

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЯ В РОССИИ (НА ПРИМЕРЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ КОМПАНИИ «РУСАЛ»)

Д.А. Гершинкова, А.В. Спириин, С.Ю. Честной

Объединенная компания «РУСАЛ»,
РФ, 121096, г. Москва, ул. Василисы Кожинной, 1;
dinara.gershinkova@rusal.com; aleksey.spirin@rusal.com; sergey.chestnoy@rusal.com

Реферат. Цель настоящей работы – изучение прямых климатических рисков (direct risks) для алюминиевого производства на территории Российской Федерации (на примере Объединенной компании «РУСАЛ», ОК РУСАЛ), связанных с неблагоприятными погодными условиями, и обоснование мероприятий по адаптации. Зарубежные активы компании не рассматривались. Характер исходной информации о воздействиях климата на функционирование отрасли позволил провести оценки рисков лишь на качественном уровне, без использования количественных критериев. Информационной основой исследования в области климата были доклады Росгидромета о происходящих и ожидаемых изменениях климата в России, а в области оценки воздействий – данные этих докладов о климатических рисках для различных отраслей экономики и результаты опроса предприятий РУСАЛа, проведенного в 2017-2018 гг. Последние в том числе включают информацию об инцидентах и аварийных ситуациях, связанных с неблагоприятными погодными условиями, которые произошли на предприятиях Компании в прошлом. Установлено, что в регионах присутствия РУСАЛа фиксируются многообразные опасные природные явления, ассоциированные с изменениями климата. Наиболее уязвимы производства и объекты инфраструктуры, находящиеся на открытом воздухе – добыча бокситов, хранение шлама и отходов, транспортные перевозки и др., а также производства, для которых бесперебойное энергоснабжение является критически важным фактором. Наименее уязвимы те процессы, которые осуществляются в закрытых помещениях. Потенциальный риск представляют собой опасные гидрометеорологические явления (ОЯ). В отношении ОЯ в стране в 2016 и 2017 гг. лидером был Сибирский федеральный округ, на территории которого расположены крупнейшие алюминиевые заводы РУСАЛа (Красноярский, Братский, Богучанский, Саяногорский). К числу ОЯ, воздействующих на производственный процесс, относятся сильный ветер, сильные осадки и лесные/степные пожары. ОЯ могут также влияют на режим работы гидроэлектростанций (ГЭС) – ключевого источника энергии в производственном процессе РУСАЛа (более 95% потребляемой энергии при производстве алюминия). Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата приводят к росту встречаемости этих явлений, что потенциально

является источником дополнительных рисков. В качестве положительных последствий изменения климата (новых возможностей) для ОК РУСАЛ можно отметить увеличение речного стока, вызванного повышением количества осадков в контексте потребления гидроэлектроэнергии. Первостепенными мерами адаптации могут служить специализированное гидрометеорологическое обслуживание, получение заблаговременной информации об ожидаемых ОЯ, а также всесторонний анализ и учет климатических рисков при проектировании и реконструкции производственных объектов, Это также важно учитывать при строительстве новых объектов (актуализированные Строительные нормы и правила - СНиПы) и при разработке планов ликвидации аварийных ситуаций.

Ключевые слова. Изменение климата, производство алюминия, климатические риски, адаптация.

CLIMATIC RISKS FOR ALUMINIUM PRODUCTION IN RUSSIA (THE CASE STUDY OF THE UNITED COMPANY RUSAL)

D.A. Gershinkova, A.V. Spirin, S.Yu. Chestnoy

United Company "RUSAL" (UC RUSAL),
1, Vasilisa Kozhina str., 121096, Moscow, Russia;
dinara.gershinkova@rusal.com; aleksey.spirin@rusal.com; sergey.chestnoy@rusal.com

Abstract. The purpose of this work is to explore direct climate risks for aluminium production in Russia (using an example of THE UNITED COMPANY RUSAL (UC RUSAL)) associated with unfavourable weather conditions, and to justify adaptation measures. UC RUSAL's foreign assets are not considered. The nature of input data on climatic impacts on the industry sector allowed to assess the risks only qualitatively, i.e., without applying quantitative criteria. The reports of the Russian Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) about ongoing and anticipated climate changes in Russia serve as the information basis for our study. For the impact assessment, the data of those reports related to various industrial sectors, as well as a 2017-2018 survey of UC RUSAL's plants are involved. The latter present information on historical incidents and failures at the company plants associated with unfavourable weather conditions. It is found that diverse hazardous natural events associated with climate change are observed in the areas where RUSAL's sites are located. The most vulnerable are the outdoor production and infrastructure facilities: mining of bauxite, storage of mud and other waste, transportation of materials etc., as well as facilities for which continuous power supply is critical. In contrast, indoor processes have the lowest vulnerability. Hazardous hydrometeorological events constitute the potential risk. In 2016-2017, the highest number of such events was registered in Siberian Federal District, where RUSAL's largest smelters are located (KrAZ, BrAZ, BoAZ, SAZ). Strong winds, heavy precipitation, and forest and steppe fires constitute the most hazardous events for the aluminium production process. Hazardous hydrometeorological events may also affect hydropower plants, which

account for over 95% of total energy required by the aluminium production process of the Company. The ongoing and anticipated climate changes cause an increase in frequency of such events, which is a potential source of additional risks. However, there are some positive consequences in climate change, which provide new opportunities for businesses. For example, it is important for UC RUSAL that increasing precipitation leads to an enhanced river runoff that is favourable for hydropower generation. The priority adaptation measures may include specialised hydrometeorological service, the early warnings about anticipated hazardous hydrometeorological events, and comprehensive consideration of climatic risks in designing, constructing and reconstructing new and existing facilities. It is also important to take this into account in the development of new facilities as well as in the working out emergency response plans.

Keywords. Climate change, aluminium production, climatic risks, adaptation.

Введение

Целью Парижского соглашения является удержание прироста средней глобальной температуры в приповерхностном слое атмосферы «намного ниже 2°C» по отношению к доиндустриальному уровню и «приложение усилий в целях ограничения роста температуры до 1.5°C» (Парижское соглашение, статья 2 – см. www.unfccc.int). По данным ВМО, Всемирной Метеорологической Организации, в 2017 г. средняя глобальная температура была примерно на 1.1°C выше аналогичного показателя доиндустриальной эпохи (Заявление ВМО..., 2018). Таким образом, мир уже подошел достаточно близко к обозначенным в Парижском соглашении пороговым значениям.

