

## 2019 Окружающая №2(2) среда и энерговедение

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)







http://www.jeees.ru

ISSN 2658-6703 (Online)

# Окружающая среда и энерговедение

## Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)

## 2019 Nº2(2)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал Scientific, educational, cultural and educational network Journal

Основан в 2018 году,
1-й номер вышел в январе 2019 г.
Выходит четыре раза в год
при научно-информационной поддержке
Географического факультета МГУ
имени М.В. Ломоносова.

**DOI:** 10.5281/zenodo.3329699

Founded in 2018,
The 1st issue was released in January 2019.
Published four times a year with scientific and information support
Geographical faculty of Lomonosov Moscow
State University.

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 74521 от 7 декабря 2018 г.

Индексируется в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU, Научной электронной библиотеке «КиберЛенинка», Public Knowledge Project, Open Archives Initiative, OpenAIRE



Главный редактор
Залиханов Михаил Чоккаевич, д.г.н., профессор,
академик РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова).
Зам. главного редактора

Соловьев Александр Алексеевич, д.физ.-мат.н., профессор, академик РИА (МГУ им. М. В. Ломоносова).

#### Редакционная коллегия:

Безруких Павел Павлович, д.т.н., академик-секретарь РИА (МЭИ)

Березкин Михаил Юрьевич, кандидат географических наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Бушуев Виталий Васильевич, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН).

Гулев Сергей Константинович, д.ф.-м.н., профессор, член-корреспондент РАН (ИО РАН).

Дегтярев Кирилл Станиславович, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Добролюбов Сергей Анатольевич, д.г.н., профессор, член-корреспондент РАН (МГУ им. М. В. Ломоносова). Зайченко Виктор Михайлович, д.т.н., профессор (ОИВТ РАН)

Залиханов Алим Михайлович, кандидат географических наук, (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Киселева Софья Валентиновна, к.физ.-мат. н. (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Красовская Татьяна Михайловна, д.г.н., профессор (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Моргунова Мария Олеговна, к.э.н. (KTH Royal Institute of Technology, Sweden).

Нигматулин Роберт Искандрович, д.ф.-м.н., профессор, академик РАН (ИО РАН).

Тикунов Владимир Сергеевич, д.г.н., профессор (МГУ им. М. В. Ломоносова).

Показеев Константин Васильевич, д.физ.-мат.н., профессор (МГУ им. М. В. Ломоносова).

### Адрес редакции:

119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, к. 19, НИЛ возобновляемых источников энергии географического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова

Тел./ факс +7 (499) 939-42-57 e-mail: info@jeees.ru Официальный сайт журнала http://jeees.ru

### Окружающая

#### среда и энерговедение. 2019 №2(2)

Научный, образовательный, культурно-просветительский сетевой журнал (периодическое сетевое издание)

Редактор К.С.Дегтярев Корректор Д.А.Соловьев Верстка М.Ю.Березкин Перевод на английский язык К.С.Дегтярев Подписан в свет 30.06.2019.

#### Издатель:

Закрытое акционерное общество "Глобализация и устойчивое развитие. Институт энергетической стратегии" 125009, г. Москва, Дегтярный переулок, д. 9, офис 011. Тел./факс: +7 (495) 229-4241 доб. 224.

E-mail: guies@guies.ru.

Перепечатка или воспроизведение материалов номера любым способом полностью или по частям допускается только с письменного разрешения Издателя.

© Редакция журнала «Окружающая среда и энерговедение», 2019

Государственный Рубрикатор НТИ России (ГРНТИ): 37; 39; 44; 45



#### Содержание

М.Ю. Берёзкин, О.А. Синюгин Перспективы низкоуглеродного развития энергетики России4-13
А.М. Карпачевский, М.Н. Шилякина  Изучение динамики структуры калининградской энергосистемы на основе сетевого анализа14-24
С.П. Кошкин Возможности освещения парков Москвы с помощью солнечных батарей25-37
А.М. Нечаев Флюидонасыщенные тела в земной коре и возможные механизмы вулканических извержений и землетрясений
А.А. Осипова Роль лептина в регуляции энергетического обмена и функционировании организмов живой природы55-82
Е.Н. Попова, А.А. Соловьев Правовые проблемы «степени локализации» генерирующих объектов ВИЭ
Content
M.Yu. Berezkin, O.A. Sinyugin  Prospects of low-carbon development energy of Russia4-13
A.M. Karpachevskiy, M.N. Shilyakina The study of the structure dynamics of the Kaliningrad power grid based on network analysis14-24
S.P. Koshkin The possibility to light Moscow parks with solar panels25-37
A.M. Nechayev Fluid-saturated bodies in the Earth's crust and possible mechanisms of volcanic eruptions and earthquakes38-54
A.A. Osipova  The role of leptin in the regulation of energy metabolism and the functioning of living organisms55-82
E.N. Popova, A.A. Solovyev  Legislative problems of the "Degree of localization" for renewable energy power plants

УДК 502.173.

## Перспективы низкоуглеродного развития энергетики России

М.Ю. Берёзкин<sup>а</sup>, О.А. Синюгин<sup>b</sup>

Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: mberezkin@inbox.ru

Аннотация. В 2015 г. было достигнуто Парижское соглашение – новое всеобъемлющее соглашение по выбросам парниковых газов. Принята цель удержания роста средней глобальной температуры в пределах 2°С до 2100 г., позволяющая предотвратить катастрофическое изменение климата. Мировая практика развития возобновляемой энергетики предлагает готовые способы декарбонизации глобального энергетического баланса. Удвоение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе до 2030 г. может внести до 50% требуемых сокращений выбросов парниковых газов. Показано, что российский план участия в Парижских договоренностях на 80% основан на мерах по повышению энергоэффективности в национальной экономике, которые дополняются внедрением возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** Парижское соглашение, углеродное регулирование, энергетика, возобновляемые источники энергии, география

## 1 Введение

Основной причиной среднегодового роста температуры является антропогенные выбросы парниковых газов, прежде всего - CO $_2$ , а основным сектором - энергетика. Концентрация CO $_2$  повторяет график выбросов от сжигания ископаемых топлив. Она увеличилась на 35% по CO $_2$ , и на 145% по CH4 с 1850 г. В настоящее время ООН ставит цель не превысить среднегодовую температуру на Земле более чем на 2°C при концентрации CO $_2$  в атмосфере не более 550 частей CO $_2$  на миллион по объему.

