

УДК 332.055.22

Регион: экономика и социология, 2024, № 3 (123), с. 5–23

Ю.П. Воронов

ТАЙГА ИДЕТ НА СЕВЕР

В статье рассмотрена проблема продвижения тайги на север как части последствий изменения климата в мире. Цель публикации состоит в том, чтобы исследовать новые возможности для развития экономики Сибири, а также систематизировать основные направления адаптации экономики к изменяющимся условиям хозяйствования. Расширение площади тайги увеличивает лесные ресурсы России. Изменяется состав тайги: сокращается доля лиственницы и сосны, на их место приходят кедр и ель, а также смешанные леса. Происходят изменения и в составе диких животных, и в структуре рыб, обитающих в морях, реках и пресных водоемах. Автором проанализированы результаты ранее проведенных исследований по данной теме, систематизированы и интегрированы их результаты.

В настоящее время наблюдается отставание российской (в частности, сибирской) науки от мировой в прогнозировании изменений климата и их последствий, а также в разработке и применении математических моделей, на которых базируются прогнозы. Вторым недостатком, от которого нужно избавиться, состоит в подходе к затронутой проблеме, который выявился в системе государственного управления, а именно в ожидании от изменений климата исключительно потенциального ущерба. По мнению автора, продвижение тайги на российский север расширяет возможности развития экономики страны.

Ключевые слова: тайга; тундра; новые возможности; увеличение ресурсов; изменение климата; космический мониторинг; имитационные модели; прогнозы; ель; лиственница; северный олень; федеральные программы

Для цитирования: Воронов Ю.П. Тайга идет на север // Регион: экономика и социология. – 2024. – № 3 (123). – С. 5–23. DOI: 10.15372/REG20240301.

Тайга занимает 60% территории России, или 17% суши Земли. Все, что происходит с тайгой, для российской экономики запредельно важно. А события там происходят значительные. Прежде всего, площадь, занимаемая тайгой, заметными темпами увеличивается. В связи с потеплением климата основное приращение площади тайги идет на севере за счет тундры.

Директор Института космических исследований РАН А.А. Петрукович¹ сообщает: «В ИКИ создан огромный архив космических наблюдений Земли – более 4 петабайт. К сожалению, 95% этой информации получено с зарубежных спутников. Есть, например, данные по состоянию океана, растительного покрова Земли, ледового покрова. Это позволяет отслеживать долговременные изменения климата по всей совокупности параметров. Зафиксировано постепенное движение границы тайги и тундры на север. Это свидетельствует не о разовом повышении температуры, а о накоплении изменений. И такого рода наблюдения имеют не только экологическое, но и политическое значение» [11, с. 21].

Ранее Института космических исследований о смещении тайги на север в Западной Сибири сообщали исследователи из Института экологии растений и животных Уральского отделения РАН, а также из Тюменского госуниверситета, работавшие совместно с финскими учеными. В их исследовании было отмечено также сокращение площадей, занимаемых тундрой в горах Южной Сибири [3].

Нас должно волновать не столько экологическое и политическое, сколько экономическое значение происходящих изменений. Увеличение площади тайги говорит о том, что у России в связи с этим появляются неоспоримые аргументы в отношении претензий со сто-

¹ Анатолий Алексеевич Петрукович – российский геофизик, специалист в области космической плазмы, член-корреспондент РАН.

роны международных организаций по поводу выбросов в атмосферу углекислого газа российскими предприятиями.

Но еще более важным является понимание того, что означает продвижение тайги на север для экономического роста России и что нужно сделать для того, чтобы этот процесс принес российской экономике максимальную пользу. Однако это обстоятельство не учитывается ни в Стратегии пространственного развития Российской Федерации, ни в критическом анализе этого документа [5].

Леса играют большую роль в гидрологическом цикле, регулируя потоки поверхностных и подземных вод, обеспечивая инфильтрацию и высокое качество воды. Они способствуют пополнению грунтовых вод и снижают ущерб от наводнений.

Результаты расчетов по имитационной модели показали, что стартовые температура и влажность воздуха не оказывают значительного влияния на изменения состава растительности. Кроме того, доказано, что локальные факторы оказывают меньшее влияние, чем глобальные. В частности, вихри, идущие от тропосферы, существенно более стабильны, чем самые продолжительные локальные ураганы [20]. Общий вывод состоит в том, что при изучении влияния различных факторов на состав растительности необходимо учитывать общие изменения климата, использовать результаты прогнозных расчетов по другим частям земного шара.

БОЛЬШЕ РЕСУРСОВ

Продвижение российской тайги на север идет по очень протяженной линии. Россия занимает 40% побережья Северного Ледовитого океана. Точных замеров протяженности границы тайги и тундры по европейской и азиатской территориям России нет, это еще предстоит сделать. Поэтому приходится использовать очень грубые (прикидочные) оценки.