Изменения климата в целом и связанные с этим экстремальные явления негативно сказываются на благосостоянии людей, различных отраслях экономики и природных объектах (Кислов и др., 2008; Эколога-географические последствия..., 2011; МГЭИК, 2014). В заявлении ВМО (Заявление ВМО..., 2018) приводятся следующие данные: потери от стихийных бедствий в результате связанных с погодой и климатом явлений в 2017 г. составили 320 млрд долл. США, что является самым крупным суммарным годовым ущербом за все годы (с учетом инфляции). Парижское соглашение призывает заинтересованные круги, не являющиеся сторонами Соглашения (т.е. бизнес, гражданское общество, финансовые институты, региональные органы власти и т.д.) наращивать масштабы своих усилий и поддержки действий по сокращению выбросов и/или повышению сопротивляемости и снижению уязвимости к неблагоприятным последствиям изменения климата, т.е. по адаптации к изменениям климата.

В Российской Федерации и мире в целом вовлеченность бизнеса в исследования и оценку климатических рисков находится, в большинстве случаев, на стадии становления. По алюминиевой отрасли источником информации о климатических рисках в основном является нефинансовая отчетность компаний, например, международная добровольная корпоративная углеродная отчетность «Carbon Disclosure Project» (CDP). При этом в данном проекте

участвуют и публикуют свои данные только семь компаний из почти 30 членов Международного института алюминия. Т.е. глобальный алюминиевый бизнес только начинает изучать свои климатические риски и информировать об этом.

Целью настоящего исследования было выявление особенностей прямых климатических рисков (direct risks) и мер адаптации к изменениям климата для алюминиевой промышленности на примере предприятий компании ОК РУСАЛ, расположенных на территории Российской Федерации. В том числе обсуждаются следующие вопросы:

- чем может грозить изменение климата одной из стратегических отраслей российской экономики?
- какие меры адаптации были бы наиболее целесообразны?
- какие дополнительные возможности могут появиться в этой связи?
- как полученные результаты соотносятся с аналогичными оценками зарубежных компаний?

Косвенные (indirect) климатические риски рассматриваются в рамках гидроэлектроэнергетики – ключевого источника энергии при производстве алюминия РУСАЛа. Однако иные косвенные риски такие как последствия введения мер углеродного регулирования, требования к низкоуглеродной продукции со стороны потребителя и др. в настоящей статье не рассматриваются.

Методические замечания

Концепция риска

При оценке воздействия климата на различные объекты (как природного, так и антропогенного характера) широко используются прикладные климатические индексы (Бедрицкий, 1997; Семенов и др., 2006). В первом Оценочном докладе об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (Оценочный доклад об изменениях климата..., 2008) приводится следующее пояснение категории риска: «Риск – категория, исходно употреблявшаяся в анализе экономических и политических решений, в следующем смысле: если известны вероятности $f(X_n)$ событий X_1, X_2, \dots, X_N (полная система событий – сумма вероятностей равна 1), а также денежные оценки ущерба $D(X_n)$, возникающего при каждом событии (отрицательные значения ущерба соответствуют выигрышу!), то риск $R(X_n)$ при каждом событии X_n измеряется произведением $R(X_n) = D(X_n) f(X_n)$. Это подход к оценке рисков – risk assessment (Morgan, Henrion, 1990) – давно вышел за границы экономики и широко употребляется в прикладных разделах других наук, в том числе климатологии и экологии (Moss, Schneider, 2000). При этом ущерб измеряется редко в денежных единицах, а чаще – в натуральных или же условных».

Однако в настоящее время исследователи часто не придерживаются этого исходного понимания категории риска. В докладе Росгидромета о климатических рисках (Доклад о климатических рисках..., 2017) отмечается, что разные авторы вкладывают неодинаковый смысл в понятие «риск». Например, ряд авторов придают понятию «риск» смысл вероятности угрозы (вероятность

смерча, шквала и т. п.), не рассматривая при этом уязвимость объекта. Но даже в тех случаях, когда разные эксперты придерживаются одного и того же смысла, они могут использовать разные термины. Один из них, например, может говорить о риске смерча, другой – о риске разрушения здания (вследствие смерча), а третий стремится оценить риск гибели людей в данном здании вследствие его разрушения. Таким образом, понятие «климатический риск» окончательно не определено, и используемая в публикациях терминология не является общепризнанной.

В настоящей работе под прямым (direct) риском понимается, в первую очередь, угроза производственной деятельности и долгосрочному развитию ОК РУСАЛ в результате наступления опасных (экстремальных) гидрометеорологических явлений. Косвенные климатические риски (indirect risks) связаны с обеспечением энергоснабжения, с ограничением деятельности и дополнительными расходами в связи с исполнением требований законодательства по ограничению воздействия на климат, либо с иными факторами, связанными с реализацией климатической политики, влияющими на производство и сбыт продукции. Пример – добровольные корпоративные или частные климатические обязательства, предпочтения потребителей. В рамках исследования были получены некоторые оценки косвенных климатических рисков для гидроэнергетики. Иные полученные результаты по изучению косвенных рисков не включены в данную статью.

Методика исследования и источники информации

Оценки упомянутых выше рисков проводились экспертно в качественных терминах для предприятий, расположенных на территории Российской Федерации.

Следуя известным методологиям оценки климатических рисков (IPCC, 2007; Surminski et al., 2018), сначала были определены гидрометеорологические (погодные) факторы, влияющие на производственный процесс, связанный с добычей бокситов, производством глинозема и первичного алюминия. Затем оценивалась опасность, связанная с этими факторами, и формулировались возможные меры адаптации в связи с прогнозируемыми изменениями климата в регионах расположения предприятий РУСАЛа. Также были проанализированы планы ликвидации аварийных ситуаций РУСАЛа (ПЛАСы).

Для изучения погодозависимости различных этапов производства алюминия в 2017-2018 гг. был проведен опрос 14 российских предприятий глиноземного и алюминиевого дивизиона РУСАЛа, представляющих три основных производственных цикла, указанных выше.

В настоящей работе использовалась следующая гидрометеорологическая информация:

– данные и оценки из докладов Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) о происходящих и ожидаемых изменениях климата в России;

– общедоступные гидрометеорологические данные, размещенных на сайте Научно-исследовательского гидрометеорологического центра Российской

Федерации (Гидрометцентра России) и региональных подразделений Росгидромета (управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды);

– оценки климатических рисков для различных отраслей экономики (источник – доклады Росгидромета);

– данные и оценки об изменениях климата и их воздействиях на различные секторы экономики из оценочных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК).

