недра, 1988. 215 с.].
- Sheko A.I., Maksimov M.M., Lekhatin A.M.*, 1975. The method for mapping and forecasting of the development and intensity of exogenous geological processes in mountain-folding areas. In: Problems of geological engineering mapping. MSU Publishing House, Moscow, p. 252–262 (in Russian) [*Шеко А.И., Максимов М.М., Лехатинов А.М.* Методика составления карт интенсивности развития и прогноза активизации экзогенных геологических процессов в горно-складчатых областях // Проблемы инженерно-геологического картирования. М.: Изд-во МГУ, 1975. С. 252–262].
- Sklyarov E.V., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Ivanov A.V., Letnikova E.F., Mironov A.G., Barash I.G., Bulanov V.A., Sizykh A.I.*, 2001. Interpretation of Geochemical Data. Intermet Engineering, Moscow, 288 p. (in Russian) [*Скляр Е.В., Гладкоhub Д.П., Донская Т.В., Иванов А.В., Летникова Е.Ф., Миронов А.Г., Бараш И.Г., Буланов В.А., Сизых А.И.* Интерпретация геохимических данных. М.: ИнтерметИнжиниринг, 2001. 288 с.].
- Vinogradov A.P.*, 1957. Geochemistry of Rare and Dispersed Chemical Elements in Soils. Publishing House of the USSR Acad. Sci., Moscow, 237 p. (in Russian) [*Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.].
- Voitkevich G.V., Miroshnikov A.E., Povarennykh A.S., Prokhorov V.G.*, 1970. The Concise Guide to Geochemistry. Nedra, Moscow, 280 p. (in Russian) [*Войткевич Г.В., Мирошников А.Е., Поваренных А.С., Прохоров В.Г.* Краткий справочник по геохимии. М.: Недра, 1970. 280 с.].
- Weather Schedule*, 2019. Weather in 243 countries of the World (in Russian) [Расписание погоды. Погода в 243 странах мира. 2019]. Available from: <https://rp5.ru/>.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT AUTHORS

### Юрий Витальевич Генсиоровский

канд. геол.-мин. наук, в.н.с., зав. лабораторией

Сахалинский филиал Дальневосточного геологического института ДВО РАН  
693023, Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25, Россия

✉ e-mail: [gensiorovskiy@mail.ru](mailto:gensiorovskiy@mail.ru)

### Yurii V. Gensiorovsky

Candidate of Geology and Mineralogy, Lead Researcher,  
Head of Laboratory

Sakhalin Branch of Far East Geological Institute, Far East Branch of RAS  
25 Gorky street, Yuzhno-Sakhalinsk 693023, Russia

### Наталья Николаевна Ухова

канд. геол.-мин. наук, с.н.с.

Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

e-mail: [nat\\_ukhova@crust.irk.ru](mailto:nat_ukhova@crust.irk.ru)

### Natalia N. Ukhova

Candidate of Geology and Mineralogy, Senior Researcher

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS  
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia



**Светлана Ивановна Штельмах**

канд. геол.-мин. наук, н.с.

Институт земной коры СО РАН  
664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

e-mail: [fotina78@gmail.com](mailto:fotina78@gmail.com)

**Svetlana I. Shtel'makh**

Candidate of Geology and Mineralogy, Researcher

Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS  
128 Lermontov street, Irkutsk 664033, Russia

**Наталья Николаевна Гринь**

канд. геол.-мин. наук, зав. лабораторией

Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

e-mail: [grinki.i@mail.ru](mailto:grinki.i@mail.ru)

**Natalia N. Grin'**

Candidate of Geology and Mineralogy, Head of Laboratory

Irkutsk National Research Technical University  
83 Lermontov street, Irkutsk 664074, Russia

**Юлия Андреевна Степнова**

канд. геол.-мин. наук, н.с.

Сахалинский филиал Дальневосточного  
геологического института ДВО РАН  
693023, Южно-Сахалинск, ул. Горького, 25, Россия

e-mail: [stepnova@fegi.ru](mailto:stepnova@fegi.ru)

**Yulia A. Stepnova**

Candidate of Geology and Mineralogy, Researcher

Sakhalin Branch of Far East Geological Institute, Far East Branch of RAS  
25 Gorky street, Yuzhno-Sakhalinsk 693023, Russia