Расстояние по прямой от Мурманска или Архангельска до Анадыря составляет примерно 4800 км, от Воркуты до Анадыря – 4400 км. Поэтому для расчетов общего увеличения площади тайги широтную протяженность ее границы с тундрой (с переводом прямой линии в геодезическую) можно принять за 5000 км. Продвижение тайги на

север всего на 200 м в год дает ежегодный прирост площади тайги в размере 1000 кв. км, или 100 тыс. га. Один гектар тайги дает примерно 1 куб. м древесины в год [10]. Продвижение тайги на север дает тем самым прирост ресурсов древесины в объеме примерно 100 тыс. куб. м в год, что составляет примерно 0,5% от нынешнего уровня производства. За 20 лет это составит около 10% годового производства.

Продвижение тайги на север приводит к увеличению роста древесной биомассы в среднем по тайге. В северной тайге средняя высота деревьев составляет 10–20 м, в средней тайге – 20–25 м. В южной тайге высота деревьев доходит до 50 м. Пересчет показателей изменения средней высоты таежных деревьев и, соответственно, изменения темпов прироста древесной биомассы представляет собой важную и непростую задачу для отечественной науки. Без ее решения сложно планировать желательные (с учетом воспроизводства леса) темпы лесозаготовок.

По экспертным оценкам, учитывающим правила отвода лесосек, этот прирост составит также примерно 0,5%². Итого каждые 20 лет ресурсы лесозаготовок будут составлять около 20% от текущего объема лесозаготовок. Эти оценки – очень приближенные и слегка заниженные. Они пригодны лишь для общего вывода о том, что прирост лесных ресурсов в связи с продвижением тайги на север будет существенным и создаст новые возможности использования лесных ресурсов.

Имеющиеся оценки могут быть снижены с учетом того, что наряду с продвижением тайги на север идет отступление тайги на юге, причем соотношение скоростей изменения северной и южной границ тайги пока не изучено до той степени, чтобы результаты исследований можно было использовать в расчетах. Встречаются лишь отдельные замечания, что отступление тайги на юге идет медленнее, чем увеличение ее площадей на севере. Причина недостаточной конкретности таких замечаний состоит в том, что на юге тайга часто

² См.: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 17.10.2022 г. № 688 «Об утверждении Порядка отвода и таксации лесосек...». – URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/33560>.

замещается лиственными лесами и ее граница с лугами и степью очерчена менее четко.

Увеличение средней высоты деревьев в тайге приводит к росту толщины подстилки, верхняя часть которой становится гарантированно сухой. Это резко повышает частоту и силу лесных пожаров и улучшает условия размножения вредителей. В связи с этим возникает острая необходимость увеличивать бюджетные расходы на обеспечение сохранности тайги: мониторинг и профилактику пожаров, болезней и вспышек численности вредителей. Пожары в тайге, частые в последние годы, говорят о том, что потребность в таком увеличении затрат нарастала давно, а продвижение тайги на север эту потребность усилило. Уже сейчас отмечаются увеличение числа значительных пожаров и их интенсивность. За прошедшие два десятилетия пожары стали основной причиной сокращения площади лесов не только в России, но и в Канаде, США и Австралии.

В зоне тундры, помимо смещения границ лесной растительности, происходит быстрая деградация зоны многолетней мерзлоты [1]. В результате оседания почвы береговая линия морей Северного Ледовитого океана сдвинется на юг, но скорость этого смещения пока надежно не прогнозируется. Еще более неопределенным является будущий результат взаимодействия многих факторов, сопутствующих изменению береговой линии. В частности, продвижения на юг морского льда, изменения в связи с этим влажности воздуха, усиления ветров. Эти факторы будут воздействовать, в свою очередь, на масштабы пожаров и распространение вредителей лесов [19]. При этом оценки могут сдвинуться в любую сторону.

НОВАЯ ТАЙГА

Тайга, в отличие от других видов леса, имеет меньшее разнообразие пород деревьев. В основном это всего лишь пять видов: сосна, лиственница, пихта, кедр и ель. В смешанных и лиственных лесах число видов деревьев может достигать сотен.

Вследствие потепления климата в составе самой тайги также будут происходить и уже происходят изменения. Типичная для Сибири лиственница замещается елью. Лиственничные леса повышают веро-

ятность распространения низовых пожаров из-за осеннего опадения хвои и накопления ее на земле. Но верховые пожары будут распространяться с меньшей интенсивностью. Еловые леса, напротив, повышают вероятность верховых пожаров и снижают вероятность низовых. В связи с потенциальным изменением характера лесных пожаров требуются разработка специального программного обеспечения анализа спутниковых снимков, построение имитационных математических моделей и прогнозные расчеты.

Кроме того, вытеснение лиственницы вызывает потребность изменений в технологиях лесозаготовок и деревообработки. Древесина ели имеет больше сучков и потому более сложна в переработке. По этой же причине при заготовке ели образуется больше отходов.