Краткая информация о процессе производства алюминия и ОК РУСАЛ

Современное производство алюминия осуществляется (Информационно-технический справочник ..., 2016) путем электролитического разложения глинозема (Al_2O_3), растворенного в электролите (расплавленный криолит (Na_3AlF_6)). Технологический процесс осуществляется при $950^{\circ}C - 965^{\circ}C$ в электролизных ваннах (электролизерах). Поэтому производство алюминия относится к энергоемким производствам. Основным исходным сырьем криолит-глиноземного расплава являются глинозем (Al_2O_3), фтористый алюминий (AlF_3) и криолит (Na_3AlF_6).

В мире основным сырьем для производства глинозема служат бокситы, содержащие от 32% до 60% оксида алюминия (Al_2O_3). В России для производства глинозема также используются нефелины. По мировым меркам Россия обладает небольшими запасами промышленных бокситов – около 400 млн т, что составляет менее 0.7% мировых запасов. В связи с этим в России также разрабатываются месторождения нефелинов, но они являются менее ценным сырьем для производства глинозема, чем бокситы, так как содержат лишь 26-29% оксида алюминия (Al_2O_3) (Лайнер, 1961). Крупнейший производитель алюминий-содержащего сырья в России – Северо-Уральские бокситовые рудники – до последнего времени обеспечивали Россию лучшим сырьем при достаточно высоком уровне добычи. Основные запасы бокситов находятся в районе г. Североуральска (Свердловская область) на глубине более полукилометра. В 2018 г. начата разработка Северо-Тиманского бокситового рудника в районе г. Ухты (Республика Коми).

Ввиду недостаточности собственной сырьевой базы российские производители алюминия в значительной мере ориентируются на привозной глинозем, производимый из бокситов, также добываемых за рубежом (в основном в Гвинее и Гайане, а также, в меньшей степени, в Австралии и Ямайке, в Ирландии и некоторых других странах).

Основным производителем алюминия в России является ОК РУСАЛ. Девять из десяти работающих алюминиевых заводов компании расположены на территории России, один – в Швеции. Из 9 работающих глиноземных заводов 4 расположены в России и 5 – за рубежом (Австралия, Гвинея, Ирландия, Украина, Ямайка) (Годовой отчет..., 2018). Эти предприятия обеспечивают собственные потребности компании в глиноземе. Почти 80% глиноземного производства обеспечивается поставками бокситодобывающих предприятий РУСАЛа в России и за рубежом (Австралия, Гайана, Гвинея, Ямайка).

РУСАЛ является крупнейшим мировым производителем первичного алюминия: 3.7 млн т. в 2017 г. или 5.8% мирового производства металла (Годовой отчет..., 2018). Отличительной особенностью производственного процесса ОК РУСАЛ является доступ к «чистым» (т.е. не связанным с выбросами парниковых газов и загрязняющих веществ в атмосферу) источникам энергии: более 95% производства алюминия основано на использовании энергии российских рек.

Географическое расположение предприятий ОК РУСАЛ в России

Расположение основных предприятий ОК РУСАЛ на территории Российской Федерации выглядит следующим образом:

Алюминиевые заводы: Братский (г. Братск, Иркутская обл.), Волгоградский (г. Волгоград, Волгоградская обл.), Иркутский (г. Шелехов, Иркутская обл.), Новокузнецкий (г. Новокузнецк, Кемеровская обл.), Надвоицкий (г. Надвоицы, Республика Карелия), Кандалакшский (г. Кандалакша, Мурманской обл.), Красноярский (г. Красноярск, Красноярский край), Саяногорский (г. Саяногорск, Республика Хакасия), Богучанский (совместно с ПАО «РусГидро», пос. Таежный, Богучанского р-на, Красноярский край).

Глиноземные заводы: Ачинский (г. Ачинский, Красноярский край), Богословский (г. Краснотурьинск, Свердловская обл.), Бокситогорский (г. Бокситогорск, Ленинградская обл.), Уральский алюминиевый завод (г. Каменск-Уральский, Свердловская обл.)

Добыча бокситов: Боксит Тимана (г. Ухта, Республика Коми), Северо-Уральский бокситовый рудник (г. Североуральск, Свердловская обл.).

Добыча нефелинов: Кия-Шалтырский Нефелиновый рудник. (Кемеровская область).

Производство фольги: САЯНАЛ (г. Саяногорск, Республика Хакасия), Уральская фольга (г. Михайловск, Свердловская обл.).

Этот список не является исчерпывающим, но содержит основные подразделения РУСАЛа, связанные с производством и переработкой первичного алюминия.

Видно, что предприятия РУСАЛа расположены в различных климатических зонах. Значительная часть предприятий расположена в Сибирском федеральном округе (Иркутская обл., Кемеровская обл., Красноярский край, Республика Хакасия) и Уральском федеральном округе (Свердловская обл.). Это географическое распределение важно принять во внимание при оценках климатических рисков, поскольку изменения климата на территории России не однородны в пространстве.

Результаты

Погодно-климатическая зависимость РУСАЛа, в первую очередь, определяется непосредственным воздействием погодных условий на различные этапы производства. Наименее уязвимо производство в закрытых помещениях (основные переделы производства глинозема, электролиз и плавка алю-

миния, добыча бокситов шахтным способом и т.д.). Наиболее уязвимы производства на открытом воздухе – добыча бокситов открытым способом, хранение шлама и отходов, транспортные перевозки и т. д. Производство алюминия является непрерывным процессом, для которого важно бесперебойное энергоснабжение – длительный перебой в электроснабжении приведет к «замораживанию» электролизных ванн, а перезапуск процесса требует определенных технических решений и сопряжен со значительными финансовыми расходами. Поэтому объекты бесперебойного энергоснабжения, подверженные ОЯ, также находятся в зоне повышенного риска.

Функционирование гидроэлектростанций (ГЭС) – ключевого источника энергии в производственном процессе РУСАЛа – в основном зависит от режима осадков. Нормальное количество осадков (соответствующее климатической норме или несколько большее нормы) благоприятно сказываются на режиме работы ГЭС и объеме выработки электроэнергии, а дефицит осадков – негативно.

Однако риски связаны не только с умеренными отклонениями от нормы, но, быть может даже в большей мере, с экстремальными отклонениями и сопутствующими опасными природными явлениями. На территории Российской Федерации встречаются более 30 видов опасных природных (гидрометеорологических) явлений – ОЯ (Руководящий документ РД 52.27.724-2009..., 2009), за которыми Росгидромет ведет регулярные наблюдения с целью их выявления и прогнозирования.