\_

a ORCID: 0000-0002-6945-2131

<sup>&</sup>lt;sup>b</sup> ORCID: 0000-0001-5874-4342

Мировая практика внедрения возобновляемых источников энергии предлагает готовые способы декарбонизации глобального энергетического баланса. Удвоение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе до 2030 г. может внести до 50% требуемых сокращений выбросов парниковых газов. Вместе с повышением энергоэффективности развитие возобновляемой энергетики позволит удержать рост средней глобальной температуры в пределах 2°C до 2100 г. и предотвратить катастрофическое изменение климата.

## 2 Киотский протокол

Киотский протокол (1997-2012 гг) был принят в декабре 1997 г. на международном саммите под эгидой ООН, который подписали 159 стран. Он включал в себя три направления действий:

- 1. Сбор физических данных, мониторинг.
- 2. Снижение антропогенного воздействия.
- 3. Адаптация к изменениям климата.

По сравнению с 1990 г. страны Европейского Союза (ЕС) должны были сократить выбросы на 8%, Япония и Канада – на 6% к 2008-2012 гг., Россия могла сохранить среднегодовые выбросы на уровне 1990 г. Развивающиеся страны не брали обязательств.

В реализации Киотского протокола основная роль отводилась возобновляемой энергетике. Энергетика (включая использование энергии на транспорте) дает около 80% выбросов парниковых газов. И именно в этом секторе сосредоточен основной потенциал по сокращению их выбросов. Задача стоит в кардинальном изменении структуры современной энергетики в низкоуглеродном направлении, в уходе от принципа «палео-топлива – палео-климат». Большая часть проектов в рамках Киотского протокола заключалась во вводе новых мощностей возобновляемой энергетики. При этом Киотский протокол создал дополнительный канал инвестиций в возобновляемую энергетику, измеряемый десятками миллиардов долларов.

В рамках Протокола Киото действовало два механизма снижения выбросов. Механизм чистого развития (МЧР) был предназначен для проектов, реализуемых в развивающихся странах, которые не имеют количественных обязательств по ограничению и сокращению выбросов парниковых газов (это Индия, Китай, Бразилия). Механизм, получивший название «совместное осуществление» (СО), стал реализовываться в странах, имеющих обязательства по выбросам парниковых газов — это развитые страны ЕС, Россия, Украина, Австралия, Япония, Швейцария и др.

Присоединение России и ратификация позволила Киотскому Протоколу вступить в юридическую силу в 2005 г. (для этого требовалось, чтобы страны участницы совокупно имели долю выбросов, превышающую 55% от общемировых). Следует отметить, что с этого года по 2012 г. в России не были реализованы проекты по механизмам протокола из-за инерции процедур и задержек в

рассмотрении заявок. Соответственно, не были достигнуты положительные финансовые результаты.

В Европе по данным статистического агентства Eurostat в 2010 г. достигнуто 15% снижение выбросов парниковых газов к уровню 1990 г. В инерциальном сценарии в ЕС к 2020 г. совокупный объем выбросов должен снизиться на 20% к уровню 1990 г. [1].

## 3 Парижское соглашение

После трехлетней паузы в конце 2015 г. было достигнуто Парижское соглашение — новое всеобъемлющее соглашение по выбросам парниковых газов. Принята цель удержания роста средней глобальной температуры в пределах 2°C до 2100 г., позволяющая предотвратить катастрофическое изменение климата. Все страны участницы (196 стран) представили свои предложения по снижению выбросов парниковых газов. Суммарные предложения стран позволяют удержать повышение температуры в пределах +2,7°C до 2100 г. Это выше согласованной цели +2°C, что означает принятие более жестких обязательств впоследствии.

*Европейский Союз* принимает обязательство снизить выбросы парниковых газов на 40% к 2030 г. по сравнению с 1990 г. со среднегодовым темпом сокращения порядка -1%/год. Это немного выше уже достигнутых темпов -0,75%/г. во время действия предыдущих договоренностей, но совсем не приемлемо для лидера процесса.

*Китай* является бесспорным лидером по выбросам  $CO_2$ , его доля составляла 22,4% из 36 млрд. тонн  $CO_2$  в мире в 2015 г. Китай взял обязательство достичь пика выбросов к 2030 г., и попытаться сделать это ранее. А также снизить интенсивность выбросов  $CO_2$  на \$1 на 60-65% к 2030 г. по сравнению с 2005 г. И повысить долю возобновляемых источников энергии (ВИЭ) и ядерной энергетики до 20% в национальном энергобалансе.

CIIIA — исторический лидер по сумме выбросов за многие годы — занимает второе место по выбросам  $CO_2$  с долей 12,4% от мировых. Они обязуются сократить выбросы на 26-28% к 2025 г. по сравнению с 2005 г. — это среднегодовой темп сокращения — 1,3-1,4%/г.

В *Индии* поставлена цель снижения интенсивности выбросов  $CO_2$  на единицу ВВП на 33-35% к 2030 г. по сравнению с 2005 г., среднегодовой темп – 1,4%/г. Третий глобальный загрязнитель (6,8% от общемировых выбросов) доведет до 40% к 2030 г. долю электростанций не на ископаемом топливе.

*Бразилия* планирует снижение выбросов на 37% с 2005 до 2025 г. (-43% к 2030 г.) – это наиболее амбициозно заявленный темп снижения порядка – 1,7-1,9%/г. Необходимо также искоренить незаконное сведение лесов к 2030 г.

Япония обещает 26% снижение выбросов парниковых газов к 2030 г. с 2013 г., при среднегодовом темпе -1,5%/г. Доля генерации электричества на ВИЭ повысится до 22-24% к 2030 г. и доля ядерной энергии – до 20-22%.