Существенно более значительные объемы хвои позволят создать новую отрасль производства хвойных концентратов, которые будут использоваться как кормовые добавки для скота, как биопрепараты для защиты и стимулирования роста растений, а также в медицине и косметологии. Создание любой новой отрасли промышленности – масштабная государственная задача.

Впрочем, дело не только в технологиях заготовки и переработки. Изменение состава тайги требует новых технологий борьбы с вредителями лесов. У лиственницы и сосны свои враги, у ели они совсем другие. Изменение видового состава тайги вследствие изменения климата является основным фактором изменения продуктивности лесов [18].

Леса воздействуют на водоемы и климат на локальном, региональном и глобальном уровнях, и потому они представляют собой существенный элемент потенциала смягчения изменений климата. Сохранение и увеличение площади лесов представляет собой актуальную задачу, и во многом из-за того, что благодаря лесам на Земле сохраняются запасы пресной воды – самого дефицитного ресурса для человека.

Зачастую леса являются частью сельскохозяйственных систем, обеспечивая защиту полей от ветра, предоставляя возможность полезным почвенным животным и микроорганизмам выживать в случае засухи, сильных ветров и других катаклизмов [8].

Продвижение тайги на север должно стать из стихийного регулируемым по критерию максимума пользы от первоочередного появления лесов в местах, где они дадут максимальный эффект для биоценоза и для человека, там, где они увеличат доступность водных ресурсов, снизят эрозию почв [15].

Еще один важный момент: продвижение тайги на север делает еще более экономически нецелесообразным проект поворота сибирских рек на юг, который разработали и начали его реализацию в 1968–1971 гг.³ Не имеет смысла ценой больших инвестиций снабжать пресной водой юг, если по берегам уже существующих северных рек расширяются возможности ведения сельского хозяйства.

Важнейшей по срочности работой становится формирование структурно новых фондов генетического материала надлежащего качества для целенаправленного распространения лесов в нужных направлениях. А для этого необходимо заранее подготовиться: сформировать систему соответствующих знаний об особенностях роста, совместимости пород деревьев и способах переработки и использования получаемой древесины и других продуктов леса. И параллельно требуется разработать правила и проекты международных соглашений о торговле в новых условиях и об обмене саженцами и другим генетическим материалом. А для этого, в свою очередь, необходимы подготовка и переподготовка соответствующих кадров, компетентных для участия в данном процессе [16].

Эти задачи не осознаются в полной мере даже в прикладных отраслевых исследованиях. Наблюдения за динамикой границ лесорастительных зон в условиях потепления климата необходимы, чтобы иметь возможность совершенствования системы оценки прогнозного состояния лесов и лесной растительности при ведении лесного хозяйства в этих изменяющихся климатических условиях [12]. Но за оценкой и таксацией должны следовать изменения в ведении лесного хозяйства и в использовании лесного фонда.

Спутниковый мониторинг вегетационного индекса северных территорий Сибири показывает, что стартовый весенний прирост био-

³ См.: *Проект «Тайга»: как в Советском Союзе ядерными взрывами хотели повернуть вспять реки.* – URL: <https://realt.onliner.by/2017/02/09/taiga> .

массы последовательно переходит с мая на апрель. Этот процесс идет по всей Сибири, но наиболее заметен на правом берегу Оби в районе ее среднего течения, в Васюганских болотах, в долине р. Ишим, а также в предгорьях Алтая [4]. Соответственно, приходит и более поздняя осень.

Значит, возрастает и продолжительность вегетационного периода. Из этого следует, что открываются возможности для освоения новых сельскохозяйственных культур. В этом может существенно помочь опыт советских селекционеров 1930-х годов, которым было поручено обеспечение северных территорий собственными продовольственными продуктами [2]. Повторить это продвижение возможно – в новом качестве, с учетом накопленного опыта и современных достижений в сельскохозяйственных технологиях, включая космические.

НОВЫЙ ЖИВОТНЫЙ МИР

Изменения флоры всегда приводят к изменениям фауны в целом, а не только лесных насекомых-вредителей. Так, продвижение тайги на север уже привело к сокращению численности леммингов и других грызунов, обитающих на границе тайги и тундры. Соответственно, стала сокращаться и численность хищников, которые ими питаются, в первую очередь соколов-сапсанов и ястребов. Меняется в целом структура биоценоза. На север продвигаются птицы, ранее не встречавшиеся в высоких широтах: вороны, соловьи, жаворонки, дрозды, утки, кулики и прочие птицы средней полосы. Это результаты многолетних исследований Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН.

В процессе потепления участвует снижение способности растительности отражать солнечные лучи (альбедо). Сокращение площади тундры приводит к уменьшению альбедо на севере, что ускоряет потепление. Налицо положительная обратная связь [13]. В результате увеличивается сезонное протаивание и возрастает деградация многолетней мерзлоты, что стимулирует увеличение выбросов метана, а темпы повышения температуры воздуха на территории Севера становятся выше средних по планете.