Проведенный опрос предприятий РУСАЛа, анализ ПЛАСов (планов по ликвидации аварийных ситуаций) позволил выделить следующие особенности воздействия ОЯ, ассоциированных с погодой, на производственный процесс, связанный с добычей алюминий-содержащих пород (бокситов и нефелинов), производством глинозема и первичного алюминия:

– *сильный ветер*, который приводит к ограничению работ, в том числе по причинам неблагоприятных метеорологических условий, обрыву линий электропередач (ЛЭП), обрушению опор ЛЭП, ущербу зданиям и сооружениям, остановке погрузочно-разгрузочных и ремонтных работ на открытых участках, сильному запылению на шламовых полях и других объектах, где возможно пыление, превышению концентрации загрязняющих веществ в воздухе населённых мест;

– *сильные осадки* в виде снега или дождя, которые приводят к подтоплению зданий и сооружений, временному прекращению энергоснабжения, остановке работы на карьерах, ограничению погрузочно-разгрузочных работ и транспортных перевозок, переполнению уровня на шламовых полях и прудах-накопителях сточных вод, прорыву дамб гидротехнических сооружений, нарушению работы сооружений по очистке сточных вод, обрыву линий электропередач;

– *ухудшение видимости* (туман), которое ограничивает/останавливает транспортное сообщение;

– *гололед и гололедица*, которые ограничивают передвижение людей на промплощадках, увеличивают риск травматизма, дорожно-транспортных про-

исшествий (ДТП), прекращения электроснабжения в результате обрыва проводов ЛЭП из-за отложений льда или налипания мокрого снега;

– *экстремальные температуры* (сильные жара или мороз), при которых:

а) повышается расход энергии на обогрев или кондиционирование, а также расход воды на охлаждение оборудования в жару или пара на его подогрев в мороз;

б) энергетическое оборудование работает на экстремальных нагрузках, увеличивающих риск аварий, нарушение тепловых балансов производственного и энергетического оборудования, что ведет к ухудшению технологии;

в) в сильные морозы происходит смерзание некоторых расходных материалов (пека и кокса), замерзание водопроводов, мазутопроводов, трубопроводов рабочих растворов, шлама, сточных вод, т.е. требуется дополнительное время на разогрев;

г) в жару повышается риск тепловых ударов у персонала;

– *высокие уровни воды при половодьях* (сезонный подъем уровня воды в реках, вызываемый таянием снега и льда) *и наводках* (быстрый подъем уровня воды, возникающий нерегулярно из-за интенсивных дождей и быстрого снеготаяния). Вследствие этих явлений возможны затопление населенных пунктов, различных сооружений и производственных объектов, ограничение транспортного сообщения, размывы объектов инфраструктуры;

– *грозы* сопряжены с риском возникновения аварий на оборудовании, связанном с обеспечением электроснабжения;

– *неблагоприятные метеорологические условия (НМУ)*, т.е. погодные условия (слабый ветер, туман), которые способствуют накоплению загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы и их распространению на близлежащие территории, в связи с чем предприятия обязаны ограничивать или сокращать объемы своей деятельности, чтобы уменьшить выбросы;

– *лесные и степные пожары* сопряжены с риском полной или частичной утраты инфраструктуры, жилищ сотрудников; создают неблагоприятные условия работы (запах гари, задымленность), приводят к сокращению объемов производства из-за вынужденной остановки по причине НМУ.

Наблюдаемые и ожидаемые в XXI веке изменения климата на территории России могут оказать существенное влияние на встречаемость этих ситуаций. По данным Росгидромета (Доклад об особенностях климата...., 2018) по регионам, представляющим интерес для РУСАЛа, наблюдалось интенсивное потепление весной в Средней Сибири ($+0.77^{\circ}\text{C}/10$ лет) и Восточной Сибири – весной ($+0.72^{\circ}\text{C}/10$ лет) и осенью ($+0.74^{\circ}\text{C}/10$ лет). В режиме осадков зафиксированы следующие изменения: увеличение годовых сумм осадков со скоростью 2.1% за период 1976-2016 гг. – в среднем по стране, в весенний период – 5.9% за 10 лет, в Восточной Сибири – до 15-20% за 10 лет. Высокие уровни годового стока рек были благоприятны для работы ГЭС и энергообеспечения.

Прогнозные оценки климатических изменений на территории Российской Федерации в XXI в. представлены в работе (Второй оценочный доклад..., 2014). Согласно этому докладу «изменение климата в России не сводится лишь к повышению средней температуры воздуха у поверхности Земли, но

проявляется во всех компонентах климатической системы, в том числе в изменениях гидрологического режима, ледяного покрова морей, экстремальности климата и т.д.». Все без исключения современные климатические модели предсказывают потепление климата России в XXI в., заметно превышающее среднее глобальное потепление. Наибольший рост приземной температуры ожидается зимой, причем он усиливается к северу, достигая максимальных значений в Арктике. Летом, напротив, зональность потепления практически не выражена. Уже в начале XXI в. потепление климата в большинстве регионов России превышает стандартное отклонение, характеризующее межмодельный разброс оценок. С середины XXI в. количественные различия между картинками потепления, отвечающими разным сценариям, быстро нарастают.

Ниже эти данные приводятся в том числе с возможной детализацией по регионам присутствия РУСАЛа.

Температура. Повышение температуры зимой на территориях всех федеральных округов Российской Федерации, кроме Северо-Кавказского и Южного, будет заметно превышать ее рост в летний сезон. Потепление в России в течение XXI века будет существенно превышать средние глобальные значения. Абсолютный годовой максимум температуры, как показатель экстремальности летней температуры воздуха, может заметно увеличиться, в первую очередь, на юге Европейской части России (ЕЧР). В то же время следует ожидать заметного смягчения температурного режима в холодное время года. При этом отмечается значительная неопределенность в модельных расчетах по регионам с редкой сетью метеорологических наблюдений, к которым, в первую очередь, относятся Сибирь и районы Крайнего Севера.

Осадки. В течение всего XXI века для всех сценариев отмечается устойчивая тенденция увеличения количества осадков в зимний период на всей территории России. В летний период увеличение средних за сезон сумм осадков ожидается на большей части территории России за исключением южных регионов, где к концу века ожидается уменьшение осадков до 25% по сравнению с концом XX века. Изменения осадков будут заметно различаться для разных федеральных округов зимой по величине, а летом как по величине, так и по знаку.