Россия перевыполнила свои обязательства по Киотскому протоколу: с 1991 по 2012 г. объем выбросов парниковых газов на российской территории значительно снижен. Благодаря этому в атмосферу не попало около 40 млрд. т эквивалента углекислого газа, что превышает ежегодный глобальный выброс  $CO_2$ .

На конференции в Париже были задекларированы темпы снижения энергоемкости экономики России -33,4% за период с 2000 по 2012 г. (-2,8% в год) и анонсировано возможное сокращение в России к 2020 г. энергоемкости экономики на 13,5% с уровня 2015 г. (-2,7% в год) [2]. К 2030 г. Россия планирует уменьшить выбросы парниковых газов до 70% от уровня 1990 г. (т.е. 30% за 40 лет со среднегодовым темпом 0,75% — один из самых низких уровней заявленного снижения выбросов).

Россия инвестирует в развитие генерации на безуглеродных источниках энергии. По плану Министерства энергетики Российской Федерации к 2020 г. мощность генерации на основе ВИЭ в России должна составить 6 ГВт и вырасти в три раза, что потребует 516 млрд. руб. инвестиций. Также согласно стратегии развития электроэнергетики, к 2020 г. доля производства электроэнергии на АЭС должна увеличиться с 16% до 19% [3].

Несложные расчеты с учетом коэффициентов использования установленной мощности показывают, что за счет внедрения ВИЭ Россия может заместить до 3% генерации электроэнергии на ископаемых топливах до 2030 г. и таким образом снизить на 3% выбросы от их сжигания (из заявленного 30% снижения). Аналогично, развитие ядерной энергетики может дать еще 3% снижения выбросов CO<sub>2</sub>. Остальные 24% снижения необходимо будет достигать за счет повышения энергоэффективности – что соответствует глобальному тренду.

Наглядный пример: энергоинтенсивность мировой экономики снизилась на 2.3% в 2014 г. в результате мер по энергоэффективности и структурных изменений, такой темп в 2 раза выше среднего в 2000-е гг. При это был достигнут рост мировой экономики на 3,4% (2014 г.), и 0% прирост выбросов СО2 в энергетике – впервые за 40 лет с нефтяного кризиса 1970-х гг. То есть наблюдаются признаки ослабления связи роста глобальной экономики с ростов выбросов парниковых газов в энергетическом секторе.

России необходимо также предусмотреть меры по участию в торговле выбросами парниковых газов и не повторять ошибки периода Киотского протокола. Оборот мирового углеродного рынка составляет десятки млрд. долл. США. Около 11% глобальных выбросов  $CO_2$  приходится на страны с действующим рынком квот на выбросы  $CO_2$ . Наибольшая доля рынка (примерно 75%) приходится на страны Евросоюза, где реализована так называемая «Европейская схема торговли выбросами парниковых газов». В рамках схемы крупным компаниям-эмитентам устанавливаются определенные квоты (разрешения) на их выбросы и предоставля-ется право торговать ими без ограничения. К сожалению пока средняя цена на рынке держится на низком уровне — 7 долл. США за тонну выбросов  $CO_2$  — что не отменяет необходимости участия в этом международном процессе.

На текущий момент Парижское соглашение по климату ратифицировали более 150 стран, Россия собирается это сделать до 2020 г. Уже сейчас наблюдается

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3274715

тенденция проработки компенсационных мер теми странами, которые ввели у себя регулирование выбросов парниковых газов. В случае их введения будут взиматься таможенные пошлины или сборы на товары из стран, где нет подобного регулирования. В связи с этим Парижское соглашение следует рассматривать с точки зрения влияния на конкурентоспособность экономики России и на условия торговли отечественной продукцией на мировом рынке. Компенсационные меры других стран могут ограничить возможности российских компаний.

## 4 «Углеродное регулирование»

«Углеродное регулирование» — это налог или система торговли квотами на выбросы парниковых газов в атмосферу. Основа углеродного регулирования — это система отчетности предприятий о выбросах парниковых газов, разработкой которой занимаются Минприроды России и Минэкономразвития России. После внедрения системы отчетности необходимо сделать выбор модели углеродного регулирования — рынок или налог.

Установление цены на выбросы углекислого газа уже реализуется многими странами на национальном или корпоративном уровнях. По данным Всемирного банка на 2016 г., углеродное регулирование введено в 40 странах и более чем в 20 регионах, и охватывает около 15% глобальных выбросов парниковых газов. Общий объем рынка достиг уровня порядка 50 млрд. долл. США в 2016 г.. И торговля квотами, и углеродный налог имеют свои плюсы и минусы. К очевидным преимуществам налоговой модели можно отнести простоту реализации – в ней не требуется создания новых экономико-правовых механизмов – налоговые системы действуют в каждой стране. В этом случае главной проблемой является правильное определение размера налога, для того чтобы он по-настоящему был инструментом, стимулирующим снижение выбросов, а не ограничивал предпринимательскую деятельность.

В России обсуждается введение углеродного налога на уровне 15 долл. США за тонну  $\mathrm{CO}_2$ . Углеродный налог является тяжелым бременем для стран с углеродной экономикой, к которым относится и Россия. Например, Австралия ввела этот налог у себя в 2012 году, а в 2014 г. его отменила. Введение налога не будет критичным для экономики развитых стран Европы, чья тяжелая промышленность в последние годы была частично перенесена в государства третьего мира. Если обсуждаемый налог с первоначальной ставкой 15 долларов за тонну эквивалента  $\mathrm{CO}_2$  будет введен, для России это означает ежегодные выплаты порядка 3-4 процента ВВП. Негативное влияние при этом ощутит практически вся экономика страны, прежде всего – нефтегазовая отрасль, электроэнергетика, транспорт, АПК, металлургия, производство азотных удобрений и цемента. Последствия более широкого масштаба — ухудшение инвестиционной привлекательности регионов с развитой добывающей и энергоемкой промышленностью.