Расширяется кормовая база оленеводства: повышается продуктивность зеленых и ветошных пастбищ, создаются условия для восстановления нарушенных лишайниковых пастбищ. Взрослому оленю нужно примерно 4,7 кг сухой фитомассы в сутки. Способность пастбищ принять стада оленей (оленеемкость) увеличивается в диапазоне от 9 до 24%: благодаря более интенсивному росту лишайников в зимний период и более раннему росту травы в начале весны.

Основные корма зимнего периода – лишайники. Продвижение тайги на север предваряется продвижением на север кустарников, которые снижают годовой прирост лишайников. В связи с этим возможна нехватка питания для оленей в зимний период. Это, в свою очередь, потребует разработать новую схему оборота оленьего стада, когда поголовье поздней осенью будет профилактически сокращаться.

Изменение климата вызывает более продолжительные половодья. Это создает более благоприятные условия для размножения и нагула рыб. Одновременно это приводит к проникновению в северные и в горные водные объекты частиковых видов рыб и к вытеснению ценных видов.

Морское рыболовство до сих пор концентрировалось лишь в небольшой части Российской Арктики – в Баренцевом и Белом морях, где промысловое значение имеют треска, пикша, сельдь, зубатка, камбала и палтус. С продвижением тайги на север в прибрежных водах северных морей появляется больше крупных экземпляров палтуса, трески, наваги. Возможным становится даже промышленный вылов сельдевой акулы [7].

Исследователями из Дании продвижение тайги на север связывается с одновременным увеличением на планете площади пустынь [14]. Это означает, что за пределами России становится меньше земли, пригодной для ведения сельского хозяйства. И это создает для России новые конкурентные преимущества на мировых рынках продовольствия, прежде всего на зерновом рынке. На протяжении многих десятилетий основная конкуренция на мировом зерновом рынке идет между продукцией, выращиваемой на Великих равнинах (США и Канада) и в Великой Евразийской степи (Россия, Казахстан и Украина). Продвижение тайги на севере и ее отступление на юге резко

повышают конкурентные преимущества России на этом рынке. Полоса евразийской степи расширяется в меридиональном направлении. Чтобы использовать соответствующие преимущества, подготовку к увеличению производства зерна следует начинать уже сейчас.

ПРИЧИНЫ ТЕКУЩЕГО ОТСТАВАНИЯ СИБИРСКОЙ НАУКИ В МОНИТОРИНГЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Еще одно обстоятельство касается самой процедуры мониторинга последствий изменения климата, и конкретно продвижения тайги на север. Российские исследователи для оценки и прогноза этих процессов используют британскую модель HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model, третья версия). Это вряд ли свидетельствует об успехах отечественной прикладной математики.

При этом нужно вспомнить о том, что полвека назад именно модели климатических изменений, разработанные под руководством Г.И. Марчука, были визитной карточкой достижений Вычислительного центра Сибирского отделения АН СССР. В 1964 г. Г.И. Марчук создал на мехмате НГУ кафедру математических методов в динамической метеорологии. Были все основания считать это стартом будущего моделирования климата мира. Но победила линия на более практические работы – на математическое обеспечение краткосрочных прогнозов погоды. В 1971 г. в Западно-Сибирском управлении Гидрометслужбы появилась новая гидродинамическая модель прогноза ДИАБАТ, по которой до 1997 г. строились численные прогнозы погоды в Западной Сибири.

Британские ученые начали свои компьютерные прогнозы погоды и климата в 1952 г. с ежедневных прогнозов на следующие сутки для небольшой территории в центре Англии. В 1959 г. с получением более мощного компьютера прогнозы распространились на территорию Западной Европы и Северной Атлантики. Затем были технические и программные преобразования в 1965, 1971 и 1982 гг. Именно тогда было обеспечено лидерство британской науки в долгосрочных прогнозах погоды и климата [17]. Сибирским ученым оставалось лишь догонять своих британских коллег.

Но догнать не удалось, и вот по какой причине. Математический аппарат, используемый в Сибири и в Британии, был фактически одинаков – это модифицированные системы уравнений (Навье – Стокса и др.), применение которых предполагало, что изменения погоды (а далее и климата) происходят в связи с перетоками воздушных масс и океаническими течениями. И в двух научных центрах столкнулись с одной и той же проблемой: при увеличении числа наблюдений и количества географических точек, в которых измерялись температура и сила ветра, системы уравнений становились неустойчивыми [9].

Но в Великобритании моделирование изменения климата осуществлялось в научных центрах, связанных с университетами, и финансировалось двумя научными фондами, которые также выдавали средства университетам. По этой причине британские центры смогли добиться от метеослужб увеличения числа точек мониторинга, в первую очередь по высоте: от нескольких уровней до двенадцати. Это позволило уйти от неустойчивости решений систем уравнений в моделях прогноза погоды и изменения климата. Отечественные же разработчики действовали в системе Академии наук (АН СССР – РАН), административные ресурсы которой оказались недостаточными для того, чтобы система мониторинга учитывала потребности разработчиков моделей⁴.