Сток рек. Значительных изменений годового стока крупнейших рек в первой половине XXI века не прогнозируется – имеется вероятность небольшого увеличения стока в пределах 5% в среднем, что соответствует естественной изменчивости. По р. Енисей даются следующие оценки изменений годового стока по отношению к периоду 1981-2000 гг.:

- в период 2011-2030 гг. изменения 6...7%,
- в период 2041-2060 гг. изменения 11...16%,
- в период 2080-2099 гг. изменения 16...27%.

Сезонные изменения температуры воздуха могут обусловить увеличенный зимний сток и несколько уменьшенный весенний в суммарном годовом стоке.

Снежный покров. Многолетняя мерзлота. На водосборе р. Енисей и р. Лены (в меньшей степени) с конца XX века значительно увеличивается масса

тающего снега, что может привести к возникновению высоких паводков и увеличению риска наводнений.

Многолетняя (вечная) мерзлота занимает около 65% территории России, что включает в себя и некоторые районы присутствия РУСАЛа в Забайкалье и Республике Хакасия. Согласно данным Росгидромета наблюдаемое в настоящее время увеличение средней глубины сезонного протаивания многолетней мерзлоты в ближайшие 30 лет будет постепенно увеличиваться, а температура многолетнемерзлых пород – повышаться. Деградация вечной мерзлоты оказывает негативное воздействие на несущую способность и устойчивость сооружений, дорожного полотна, трубопроводный транспорт, особенно, в городской среде. Однако, наиболее значительные изменения ожидаются в Якутии и Арктических регионах. На остальной территории прогнозируется слабое проявление геокриологических опасностей, включая районы присутствия РУСАЛа.

Лесные/степные пожары. На долю лесных пожаров в Сибири и Дальнем Востоке приходится 78% площади всех лесных пожаров России. Повышение среднегодовой и среднесезонной (в теплое время года) температуры воздуха и уменьшение количества осадков увеличивают пожарную опасность в этих регионах, что создает угрозу для инфраструктуры ОК РУСАЛ и жилищ сотрудников компании. Аналогичные выводы справедливы и в отношении степных пожаров, что актуально для Хакасии

Строительство. Транспорт. Долговечность зданий напрямую зависит от циклов замораживания и оттаивания стенового материала, поэтому увеличение числа переходов температуры воздуха через 0°, наблюдаемое в последние десятилетия на ЕЧР и на юге Сибири, приведет к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий, автодорог и других сооружений¹. Здания, построенные в советское время, проектировались на основе климатических параметров середины XX века, что в условиях усиления экстремальной климатической нагрузки связано с большей вероятностью разрушений.

В результате потепления климата прогнозируется изменение характеристик отопительного периода, а именно сокращение отопительного периода (до 5 сут/10 лет на севере ЕЧР), что может благоприятно сказаться на снижении объема потребления энергоресурсов в холодное время года. Одновременно актуальной проблемой становится перегрев зданий в теплый период года и повышение энергопотребления на кондиционирование.

Наземная транспортная инфраструктура испытывает преимущественно негативное воздействие происходящих изменений климата. Наблюдается ускоренное разрушение автодорог и других объектов, увеличиваются эксплуатационные расходы, в том числе для обеспечения безопасности движения, и т. д. Наиболее опасные последствия связаны с увеличением интенсивности осадков. При этом в некоторых регионах повышается вероятность речных

¹⁾ Особенности климатических условий при температурах «около 0°» рассмотрены в работе (Кислов и др., 2017).

ливневых наводнений, оползневых и селевых процессов с возможными разрушениями инфраструктуры.

Электросетевое хозяйство. Согласно данным Росгидромета (Доклад о климатических рисках...2017) причиной перерывов энергоснабжения в 17% случаев являются природные факторы, «из которых на долю погодных условий приходится 90%. Наиболее опасными для электросетевого хозяйства являются ветер и осадки (8% всех отключений) и молнии (7% всех отключений)». Наибольшее число аварий в ОЯ отмечается в зимнее время при сильном ветре и гололеде. Гололедно-ветровые нагрузки становятся причиной обрывов проводов и разрушения несущих опор ЛЭП. Неблагоприятными последствиями жаркой погоды являются растяжение проводов (возможны их провисание и короткое замыкание от контакта с соседними проводами).

Гидроэнергетика. Прогнозируемое в первой трети текущего столетия небольшое увеличение годового стока рек России – в пределах 5% современного уровня – не окажет существенного влияния на годовую выработку гидроэлектроэнергии в целом по стране. Увеличение меженного стока (главным образом – зимнего) благоприятно для выработки гидроэлектроэнергии, но может потребовать пересмотра правил регулирования водных ресурсов водохранилищ и каскадов водохранилищ. От режима осадков и запасов воды в снежном покрове на водосборе водохранилища зависит объем притока воды в водохранилище, а также уровни в верхнем и нижнем бьефах. Изменение в месячных суммах осадков на 1% в среднем вызывает 1%-е изменение в выработке электроэнергии на ГЭС (Энциклопедия климатических ресурсов ..., 2005). Наводнения и маловодья будут наиболее существенными отрицательными последствиями изменения климата для гидроэнергетики.

Здоровье населения. Такие изменения климата, как повышение температуры и влажности, способствует распространению инфекционных заболеваний, например, клещевого энцефалита. Традиционно неблагополучными по распространению этого природно-очагового заболевания являются регионы Урала и Сибири (регионы присутствия РУСАЛа – Свердловская область и Красноярский край). Прогнозируется смещение границы распространения основных переносчиков клещевого энцефалита на северо-восток ЕЧР и Сибири и увеличение периода их активности.

К климатическим рискам для населения относится также экстремальная жара и холод. С погодными аномалиями связано обострение сердечно-сосудистых заболеваний, инсультов. Кроме того, в жару увеличивается риск получения тепловых ударов, в холод – обморожений. Загрязнение воздуха, особенно в городах может усилить неблагоприятное воздействие волн жары и холода на здоровье населения.

В табл. 1 суммирована приведенная выше информация. Каждая строка соответствует определенному объекту воздействия – персоналу, инфраструктуре или этапу производственного процесса. Для такого объекта указывается специфическое неблагоприятное погоднo-климатическое воздействие и оценка риска – см. второй столбец. В третьем столбце указываются возможные меры адаптации.