Углеродный рынок внедряется в некоторых странах организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) с 1990-х годов. В ней компании и предприятия участвуют в торговле, выставляют на продажу или приобретают квоты, государство устанавливает квоты, создает торговые площадки и обеспечивает контроль их деятельности. Основной проблемой углеродного рынка является правильность распределения квот. Их недостаток вызовет неадекватный рост цен, а переизбыток – падение. В Европе именно по причине перенасыщения рынка стоимость квоты на выброс в 2010-х годах установилась на уровне 2-3 евро за тонну эквивалента  $CO_2$ , в то время как рассчитывали на 10-20 евро.

В Европейской системе торговли энергоемкие предприятия сталелитейной, алюминиевой промышленности имеют право получать бесплатно до 100% квот при соответствии принятому в отрасли наименьшему показателю выбросов. Это создает неравенство среди производителей по отношению к углеродному регулированию в зоне ЕС. Изначально, по замыслу регулирующих ведомств, мера направлена на снижение риска так называемых углеродных утечек — то есть переноса производств в страны без углеродного регулирования. В этой связи самым эффективным способом борьбы с утечками было бы всеобщее участие в углеродном регулировании, при котором не будет стран без регулирования. В конечном итоге необходимо глобальное и универсальное регулирование.

Шагом в этом направлении стало создание под эгидой Всемирного банка в 2015 году «Коалиции лидеров по углеродному ценообразованию», объединяющей правительства 30 стран и регионов, 140 компаний, финансовых учреждений и общественных организаций, поставившей перед собой задачу увеличить долю глобальных выбросов, подпадающих под углеродное регулирование, в два раза к 2020 году и еще в два раза к 2030 году.

### 5 Модель «углеродного регулирования» в России

Модель «углеродного регулирования» в России должна стимулировать инвестиции в низкоуглеродное развитие. В связи с этим для смягчения последствий введения углеродного регулирования необходимо предусмотреть переходный период и меры компенсации, особенно для наиболее чувствительных отраслей. Прежде всего в угольной промышленности и других секторах производства с высоким уровнем эмиссий СО2. Как пример успешного решения этих задач можно привести углеродный налог провинции Британская Колумбия в Канаде при его введении были упразднены или снижены иные социальные и подоходные налоги. Кроме того целесообразно создание целевого экологического фонда, в который бы поступали углеродные платежи для последующего финансирования программ в области охраны окружающей среды, энергоэффективности, адаптации к изменению климата. Система углеродного регулирования не должна снижать конкурентоспособность в экономике, а должна быть мотивирующей к повышению энергоэффективности и ресурсосбережению как для компаний, так и для страны.

DOI: 10.5281/zenodo.3274715

Россия обладает вторыми по величине запасами угля в мире: 173 млрд. т (в США – 263 млрд т). Угольная индустрия объединяет более 240 угольных участков, в том числе 96 с подземным способом добычи и 150 с открытым. Основные запасы угля расположены в Кузнецком бассейне (52%), Канско-Ачинском бассейне (12%), Печорском бассейне (5%), Южно-Якутском бассейне (3%). Угольные предприятия являются градообразующими для более чем 30 городов и поселков общей численностью более 1,5 млн. чел.

В мировой торговле угля ключевую роль играют пять стран, которые обеспечивают 70-80% экспорта: Австралия, Индонезия, Россия, Китай и ЮАР. Крупнейшими импортерами угля на азиатском рынке являются Япония, Южная Корея, Индия и Тайвань, а на европейском рынке пока Германия и Великобритания. Германия планирует в перспективе полностью отказаться от использования угля и газа в энергетике и заменить эти энергоносители возобновляемыми источниками энергии, которые уже достигают в энергобалансе страны 30%. Понятно, что как самая большая экономика Евросоюза Германия стремится навязать свой подход к развитию энергетики всей остальной Европе. Для России такой подход связан с проблемой энергобезопасности с точки зрения сохранения поставок своих энергоносителей в Европу.

Что касается «углеродного регулирования» в России, то любая долгосрочная ставка на ископаемое топливо выглядит с точки зрения экологической оценки рискованной. И прежде всего это касается угля, который считается особенно неприемлемым из-за вредных выбросов, и от которых стараются избавиться в первую очередь. Поэтому переход стран Азии на развитие возобновляемых источников энергии существенно ударит по российским производителям угля.

Основой для реализации «углеродного регулирования» энергетики является развитие энергосберегающих инновационных технологий и расширение возможностей использования возобновляемых источников энергии [4]. Высокие темпы роста возобновляемой энергетики в мире позволяют говорить об их экономических преимуществах, поскольку капитальные затраты и стоимость производства электроэнергии на базе возобновляемых источниках быстро снижаются: стоимость солнечных панелей за последнее пятилетие, по расчетам Мирового энергетического агентства (МЭА) упала почти на 2/3, и уже сейчас удельная капиталоемкость таких станций зачастую ниже, чем тепловых и особенно атомных.

Подобные тенденции, по всей вероятности, сохранятся и в будущем. В 2016 г. МЭА пересмотрело прогноз развития энергетики на возобновляемых источниках, резко увеличив ожидаемый объем ввода новых мощностей. Доля возобновляемых источников в мировом энергетическом балансе возрастет с нынешних 23% до 28% уже в 2021 г. [5]. Это означает, что мощность электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии в мире увеличится в ближайшие пять лет на 42%. При этом 40% новых мощностей будет введено в Китае, который стремительно развивает ветряную и солнечную энергетику и так же решительно отказывается от угля. Возобновляемая энергетика, не связанная с дополнительной эмиссией новых парниковых газов, становится распростра-

ненной и все более доступной во многих странах мира. Поэтому для реализации задач Парижского соглашения для России требуются новые стимулы [6].