В настоящее время для составления карты растительности арктического побережья России используются снимки с американских спутников серии Landsat, запускаемых с 1972 г., и снимки с транснациональных спутников серии Тетра. В последних используется оптическая система MODIS также разработки США, фотографирующая в 36 диапазонах спектра, с длиной волны от 0,4 до 14,4 мкм и разрешением от 250 до 1000 м [6]. Снимки общедоступные и предоставляются бесплатно, тогда как за аналогичные снимки с российских спутников научным коллективам приходится платить.

Добившийся успеха конкурент сибирских математиков Центр Хедли для исследований и прогнозирования климата был создан в 1990 г., когда в Новосибирске разработка моделей прогнозирования климата практически была свернута из-за отсутствия финансирова-

⁴ Большую помощь в объяснении причин нашего отставания в данной сфере мне оказал В.И. Клисторин, которому хочу выразить искреннюю благодарность.

ния. Назван он был в честь Джорджа Хедли⁵, жившего в XVIII в., и расположен в университетском городе Эксетер на юге Англии. Задачи Центра Хедли состоят в разработке климатических моделей, а также в их применении для прогнозирования межгодовых, десятилетних и долгосрочных изменений климата, как глобальных, так и региональных.

При более успешном продвижении исследований в английском Эксетере в Сибири и после 1990 г. последовательно продолжались работы по математическим методам прогноза температуры Мирового океана с учетом океанических течений. В результате единая линия исследований, начатых в 1960-е годы, распалась на две, слабо связанные между собой: построение краткосрочных региональных прогнозов погоды и изучение динамики температуры Мирового океана с учетом течений. Можно попутно отметить, что создатели моделей серии HadCM так и не сумели ввести в расчеты влияние на климат океанических течений. Так что по некоторым элементам прогнозирования изменений климата новосибирские ученые остаются впереди.

Центр Хедли участвует в национальной исследовательской программе ExCALIBUR (Exascale Computing ALgorithms & Infrastructures Benefiting), цель которой состоит в разработке нового поколения программного обеспечения для имитационных моделей в разных областях науки. Программа стартовала в октябре 2019 г. и продлится до марта 2025 г. В российской практике нет такой интеграции разработки многоцелевого программного обеспечения с конкретными прикладными разработками.

Есть еще один способ прогнозировать последствия будущих изменений климата – отслеживать отдельные сезонные циклы погоды, которые отличаются от обычных в сторону потепления. Из всех сезонов в наибольшей степени исследователей привлекает весна. Такая необычно теплая весна пришла в Западную Сибирь в 2020 г. В эту весну были отмечены существенные отклонения от стандартных не только температуры, но и множества других параметров: интен-

⁵ Джордж Хедли (1685–1768) – британский юрист и метеоролог-любитель. Объяснил образование пассатов (восточных ветров в экваториальной зоне). Это открытие называется «циркуляцией Хедли». Его знаменитую статью читают до сих пор. См.: *Hadley G. Concerning the cause of the general trade winds* // *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. – 1735. – Vol. 39, No. 437. – P. 58–62.

сивности пожаров, роли ветра в их распространении и многих других. Затем данные об изменениях температуры вводились в модель COSMO (Consortium for Small-scale Modeling) и расчеты по прочим параметрам сопоставлялись с фактическими. Различия были весьма незначительными.

Создатели модели COSMO, разработка которой была начата в 1998 г. и завершена в конце 2021 г., – Центр геоинформации Вооруженных сил Германии и пять научных коллективов из Италии. Аналогичные модели российской разработки отсутствуют.

УПРАВЛЕНИЕ ПО ВОЗМУЩЕНИЯМ – ЕЩЕ ОДНО ПРЕПЯТСТВИЕ

Дефекты мониторинга климата и динамики растительности – одна сторона проблемы. Не менее значимая составляющая общей преграды к тому, чтобы использовать изменения климата на пользу экономического развития России, – общая негативная трактовка этих изменений. Больше говорится об угрозах и почти ничего – о приобретаемых в результате преимуществах и новых открывающихся возможностях.

В России в настоящее время действует Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года, утвержденный распоряжением Правительства РФ от 11.03.2023 № 559-р. Термин «адаптация» в данном документе трактуется однозначно как «снижение ожидаемого ущерба», но совсем не как «использование новых возможностей».

В том же ключе в конце 2023 г. должны были появиться методические рекомендации по оценке возможного ущерба от воздействия климатических рисков, в том числе рекомендации по формированию перечня климатически уязвимых объектов в отраслях экономики и в субъектах РФ. Но они не появились. Впрочем, и появление их немного бы изменило. На первом этапе реализации плана мероприятий по адаптации, который был рассчитан на 2019–2022 гг., к мероприятиям, имеющим отношение к продвижению тайги на север, можно было бы отнести лишь «переоснащение и модернизацию государственной наблюдательной сети климатического мониторинга», чего также реально не было сделано.