Таблица 1. Объекты погодно-климатического воздействия в система ОК РУСАЛ, риски и адаптация

Направление производственной деятельности, персонал	Воздействие/Риски	Возможные меры адаптации
1	2	3
<p>Добыча алюминий-содержащего сырья (бокситов/нефелинов) открытым способом</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Прекращение работ из-за сильных осадков – Увеличение объема водоотведения карьерных вод, обводнение карьеров из-за частых и интенсивных дождей. Также увеличивается влажность боксита, что негативно влияет на его транспортировку до глиноземного производства. Также размываются временные дороги – Экстремальные температуры (сильные жара или мороз) могут стать причиной сокращения времени нахождения людей на участках. При сильном морозе затрудняется работа с грунтом и увеличивается объем буровзрывных работ – Сухая погода и сильный ветер повышают уровень пыления при добыче и транспортировке бокситов, требуется увеличение частоты мероприятий по пылеподавлению <p>Перечисленные выше риски могут стать причиной вынужденных простоев/сокращения объемов производства</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Специализированное гидрометеорологическое обслуживание (получение прогнозов погоды, штормовых предупреждений) – Проектирование инфраструктуры для добычи руды с учетом роста неблагоприятных погодных явлений и с повышенным запасом прочности/мощности.
<p>Производство первичного алюминия (электролиз)</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Экстремальные температуры (сильные жара или мороз) – повышается расход энергии на дополнительный обогрев или охлаждение – В сильные морозы происходит смерзание некоторых расходных материалов (пека и кокса), т.е. требуется дополнительная энергия и время на их размораживание/разогрев – Сильный дождь при условии сложного рельефа и/или плохо работающей ливневой канализации может вызвать подтопление нижних этажей зданий и сооружений, временное прекращение энергоснабжения, что может привести к вынужденным простоям/сокращению объемов производства – Повышение среднегодовой температуры воздуха может привести к сокращению отопительного периода на объектах инфраструктуры и, соответственно, к экономии расходов 	<ul style="list-style-type: none"> – Проектирование систем стока воды/ливневок с учетом климатической информации – Наличие резервных источников электроэнергии – Планирование энергопотребления на основе долгосрочных прогнозов погоды – Проектирование инфраструктуры с повышенным запасом прочности (применение актуализированных СНиПов).

1	2	3
	<ul style="list-style-type: none"> – Увеличение числа переходов температуры воздуха через 0° приведет к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий, автодорог и других сооружений. Это важно учитывать в среднесрочной перспективе с учетом срока службы зданий и сооружений основных заводов (50 и более лет). 	
<p>Производство глинозема</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Риск прорыва шламохранилищ, прудов-накопителей и других напорных гидротехнических сооружений из-за сильных дождей и дождевых паводков – Увеличение числа переходов температуры воздуха через 0° приведет к ускоренному старению ограждающих конструкций зданий, автодорог и других сооружений. Это важно учитывать в среднесрочной перспективе с учетом срока службы зданий и сооружений основных заводов (50 и более лет). 	<ul style="list-style-type: none"> – Должное внимание обслуживанию гидротехнических сооружений и мероприятиям по предотвращению их разрушения – Проектирование инфраструктуры с повышенным запасом прочности.
<p>Энергоснабжение</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Сильный ветер, гололед или отложения мокрого снега зимой могут привести к обрыву ЛЭП и прекращению электроснабжения. Летом сильная жара может стать причиной растяжения проводов и их разрыва, а также перебоев в электроснабжении – Увеличение стока рек способствует увеличению выработки электроэнергии на ГЭС – Наводнения и маловодья отрицательно сказываются на работе ГЭС, на количестве вырабатываемой энергии 	<ul style="list-style-type: none"> – Регулярные профилактические работы, включая антигололедные мероприятия на ЛЭП – Специализированное гидрометеорологическое обслуживание. Учет гидрологической фактической и прогностической информации при планировании работы ГЭС – Наличие резервных источников электроэнергии
<p>Погрузочно-разгрузочные работы</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Ограничения работ, в том числе по причинам неблагоприятных метеорологических условий – Увеличивается риск травматизма при работах в условиях сильных осадков и гололедных явлений 	<ul style="list-style-type: none"> – Обустройство погрузочно-разгрузочных площадок для работы в различных погодных условиях
<p>Транспортные перевозки</p>	<ul style="list-style-type: none"> – Ускоренное старение/разрушение дорог из-за циклов замораживания и оттаивания дорожного покрытия – Размыв дорог из-за дождевых паводков – Ухудшение видимости при тумане и осадках – Повышенный риск дорожно-транспортных происшествий 	<ul style="list-style-type: none"> – Строительство дорожных объектов из материалов, устойчивых к увеличению циклов замораживания и оттаивания дорожного покрытия и с учетом климатической информации – Учет прогностической гидрометеорологической информации при планировании перевозок – Страхование перевозок/инфраструктуры от ОЯ

1	2	3
Персонал	<ul style="list-style-type: none"> – Риск тепловых ударов в сильную жару – При росте среднегодовой температуры воздуха и влажности повышается риск распространения инфекционных заболеваний (например, клещевого энцефалита) – Риск жизни и здоровью в результате лесных пожаров 	<ul style="list-style-type: none"> – Локальное кондиционирование – Установление специальных режимов труда и отдыха – Вакцинация от инфекционных заболеваний – Страхование жизни

Обсудим более детально климатические условия в одном из регионов присутствия РУСАЛа – приведем данные по Красноярскому краю. На юге Красноярского края расположены два крупных предприятия РУСАЛа: Красноярский алюминиевый завод – г. Красноярск, завод построен в 1964 году, производит около четверти производимого в России алюминия (по данным годового отчета (Годовой отчет..., 2018)) и Ачинский глинозёмный комбинат (г. Ачинск, его строительство начато в 1955 г., первый глинозем получен в 1970 г., в 2017 году выпустил 945 тыс. т глинозема (Годовой отчет..., 2018), частично снабжает глиноземом Красноярский алюминиевый завод). В Красноярском крае также расположено совместное с ПАО «Русгидро» предприятие Богучанский алюминиевый завод (БоАз), работающий на базе Богучанской гидроэлектростанции. По проектной мощности производства БоАз занимает третье место в России после Красноярского и Братского алюминиевых заводов (<https://boaz-zavod.ru/about/>). Первая очередь производства была запущена в эксплуатацию в 2016 г.

Красноярский край обладает крупнейшим в России гидроэнергетическим потенциалом. Красноярская и Богучанская ГЭС снабжают электричеством расположенные в крае Красноярский и Богучанский алюминиевые заводы. Экономические показатели деятельности Красноярской ГЭС, объемы выработки энергии зависят, прежде всего, от притока воды в водохранилище.