### 6 Выводы

- мировая практика внедрения возобновляемых источников энергии предлагает готовые способы декарбонизации глобального энергетического баланса.
   Удвоение доли возобновляемых источников энергии в мировом энергетическом балансе до 2030 г. может внести до 50% требуемых сокращений выбросов парниковых газов;
- вместе с повышением энергоэффективности развитие возобновляемой энергетики позволит удержать рост средней глобальной температуры в пределах 2°С до 2100 г. и предотвратить катастрофическое изменение климата;
- российский план участия в Парижских договоренностях 2015 г. на 80% основан на мерах по повышению энергоэффективности в национальной экономике, которые дополняются внедрением ВИЭ и развитием ядерной энергетики. В настоящее время наблюдаются признаки ослабления связи роста глобальной экономики с ростов выбросов парниковых газов в энергетическом секторе;
- признать, что планы наращивания как потребления, так и экспорта угля в России в новых условиях невыполнимы и неприемлемы как с экологической, так и с экономической стороны, и следует постепенно диверсифицировать экономику угольных районов страны;
- отказ от стратегии экстенсивного природоущербного расширения нефтедобычи в России следует сменить повышением ее эффективности и поиском новой ниши на газовом рынке, который в ближайшие десятилетия будет расширяться, постепенно вытесняя из мирового энергобаланса уголь;
- развивать возобновляемую энергетику в России там, где это эффективно, например, на изолированных территориях Крайнего Севера и Дальнего Востока России, труднодоступных для подключения к централизованным системам и где она может с успехом заместить часть топлива, поставляемого в рамках исключительно затратного т.н. «северного завоза».

### Литература

- 1. Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А. Итоги Киотских договоренностей в рамках развития возобновляемой энергетики / сб. научных трудов 10-й Международной научнотехнической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». Москва. 2016. С. 91-95.
- 2. Парижское соглашение. Официальный портал ООН. Доступно по адресу: http://unfccc.int/resource/docs/2015/ cop21/rus/l09r.pdf.

- 3. Официальный сайт Министерства энергетики Российской Федерации / https://minenergo.gov.ru/node/489 (дата обращения 29.09.2017).
- Берёзкин М.Ю., Синюгин О.А., Соловьев А.А. География инноваций в сфере традиционной и возобновляемой энергетик мира // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2013. № 1. С. 28-32.
- 5. World Energy Outlook 2016. International Energy Agency. OECD/IEA. Paris. 2016.
- Берёзкин М.Ю., Залиханов А.М., Синюгин О.А., Соловьев А.А. Новые стимулы развития возобновляемой энергетики в России: пост-киотский период / сб. Первый международный экологический форум «Здоровая окружающая среда основа безопасности регионов», место издания ФГБОУ ВО РГАТУ. Рязань. 2017. Т.2. С. 21-25.

### Reference

- Berezkin M.Yu., Sinyugin O.A. Results of the Kyoto agreements in the framework of renewable energy development / Coll. scientific papers of the 10th International Scientific and Technical Conference "Energy supply and energy saving in agriculture." Moscow. 2016. P. 91-95.
- Paris Agreement. The official portal of the UN. Available at http://unfccc.int / resource / docs / 2015 / cop21 / rus / l09r.pdf.
- 3. The official website of the Ministry of Energy of the Russian Federation / https://minenergo.gov.ru/node/489 (appeal date 09/29/2017).
- 4. Berezkin M.Yu., Sinyugin O.A, Soloviev A.A Geography of innovations in the field of traditional and renewable energy sector of the world // Moscow University Bulletin. Series 5. Geography. 2013. No. 1. P. 28-32.
- 5. World Energy Outlook 2016. International Energy Agency. OECD / IEA. Paris. 2016
- Berezkin M.Yu., Zalikhanov A.M., Sinyugin O.A., Soloviev A.A. New incentives for the development of renewable energy in Russia: the post-Kyoto period / Sat. The first international environmental forum "Healthy environment - the basis of regional security", place of publication FSBEI HE RSGAT. Ryazan. 2017. V. 2. P. 21-25.

## Prospects of low-carbon development energy of Russia

M.Yu. Berezkin, O.A. Sinyugin

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: mberezkin@inbox.ru

**Abstract.** The Paris Agreement was adopted in 2015 – a new comprehensive agreement on greenhouse gas emissions. The goal is to keep the growth of the average global temperature within 2°C until 2100, which will prevent catastrophic climate change. World practice of renewable energy development of-

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019)

DOI: 10.5281/zenodo.3274715

fers ready-made ways to decarbonize the global energy balance. Doubling the share of renewable energy sources in the global energy balance by 2030 can contribute up to 50% of the required reductions in greenhouse gas emissions. It is shown that the Russian plan of participation in the Paris Agreements for 80% is based on measures to improve energy efficiency in the national economy, which are complemented by the introduction of renewable energy sources.

**Keywords:** Paris Agreement, carbon regulation, energy, renewable energy, geography

УДК 528.942

## Изучение динамики структуры калининградской энергосистемы на основе сетевого анализа

А.М. Карпачевский<sup>а</sup>, М.Н. Шилякина<sup>b</sup>

Географический факультет МГУ имени М. В. Ломоносова, Москва, 119991, Россия

E-mail: karpach-am@yandex.ru

Аннотация. Тенденции последних лет показывают, что соседние страны, некогда образовавшие единую энергосистему всего советского пространства, стремятся отсоединиться от неё и присоединиться к энергосистеме Европейского Союза. Это неминуемо приведёт к изоляции калининградской энергосистемы, что в свою очередь обуславливает её структурную уязвимость к аварийным ситуациям. В работе рассмотрены электрические сети по состоянию на две даты: 2008 и 2018 гг. Для каждого объекта энергосистемы были рассчитаны структурные показатели, основанные на теории графов. Также были проанализированы полученные показатели для участков сети за две даты, и выявлена их динамика, которая количественно описывает изменение структурных особенностей электрической сети за десять лет.

**Ключевые слова:** геоинформационный анализ, Калининградская область, структурные показатели, теория графов, электрическая сеть

### 1 Введение

Электроэнергетика является одной из ключевых отраслей промышленности России, занимающейся производством и передачей электроэнергии. Для поддержания ежедневных потребностей общества в электроэнергии необходимо обеспечивать надежность работы энергосистемы. Для этого оценивается устойчивость энергосистем к чрезвычайным ситуациям, зависящая от разных факторов. В их число входят и те, которые связаны со структурными особенностями электросетей, то есть взаимосвязям отдельных элементов внутри системы. Проблема устойчивости электроснабжения особо актуальна для Калининградской

-

a ORCID 0000-0001-8045-4181

<sup>&</sup>lt;sup>b</sup> ORCID 0000-0002-3353-9665

области, что связано с её геополитическим и экономическим положениями. При возможной интеграции Прибалтийских и Европейских стран и их энергосистем в единую Европейскую систему, Калининградская энергосистема может стать изолированной. В таком случае встаёт необходимость наращивания собственной генерации и повышения надёжности энергоснабжения конечных потребителей. Кроме того, на данный момент слабо развита методика геоинформационного картографирования региональных сетей. Проблема заключается в том, что до сих пор не проработаны принципы отображения и генерализации отдельных объектов электросети, их конфигурации и структурных свойств, которые обуславливают её надёжность и устойчивость к воздействиям различных факторов, а также основных параметров линий электропередач (ЛЭП), таких как напряжение, количество цепей и др.