Таким образом, блокировка мер по использованию новых обстоятельств в связи с продвижением тайги на север идет с двух сторон: со стороны недостаточно эффективной системы мониторинга и ориентации системы управления не на использование открывающихся возможностей, а исключительно на предотвращение потенциального ущерба.

* * *

Итак, продвижение тайги на север является той частью изменения климата в мире, что ставит перед российской экономикой множество проблем, к решению которых следует готовиться заблаговременно. Прежде всего необходимо начать финансирование научных исследований данной проблемы, формирование мощной системы мониторинга и прогнозирования изменения растительности на северных и южных границах тайги. И такая система должна базироваться на отечественных спутниковых снимках, российском программном обеспечении их обработки, современных математических имитационных моделях.

Не менее принципиальными направлениями являются подготовка кадров к применению будущих новых технологий в нескольких отраслях, о которых речь шла выше, а также разработка соответствующих федеральных программ. Нужно учитывать, что эта проблема междисциплинарная. Она требует работы географов, физиков, математиков, гидрологов, метеорологов, биологов, специалистов по сельскому и лесному хозяйству и др. Но исходная постановка задачи все-таки должна быть за экономистами.

*Работа выполнена по плану НИР ИЭОПП СО РАН,
проект «Инструменты, технологии и результаты анализа,
моделирования и прогнозирования пространственного развития
социально-экономической системы России и ее отдельных территорий»,
№ 121040100262-7*

Список источников

1. Болотов И.Н., Шварцман Ю.Г., Игловский С. Изменения климата и их влияние на окружающую природную среду Европейского Севера России // Изме-

нение окружающей среды и климата: Природные и связанные с ними техногенные катастрофы. – М.: ИФА РАН, 2008. – Т. IV. – С. 80–98.

2. Васильев В.Л., Турковская К.А., Хренникова М.М. Продвижение овощей на Крайний Север. – Москва; Ленинград: Сельхозгиз, 1934.

3. Жирнов А. «Деревья пошли на север»: тайга в России вытесняет тундру из-за потепления // Ридус. – 2021. – 3 февр.

4. Зуев В.В., Короткова Е.М., Павлинский А.В. Климатически обусловленные изменения растительного покрова тайги и тундры Западной Сибири в 1982–2015 гг. по данным спутниковых наблюдений // Исследование земли из космоса. – 2019. – № 6. – С. 66–76.

5. Коломак Е.А., Крюков В.А., Мельникова Л.В., Селиверстов В.Е., Суслев В.И., Суслов Н.И. Стратегия пространственного развития России: ожидания и реалии // Регион: экономика и социология. – 2018. – № 2 (98). – С. 264–287.

6. Кравцова В.И., Котов Т.В. Тема «растительность» в новом атласе российской Арктики // Биоразнообразие экосистем Крайнего Севера: инвентаризация, мониторинг, охрана: Тез. докл. – Сыктывкар, 2018. – С. 30–35.

7. Кузнецова В.П. Влияние современного изменения климата на биологическое разнообразие. – Нижневартовск: НВГУ, 2021.

8. Мейбэк А., Гитц В., Вольф Ю., Вонг Т. Вопросы лесного хозяйства и агролесоводства в национальных планах адаптации к изменению климата. – Рим: ФАО, 2023.

9. Михайлова Т.Ю., Доманова Е.Д. Нелинейные уравнения и системы. Устойчивость решений: Учеб.-метод. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2012. – URL: https://www.nsu.ru/n/physics-department/uchebno-metodicheskie-posobiya/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D0%BA%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9.%20%D0%A7.%203/Methody_resheniya_obyknovennyh_differentsialnyh_uravneny_3_Mihailova_T_Y_Domanova_E_D_FF_NGU_2012_74s.pdf (дата обращения: 12.06.2024).

10. Паутов Ю.А. Адаптация лесного сектора Республики Коми к изменениям климата на основе анализа информации о среднесрочных (20–40 лет) прогнозных сценариях изменения климата в регионе. – Сыктывкар, 2022.

11. Петрукович А. Наука космических высот // Русский космос. – 2021. – № 23. – С. 18–27.

12. Сергиенко В.Г. Динамика границ лесорастительных зон России в условиях изменения климата // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2015. – № 1. – С. 5–19.

13. Чебакова Н.М. Возможности трансформации растительного покрова Сибири при различных сценариях изменения климата: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук. – Красноярск, 2006. – 60 с.