Климат края довольно суровый и разнообразный, благодаря протяженности с севера на юг – от арктического до умеренного. По данным территориального подразделения Росгидромета ФГБУ «Среднесибирское УГМС» (<http://meteo.krasnoyarsk.ru>) и Гидрометцентра России (<http://www.meteoinfo.ru>) территориально осредненная средняя температура воздуха Красноярского края имеет отрицательное значение: -2.2°C . В г. Красноярске теплее – этот показатель равен $+0.9^{\circ}\text{C}$. **Абсолютный максимум** температуры воздуха на территории Красноярского края составляет $+40.1^{\circ}\text{C}$ (1901 г.), **абсолютный минимум** – (-65.6°C) (1979 г.).

Анализ многолетних наблюдений за температурой воздуха на территории края указывает на тенденцию к повышению годовой температуры воздуха. Аномалия годовой температуры воздуха за период 1936-2017 гг. относительно нормы (1961-1990 гг.) составила $+2.2^{\circ}\text{C}$ (<http://meteo.krasnoyarsk.ru/Обзоры/tabid/175/Default.aspx>). Оценка линейного тренда за десятилетие, рассчитанная за период 1936-2017 гг. составила $0.14^{\circ}\text{C}/10$ лет, за период 1988-2017 гг. $0.15^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Большая протяженность территории с севера на юг, сложная орография региона, и как следствие, различный характер атмосферной циркуляции определяют режим осадков в крае. Анализ тридцатилетия 1988-2017 г. указывает на рост количества осадков на значительной части региона. Максимальное увеличение годовой суммы осадков наблюдается в южных, центральных и северных районах Красноярского края, здесь количество осадков на каждые 10 лет возрастает на 20-30 мм.

Дискуссия

В настоящее время ограниченность научной информации и статистических данных о климатических воздействиях и соответствующем ущербе не позволяют провести детальную оценку для предприятий РУСАЛа. В целом, судя по отчетным документам компании, потенциальные риски можно охарактеризовать как умеренные. Если обратиться к информации зарубежных алюминиевых компаний, представленных в отчетах в рамках «Carbon Disclosure Project» за 2017 г. (www.cdp.net), то можно отметить сходство подходов и оценок.

Так, американская «Alcoa» в своем отчете CDP (www.cdp.net) за 2017 г. отмечает, что непосредственное воздействие опасных природных явлений сложно оценить (например, то, как повышение уровня моря повлияет на прибрежные предприятия в Исландии и Западной Австралии). Отмечается также, что изменение климата и погодных явлений может повлиять на энергообеспечение, доступ к пресной воде, транспортировку продукции и т.д. Для детализации и изучения рисков в новых регионах присутствия необходимы дополнительные исследования.

Австралийская «Alumina» к рискам, непосредственно связанным с климатом, относит опасные природные явления в регионах присутствия в Австралии и США (например, наводнения в Австралии или ураганы в Техасе).

Норвежская «Hydro» отмечает опасность наводнений. Компания была ответчиком в суде региона Пара в Бразилии, за ущерб, нанесенный в 2009 г. Тогда сильные дожди вызвали паводки, и из зоны добычи бокситов предприятием «Alunorte» за территорию очистных сооружений вылился красный шлам. Жителями и властями региона было подано более 5 000 исков к компании. По большинству уже состоялись суды с решениями в основном в пользу «Alunorte». Компания сумела доказать, что утечка произошла не по халатности, а в результате форс-мажора – экстремального погодного явления. Однако, эти судебные дела полностью не завершены, а 2018 г. ситуация с дождевыми паводками и выходом красного шлама повторилась вновь. Компания активно сотрудничает с местными властями в Бразилии по устранению последствий ОЯ (<https://www.hydro.com>). В списке климатических рисков «Hydro» помимо дождевых паводков также засуха в некоторых регионах бассейна р. Амазонки и тропические циклоны и связанные с ними имущественные потери и остановка производства. Положительно отразится на работе ГЭС повышение

среднегодового количества осадков, что обеспечит выработку гидроэлектроэнергии в достаточном количестве для ее использования в производстве алюминия.

Австрало-британская «Rio Tinto» выделяет следующие виды факторов погодно-климатических рисков:

– Тропические циклоны и изменение их интенсивности и частоты, что негативно влияет как на производство, так и транспортное сообщение;

– Изменение среднегодовой температуры и связанное с этим сокращение периода ледостава на северных реках, т.е. ограничение использования зимников (зимних трасс по руслу рек), вследствие чего будет изменена существующая логистика, что означает рост затрат. Компания ссылается на 2006 г., когда из-за теплой зимы и невозможности пользоваться зимниками, доставка топлива на удаленные предприятия в Канаде осуществлялась воздушным путем, что значительно повысило расходы. В качестве меры по смягчению этих рисков компания в 2012 г. в этом регионе приступила к строительству ветряного парка, чтобы снизить зависимость от привозного топлива. Размер инвестиций – 30 млн долл. США. Это решение позволит сэкономить до 4 млн литров дизельного топлива в год и до 12 тыс. тонн выбросов CO₂;

– Изменение режима осадков, которое имеет положительные и негативные последствия для ГЭС в Северной Америке – соответственно дефицит или избыток водных ресурсов. Однако, имеется неопределенность в оценках, и изменения будут по-разному проявляться в различных регионах. Для получения большей информации компания участвует в региональном исследовательском проекте по изучению климата бассейна озера Сен-Жан (Lac Saint-Jean) в Канаде (стоимость 100 000 долл. США/год);

– Сильные осадки и засуха оказывают негативное воздействие как на производственные объекты, так и на жилищную инфраструктуру сотрудников. Компанией проводятся совместные мероприятия (семинары) с местным населением по вопросу смягчения негативного воздействия этих экстремальных явлений;

– Повышение уровня моря несет риски затопления прибрежных территорий, на которых расположены предприятия «Rio Tinto». В качестве меры по управлению этими рисками гидрометеорологическая информация учитывается в решениях по новым инфраструктурным проектам, особенно в прибрежных зонах.

Многими из указанных компаний отмечается недостаточный уровень знаний и необходимость дальнейших исследований по выявлению и оценке климатических рисков, разработке стратегий адаптации, что создает новые возможности для совместной деятельности бизнеса и научного сообщества, в том числе для национальных гидрометеослужб.