## 2 Материалы и методы

При использовании снимков сверхвысокого разрешения возможно получение информации о топологических характеристиках сетей. Понятие «топология» в географическом аспекте включает в себя взаимное расположение объектов в пространстве [1]. Топология электросетей описывает различные пространственные взаимоотношения ЛЭП, например, параллельность, пересечение, ответвление и др.

Разрезка появляется в результате разрезания существующей линии на две части и параллельного завода образовавшихся концов линии на подстанцию или электростанцию. Обычно это происходит, когда станция или подстанция возникла позже самой линии. Другой вид пространственных взаимоотношений – отпайка. Она представляет собой сеть, присоединенную концом к другой сети в её промежуточной точке. Это встречается у линий, преимущественно напряжением ниже 220 кВ [2].

Исходными данными для трассировки ЛЭП являются архивные схемы из программ развития регионов, мозаика снимков сверхвысокого разрешения, предоставляемая Google Earth, и картографические веб-сервисы: САЦ Минэнерго, Публичная кадастровая карта. На снимках разрешением выше 10 м в приоритете становятся прямые дешифровочные признаки, позволяющие интерпретировать отдельные опоры, их вид, количество цепей и напряжение. Главным дешифровочным признаком является их характерная тень (изображение на снимке регулярных, темных, часто едва различимых линий-отрезков). Косвенные дешифровочные признаки используются при работе со снимками более низкого разрешения (10-30 м), на которых не отображаются сами ЛЭП. Характер местности, по которой проходит воздушная линия, значительно влияет на эффективность дешифрирования опор. Например, линии намного увереннее определяются в районе просеки в лесу или сельскохозяйственных угодий [3]. Наиболее просты в плане распознавания линии, находящиеся за городской чертой, потому что направление трассы можно определять практически безошибочно благодаря просеке в пределах охранной зоны, которую хорошо видно на

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)  $N\!\!\!^{\circ}2(2019)$ 

DOI: 10.5281/zenodo.3274972

залесённых территориях [4]. Определить номинальное напряжение линии и количество цепей помогает видовой состав опор участков воздушной линии (ВЛ). Конструкционные особенности опор, которые зависят в том числе и от номинального напряжения сети, определяются специальными документами. По номинальному напряжению при векторизации были выделены линии 110 кВ и 330 кВ.

Результатом дешифрирования стали векторизованные линии и точки подстанций и электростанций. Благодаря высокому разрешению снимков различимы не только трассы ЛЭП и конфигурация сетей, но и их конструкционные особенности. Помимо воздушных бывают и кабельные линии (КЛ), распознавание которых по снимкам практически невозможно, поэтому для их векторизации требуется использование открытых ресурсов, например, Публичной кадастровой карты. Векторизованные кабельные линии встречаются в рамках данной работы только на территории города Калининграда и являются продолжением воздушной линии.

Векторные данные об электрических сетях представляют в виде неориентированного графа, так как направление передачи мощности может меняться. Используемый граф взвешенный, так как вершины и ребра могут быть дифференцированы по такой характеристике как пропускная способность. Данная характеристика рассчитывается исходя из показателей допустимой токовой нагрузки и номинального напряжения [5].

При сетевом моделировании единицей в сети является цепь ЛЭП. Такое представление подразумевает корректное отображение топологии сети, то есть всех связей внутри неё. При помощи сетевого моделирования возможно выявление структурных свойств энергосистемы [6]. Процесс моделирования производился в геоинформационном программном продукте ArcGIS 10.5, а также с привлечением библиотеки Python NetworkX.

Исходными данными для создания модели является файл формата КМL, содержащий подстанции, электростанции, воздушные и кабельные линии напряжением 110 и 330 кВ. Затем на основе этих данных создаётся набор сетевых данных в базе геоданных, который используется для анализа в модуле Network Analyst. Несмотря на то, что данный модуль не предназначен для анализа сетей подобного рода [7], его функционал представляется наиболее удобным для наших целей. В модели каждому ребру графа присваивается значение веса, которое определяется пропускной способностью ЛЭП, зависящей от номинального напряжения.

Сетевое моделирование выполнялось для двух временных срезов: на 2008 и 2018 гг. Такой выбор обусловлен тем, что за прошедшие 10 лет произошли значительные изменения в структуре энергосистемы, что связано с особенностями географического положения и бурным экономическим ростом региона. После построения модели для анализа структуры было рассчитано 4 показателя для каждого из временных срезов. Рассматриваемые показатели частично основаны на показателях, предложенных К. Канским для анализа транспортных сетей [8].

Самый простой структурный показатель – центральность по степени (degree centralilty). Он рассчитывается для узлов графа и характеризует количество при-

соединённых линий к точке. При расчёте центральность по степени нормализуется (1) для каждой точки путём деления на максимально возможную степень узлов в данном графе [9]. В применении к электросетям этот показатель применяется для иллюстрации «важности» подстанции или электростанции, основанной на количестве приходящих линий безотносительно их пропускной способности.

$$C_{D} = \frac{k}{K(n-1)},\tag{1}$$

где  $C_d$  – нормализованная центральность по степени; k – значение центральности для узла; К - максимально возможная степень в графе; п - количество узлов.