14. *Abel C., Horion S., Tagesson T. et al.* The human–environment nexus and vegetation–rainfall sensitivity in tropical drylands // *Nature Sustainability*. – 2021. – Vol. 4 (1). – P. 1–8.
15. *Ellison D., Morris C.E., Locatelli B. et al.* Trees, forests and water: Cool insights for a hot world // *Global Environmental Change*. – 2017. – No. 43 (51). – P. 51–61.
16. *Lillesø J.P.B., Harwood C.E., Derero A. et al.* Why institutional environments for agroforestry seed systems matter // *Development Policy Review*. – 2017. – No. 36 (2). – P. 89–112.
17. *Lynch P.* The origins of computer weather prediction and climate modeling // *Journal of Computational Physics*. – 2007. – No. 227. – P. 3431–3444.
18. *Morin X., Fahse L., Jactel H. et al.* Long-term response of forest productivity to climate change is mostly driven by change in tree species composition // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8, No. 1. – P. 56–77.
19. *Seidl R., Thom D., Kautz M. et al.* Forest disturbances under climate change // *Nature Climate Change*. – 2017. – Vol. 7, No. 6. – P. 395–402. DOI: 10.1038/nclimate330.
20. *Shikhov A., Antokhina O., Gochakov A. et al.* Severe convective outbreak in Siberia in May 2020: Event analysis and high-resolution simulation // *Atmospheric Research*. – 2023. – Vol. 298 (7). – P. 107–139.

Информация об авторе

Воронов Юрий Петрович (Россия, Новосибирск) – кандидат экономических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Института экономики и организации промышленного производства СО РАН (630090, Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 17). E-mail: yura.voronov.42@mail.ru.

DOI: 10.15372/REG20240301

Region: Economics & Sociology, 2024, No. 3 (123), p. 5–23

Yu.P. Voronov

TAIGA HEADING NORTH

This article examines the northward advancement of the taiga as one of the consequences of global climate change. The objective of the publication is to explore new opportunities for the development of Siberia's economy, as well as to systematize the key strategies for the economy's adaptation to evolving conditions. The expansion of the taiga is increasing Russia's forest

resources. Its composition is altering: the proportion of larch and pine is decreasing, replaced by cedar, spruce, and mixed forests. These changes are also affecting the composition of wild animal populations and the structure of fish species in seas, rivers, and freshwater bodies. The author reviews previous research on this topic, systematizes, and integrates the results.

We note a current lag between Russian (particularly Siberian) and global science in predicting climate change and its consequences, as well as in the development and application of the mathematical models used for forecasts. Another issue that needs addressing is the approach to the problem under study within public administration, which tends to focus solely on potential damage from climate change. The author argues that the northward movement of the taiga enhances opportunities for the development of the Russian economy.

Keywords: taiga; tundra; new opportunities; increased resources; climate change; remote sensing; simulation models; forecasts; spruce; larch; reindeer; federal programs

For citation: Voronov, Yu.P. (2024). Tayga idet na sever [Taiga heading north]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 3 (123), 5–23. DOI: 10.15372/REG20240301.

This research was carried out with the plan of research work of IEIE SB RAS, project “Tools, technologies and results of analysis, modeling and forecasting of spatial development of Russia’s socio-economic system and its particular territories”, No. 121040100262-7

References

1. Bolotov, I.N., Yu.G. Shvartsman & S. Iglovsky. (2008). Izmeneniya klimata i ikh vliyanie na okruzhayushchuyu prirodnuyu sredu Evropeyskogo Severa Rossii [Climate changes and their impact on the natural environment of the European north of Russia]. In: Izmenenie okruzhayushchey sredy i klimata: Prirodnye i svyazannye s nimi tekhnogennye katastrofy [Environmental and Climate Change: Natural and Related Technogenic Disasters], Vol. IV. Moscow, Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS Publ., 80–98.
2. Vasilyev, V.L., K.A. Turkovskaya & M.M. Khrennikova. (1934). Prodvizhenie ovoshchey na Krayniy Sever [Promotion of Vegetables to the Far North]. Moscow & Leningrad, Selkhozgiz Publ.