Такое сотрудничество отвечает целям и обязательствам стран по Парижскому соглашению (разработка национального плана по адаптации), целям Глобальной рамочной основы климатического обслуживания (ГРОКО) ВМО, и, главное, интересам бизнеса.

Заключение

Доступные данные о происходящих и ожидаемых климатических изменениях на территории Российской Федерации позволяют оценить потенциальные последствия для Компании лишь в общем виде.

Проведенный на предприятиях РУСАЛа опрос не выявил фактов существенных ущербов от ОЯ. Многие предприятия оценивают свою погодную зависимость как незначительную. Однако, систематический анализ погодных и климатических рисков, учет информации об ущербах в результате ОЯ на предприятиях РУСАЛа не проводился. Настоящее исследование позволяет сделать вывод о наличии определенных климатических рисков для Компании, наиболее выраженных – там, где погодные условия непосредственно влияют на производственный процесс (добыча бокситов открытым способом, погрузка-разгрузка, транспортное сообщение и т.д.) Меняющийся климат также создает дополнительные риски для гидроэнергетики – ключевого источника энергии в ОК РУСАЛ в части водообеспеченности. Представляется полезным собрать дополнительную информацию о региональных особенностях изменения климата и их воздействия на гидроэнергетику для дальнейшего использования в планировании мер адаптации.

Климатические риски для инфраструктуры – зданий и сооружений, дорог, линий электропередач и т.д. – заслуживают особого внимания. В Сибирском ФО – основном регионе присутствия РУСАЛа – прогнозируемое повышение температуры воздуха, частые оттепели в зимний период неблагоприятно скажутся на состоянии объектов, срок эксплуатации которых во многих случаях превышает 50 лет. Необходимо учитывать актуальные (обновленные) нормы в строительстве, учитывающие особенности климатических условий для различных регионов Российской Федерации при возведении новых объектов.

Полученные в рамках настоящего исследования результаты говорят в пользу дальнейшего накопления и систематизации фактического материала, включая информацию о потерях и ущербе в результате ОЯ (качественные и финансовые показатели). Предметом дальнейшего изучения и анализа также может быть разработка планов адаптации к изменениям климата для отдельных регионов присутствия Компании и/или конкретных предприятий.

Отраслевые стратегии адаптации к изменению климата должны стать частью национального плана адаптации, разработка которого предусмотрена планом Правительства России по подготовке к ратификации Парижского соглашения (План Правительства..., 2016). Результаты настоящего исследования будут учтены в соответствующих предложениях Компании в этом направлении, а также могут быть интересны для развития специализированного климатического обслуживания в рамках ГРОКО ВМО.

Большинство предприятий РУСАЛа заключают договоры на специализированное гидрометеорологическое обслуживание с организациями Росгидромета. Однако пока основным мотивом является соблюдение федеральных или региональных регламентов по работе в НМУ. Полагаем, что усиление взаимо-

действия алюминиевой отрасли с научными учреждениями и экспертными организациями, а также с Гидрометеорологической службой России в изучении климатических рисков и разработки мер адаптации – дело ближайшего будущего.

Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам предприятий РУСАЛа, принявших участие в опросе и сборе информации, использованной при подготовке настоящей статьи, а также ФГБУ «Среднесибирское УГМС» за предоставленные подробные данные о климате в Красноярском крае и консультацию.

Список литературы

Бедрицкий А.И. 1997. О влиянии погоды и климата на устойчивость и развитие экономики. Метеорология и гидрология, № 10.

Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014. – Росгидромет, 61 с.

Годовой отчет РУСАЛа за 2017 год. Annual Report RUSAL 2017. 2018. Электронный ресурс. URL: www.rusal.com.

Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. 2017. – Санкт-Петербург, 106 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2017 год. 2018. – Росгидромет, 69 с.

Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2017 году. 2018. – ВМО-№ 1212, 40 с.

Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 11–2016 «Производство алюминия». 2016. – М., Росстандарт, Бюро НДТ, 156 с.

Кислов А.В., Евстигнеев В.М., Малхазова С.М., Соколихина Н.Н., Суркова Г.В., Торопов П.А., Чернышев А.В., Чумаченко А.Н. 2008. Прогноз климатической ресурсообеспеченности Восточно-Европейской равнины в условиях потепления. – МАКС Пресс Москва, ISBN 978-5-317-02481-9, 292 с.

Кислов А.В., Суркова Г.В., Матвеева Т.А. 2017. Метеорологические условия температурного диапазона «около нуля °С» в условиях меняющегося климата Западной Арктики. – Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 69-88.

Лайнер А.И. 1961. Производство глинозема. – М., Metallurgizdat, 619 с.

МГЭИК, 2014. Изменение климата 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной

группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. – МГЭИК, Женева, Швейцария, 163 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. т. II. Последствия изменений климата. 2008. – Москва, ГУ «НИЦ «Планета».

План Правительства Российской Федерации о реализации комплекса мер по совершенствованию государственного регулирования выбросов парниковых газов и подготовки к ратификации Парижского соглашения, принятого 12 декабря 2015 г. 21-й сессией Конференции Сторон Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. – Распоряжение Правительства Российской Федерации от 03.11.2016 № 2344-р).

Руководящий документ РД 52.27.724-2009 «Наставление по краткосрочным прогнозам погоды» (РД 52.88.629 – 2002). Электронный ресурс. URL: <https://meteoinfo.ru/hazards-definitions>.

Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. 2006. Выявление климатогенных изменений. – М.: Издательский центр «Метеорология и гидрология», 324 с.

Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на восточно-европейской равнине и в Западной Сибири. 2011. /Под редакцией: Касимов Н.С., Кислов А.В. – Макс-Пресс Москва, ISBN 978-5-91678-082-6, 493 с.

Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации. 2005. /Под ред. Н. В. Кобышевой, К.Ш. Хайрулина. – СПб, Гидрометеиздат, 319 с.

IPCC 2007. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. /M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds). – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Morgan M.G., Henrion M. 1990. Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis. – Cambridge University Press, Cambridge, 332 p.

Moss R.H., Schneider S.H. 2000. Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to lead authors for more consistent assessment and reporting. – In: Guidance Papers on the Cross Cutting Issues of the Third Assessment Report of the IPCC /eds. R. Pachauri, T. Taniguchi and K. Tanaka. – World Meteorological Organization, Geneva, pp. 33-51.

Surminski S., Di Mauro M., Baglee A., Connell R., Hankinson J., Haworth A., Ingirige B., Proverbs D. 2018. Assessing climate risks across different businesses and industries: an investigation of methodological challenges at national scale for the UK. – Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 376, issue 2121.