Показатель эффективности (efficiency) E рассчитывается для узлов графа и представляет собой величину, обратную сумме кратчайших расстояний до других узлов (2). Кратчайший путь в графе имеет минимальную сумму весов рёбер, составляющих путь. Именно поэтому самый эффективный путь не равен пути с наименьшим количеством ребер. Показатель является одним из способов представить приоритетность той или иной электростанции или подстанции перед другими с точки зрения потоков энергии.  $E = \frac{1}{\sum d} \frac{1}{n(n-1)},$ 

$$E = \frac{1}{\sum d} \frac{1}{n(n-1)},\tag{2}$$

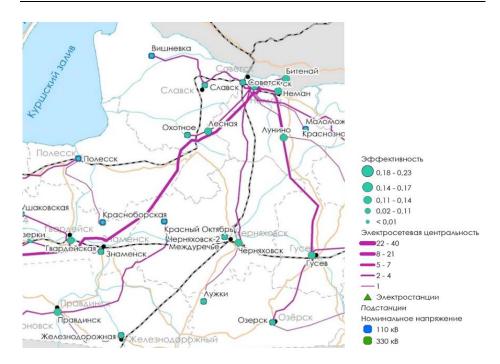
где  $\Sigma d$ – сумма кратчайших расстояний до других узлов; n – количество узлов. Центральность по промежуточности рёбер (edge betweenness centrality) означает количество раз, которое ребро (то есть ЛЭП) включается во все возможные кратчайшие пути. Показатель также нормируется путём деления на количество узлов в графе (3).

$$C_b = \sum \frac{\sigma(e)_{im}}{\sigma_{im}} \frac{2}{n(n-1)}$$
, (3) где  $i$  и  $m$  – остальные вершины графа;  $e$  – искомая вершина графа;  $\sigma_{im}$  – коли-

чество кратчайших путей, проходящих между вершинами i и m;  $\sigma(e)_{im}$  – количество кратчайших путей, проходящих через искомую вершину e; n – количество узлов графа.

Перечисленные структурные показатели рассчитывались с помощью библиотеки Python NetworkX. Несовершенство подхода состоит в том, что не учитывается дифференциация вершин на источники, распределителей и потребителей электроэнергии. Это несовершенство компенсировано в четвёртом показателе электросетевой центральности. Данный показатель был рассчитан в ПО ArcGIS 10.5 с помощью модуля Network Analyst инструментом Closest Facilities. Данный алгоритм позволяет определить, какие источники и потребители расположены ближе всего друг к другу. Для расчёта итогового показателя был применён инструмент Dissolve (слияние по атрибуту идентификатора ребра), который рассчитывает количество совпадающих рёбер всех возможных маршрутов.

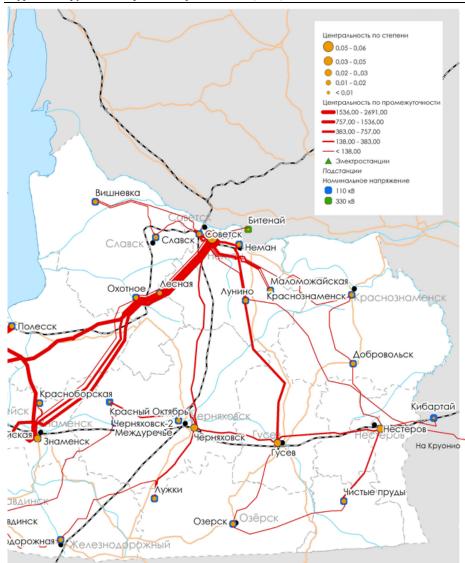
Расчёт структурных показателей позволяет косвенно определить надёжность энергоснабжения потребителей и оценить нагрузку каждого узла, то есть его важность для функционирования энергосистемы. Полученные результаты визуализированы на карте масштаба 1:1 000 000 (рис. 1, 2).



**Рис. 1.** Фрагмент карты показателей электросетевой центральности и эффективности 2018 г.

Как уже говорилось ранее, автоматизированного способа генерализации электрических сетей не существует. В процессе генерализации использовались приёмы упрощения геометрических очертаний и смещения. На тех участках, где встречаются больше, чем одна линия в коридоре, следует их разнести друг от друга на такое расстояние, чтобы на картах в конечном масштабе все линии были различимы между собой. Стоит отметить, что все изменения геометрии в ходе генерализации не влияют на результат моделирования.

Значения всех визуализированных показателей были поделены на 5 классов методом естественных интервалов для объективного сравнения при дальнейшем анализе. Цветовые решения определяются общепринятыми нормами для соответствующих классов напряжения: линии и подстанции 110 кВ обозначаются голубым, а линии, электростанции и подстанции 330 кВ – зеленым.



**Рис. 2.** Фрагмент карты центральности по степени и центральности по промежуточности 2018 г.

На основе перечисленных различий была составлена карта динамики структурных показателей Калининградской энергосистемы (рис. 3), которая иллюстрирует изменения в структуре электросети.

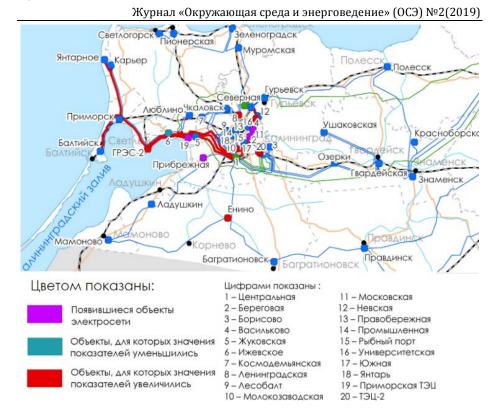


Рис. 3. Фрагмент карты динамики структурных показателей.

## 3 Обсуждение и выводы

Рассмотрим динамику структурных показателей электросети, сравнив ситуации для 2008 и 2018 годов. В целом, значения показателей для большинства объектов не изменились, однако есть исключения. Если говорить об эффективности, то она увеличилась для подстанций Прибрежная, Ижевское и электростанции ГРЭС-2, а уменьшилась лишь для подстанции Люблино – это связано с появлением новых подстанций и электростанции (Приморская ТЭЦ), вследствие чего изменились потоки электроэнергии. Показатель центральности по промежуточности увеличился для линий, для которых была сделана разрезка на Приморскую ТЭЦ, а также для линий, проходящих через появившиеся подстанции в Калининграде, такие как Береговая и Московская. Такое явление объясняется тем, что при разрезке увеличивается количество заходов на подстанцию, что повышает надёжность электроснабжения конечных потребителей. Более того, при увеличении количества отпаек количество кратчайших маршрутов энергоснабжения, проходящее через тот или иной участок ЛЭП, также увеличивается.