3. Zhirnov, A. (2021). "Derevyia poshli na sever": tayga v Rossii vytesnyaet tundru iz-za potepleniya ["The Trees Have Gone North": the Taiga in Russia is Displacing the Tundra due to Warming]. Ridus, 3 Feb.
4. Zuev, V.V., E.M. Korotkova & A.V. Pavlinsky. (2019). Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya rastitelnogo pokrova taygi i tundry zapadnoy Sibiri v 1982–2015 gg. po dannym sputnikovykh nablyudeniy [Climate-related changes in the vegetation cover of the taiga and tundra of Western Siberia in 1982–2015 according to satellite observations]. Issledovanie zemli iz kosmosa [Earth Observation and Remote Sensing], 6, 66–76.
5. Kolomak, E.A., V.A. Kryukov, L.V. Melnikova, V.E. Seliverstov, V.I. Suslov & N.I. Suslov. (2018). Strategiya prostranstvennogo razvitiya Rossii: ozhidaniya i realii [Spatial development strategy of Russia: Expectation and reality]. Region: ekonomika i sotsiologiya [Region: Economics and Sociology], 2 (98), 264–287.
6. Kravtsova, V.I. & T.V. Kotov. (2017). Tema "rastitelnost" v novom atlase rossiyskoy Arktiki [The topic "vegetation" in the new atlas of the Russian Arctic]. In: Bioraznoobrazie ekosistem Kraynego Severa: inventarizatsiya, monitoring, okhrana: Tez. dokl. [Biodiversity of the Far North Ecosystems: Inventory, Monitoring, Protection: Abstracts of reports]. Syktyvkar, 30–35.
7. Kuznetsova, V.P. (2021). Vliyaniye sovremennogo izmeneniya klimata na biologicheskoye raznoobrazie [The Impact of Modern Climate Change on Biological Diversity]. Nizhnevartovsk, Nizhnevartovsk State University Publ.
8. Meybeck, A., V. Gitz, J. Wolf & T. Wong. (2023). Voprosy lesnogo khozyaystva i agroslovoodstva v natsionalnykh planakh adaptatsii k izmeneniyu klimata [Addressing Forestry and Agroforestry in National Adaptation Plans]. Rome, FAO UN.
9. Mikhaylova, T.Yu. & E.D. Domanova. (2012). Nelineynyye uravneniya i sistemy. Ustoychivost resheniy. Ucheb.-metod. posobie [Nonlinear Equations and Systems. Solution Stability. Educational and methodological manual]. Novosibirsk, Novosibirsk State University Publ. Available at: https://www.nsu.ru/n/physics-department/uchebno-metodicheskie-posobiya/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4%D1%8B%20%D1%80%D0%B5%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F%20%D0%BE%D0%B1%D1%8B%D0%BA%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D0%B4%D0%B8%D1%84%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D1%8B%D1%85%20%D1%83%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B9.%20%D0%A7.%203/Metody_resheniya_obyknovennykh_differentsialnykh_uravneniy_3_Mihailova_T_Y_Domanova_E_D_FF_NGU_2012_74s.pdf (date of access: 12.06.2024).
10. Pautov, Yu.A. (2022). Adaptatsiya lesnogo sektora Respubliki Komi k izmeneniyam klimata na osnove analiza informatsii o srednesrochnykh (20-40 let) prognoznnykh stsennariyakh izmeneniya klimata v regione [Adaptation of the Forestry Sector of the Komi Republic to Climate Change Based on Analysis of Medium-Term (20-40 Years) Forecast Scenarios of Climate Change in the Region]. Syktyvkar.
11. Petrukovich, A. (2021). Nauka kosmicheskikh vysot [Science of cosmic heights]. Russkiy kosmos [Russian Cosmos], 23, 18–27.

12. *Sergienko, V.G.* (2015). Dinamika granits lesorastitelnykh zon Rossii v usloviyakh izmeneniya klimata [The dynamics of the boundaries of forest vegetation zones in Russia under climate change]. Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 1, 5–19.
13. *Chebakova, N.M.* (2006). Vozmozhnosti transformatsii rastitelnogo pokrova Sibiri pri razlichnykh stsensariyakh izmeneniya klimata: Avtoref. diss. ... d-ra biol. nauk [Possibilities of Transforming the Vegetation Cover of Siberia Under Various Scenarios of Climate Change: Author's abstract for the Doctor of Biology thesis]. Krasnoyarsk, 60.
14. *Abel, C., S. Horion, T. Tagesson et al.* (2021). The human–environment nexus and vegetation–rainfall sensitivity in tropical drylands. *Nature Sustainability*, 4 (1), 1–8.
15. *Ellison, D., C.E. Morris, B. Locatelli et al.* (2017). Trees, forests and water: Cool insights for a hot world. *Global Environmental Change*, 43 (51), 51–61.
16. *Lillesø, J.P.B., C.E. Harwood, A. Direro et al.* (2017). Why institutional environments for agroforestry seed systems matter. *Development Policy Review*, 36 (2), 89–112.
17. *Lynch, P.* (2007). The origins of computer weather prediction and climate modeling. *Journal of Computational Physics*, 227, 3431–3444.
18. *Morin, X., L. Fahse, H. Jactel et al.* (2018). Long-term response of forest productivity to climate change is mostly driven by change in tree species composition. *Scientific Reports*, Vol. 8, No. 1, 56–77.
19. *Seidl, R., D. Thom, M. Kautz et al.* (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, Vol. 7, No. 6, 395–402. DOI: 10.1038/nclimate330.
20. *Shikhov, A., O. Antokhina, A. Gochakov et al.* (2023). Severe convective outbreak in Siberia in May 2020: Event analysis and high-resolution simulation. *Atmospheric Research*, Vol. 298 (7), 107–139.

About Author

Voronov, Yury Petrovich (Novosibirsk, Russia) – Candidate of Sciences (Economics), Docent, Leading Researcher at the Institute of Economics and Industrial Engineering, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (17, Academician Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russia). E-mail: yura.voronov.42@mail.ru.

Поступила в редколлегию 24.01.2024.

После доработки 02.02.2024.

Принята к публикации 08.02.2024.

© Воронов Ю.П., 2024