Таким образом, благодаря появлению разрезок на новые подстанции и электростанции магистральность ЛЭП повышается, что означает увеличение важности линии для электросети в целом. Показатель центральности по степени увеличился для ГРЭС-2 и Приморской ТЭЦ, а также подстанций Гвардейская, Знаменск, Правдинск, Енино, Молокозаводская и другие, которые находятся поблизости от появившихся объектов. Такие изменения можно охарактеризовать как увеличение устойчивости перечисленных объектов к случайным авариям в энергосистеме.

Электросетевая центральность практически не различается для рассмотренных временных срезов. В частности, значения показателя увеличились для линий 110 кВ Центральная — Береговая и Северная — Береговая, что связано со строительством новых подстанций. В ходе анализа показателей были построены гистограммы показателей (рис. 4).

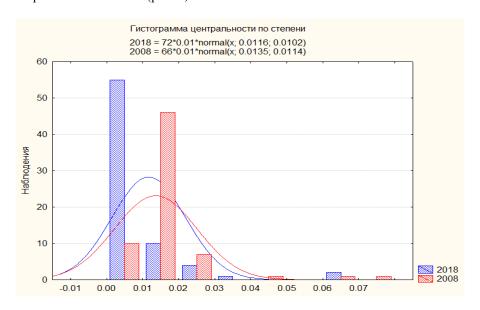


Рис. 4. Гистограмма показателей центральности по степени 2008 и 2018 гг.

Проанализировав приведенные выше гистограммы, заметно изменение в распределении показателя центральности по степени: распределение в 2018 г. более близкое к нормальному. Такое различие в распределении говорит о принципиальном изменении в структуре электросети за 10 лет, что находит своё отражение в увеличении иерархичности сети. Под высокой иерархичностью подразумевается преобладание подстанций с малым числом инцидентных рёбер и малая доля подстанций более высоких классов напряжения характеризующихся большим числом инцидентных рёбер [10].

Выявление закономерностей распределения каждого из показателей в отдельности и определение динамики позволяет сделать вывод о том, что объекты

в сети, претерпевшие изменения, стали менее уязвимыми к случайным авариям и более эффективными с точки зрения потоков электроэнергии по сравнению с 2008 годом. Самые устойчивые участки в структурном аспекте приурочены к наиболее высоким значениям центральности по степени и эффективности, наиболее уязвимые (так как они имеют большой вклад в передаче электроэнергии внутри сети) – к высокой центральности по промежуточности. Это касается, в первую очередь, линий с номинальным напряжением 330 кВ или расположенных рядом с крупными подстанциями или электростанциями. Однако остаётся заметное различие в значениях показателей между ЛЭП одного класса напряжения, что говорит об остающейся дифференциации структурной устойчивости внутри электросети.

Таким образом, на основе теории графов и геоинформационных технологий была создана серия карт, отражающая динамику пространственной структуры калининградской энергосистемы. Такой подход позволяет наглядно визуализировать дифференциацию энергосистемы по структурной устойчивости, выявлять её уязвимые места и планировать её дальнейшее развитие.

## Литература

- 1. Тархов С. А. Эволюционная морфология транспортных сетей. Смоленск. М: Издво «Универсум», 2005. 384 с.
- Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Карпачевский А. М., Филиппова О. Г. Картографирование структуры изолированных энергосистем (на примере Камчатского края, Магаданской и Сахалинской областей) // Геодезия и картография. 2017. №5. С. 56-63.
- Каргашин П. Е., Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Карпачевский А. М. Изучение пространственной конфигурации электросетей по космическим снимкам // Геодезия и картография. – 2016. – №3. – С. 53-58.
- Карпачевский А. М., Каргашин П. Е. Дешифрирование объектов сетевой инфраструктуры топливно-энергетического комплекса // 10-я межд. молодежная школаконференция Меридиан: Современные подходы к изучению экологических проблем в физической и социально-экономической географии / Под ред. М. Е. Кладовщиковой, А. А. Медведева, И. Г. Шоркунова. 11-й Формат Москва, 2017. С. 171–177.
- Новаковский Б. А., Карпачевский А. М., Каргашин П. Е. Геоинформационное картографирование электрических сетей: подходы и методы // Вопросы географии. 2017.

   Т.144. С.264-279.
- Boccaletti S., Latora V., Moreno Y., Chavez M., Hwang D.-U. Complex networks: Structure and dynamics. Physics Reports. 2006. Vol. 424. P. 175-308.
- 7. Fischer M.M. GIS and network analysis // Handbook of Transport Geography and Spatial Systems / D. Hensher, K. Button, K. Haynes, P. Stopher (eds.). Pergamon, 2003.
- 8. Kansky K.J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // Chicago University, Department of geography, Research Paper. 1963. No. 84. 156 p.
- 9. Barthelemy M. Morphogenesis of spatial networks. Springer, 2018. 331 p.

 Фаддеев А. М. Оценка уязвимости энергосистем России, стран Ближнего зарубежья и Европы // Вестн. Московского ун-та, серия 5, География. – 2016. – №1. – С. 46-53.

### Reference

- Tarhov S. A. Evolutionary morphology of transport networks. Smolensk; Moskva: Izdatel'stvo «Universum», 2005. 384 p.
- Novakovskiy B. A., Prasolova A. I., Karpachevskiy A. M., Filippova O. G. Mapping of isolated energy system structure: case study of Kamchatka Territory, Magadan and Sakhalin Regions // Geodezija i kartografija, 2017. No. 5. p. 56-63.
- 3. Kargashin P. E., Novakovsky B. A., Prasolova A. I., Karpachevsky A. M. Study of the electrical grid spatial configuration with satellite images // *Geodezija i kartografija*, 2016, No. 3, p. 53–58.
- Boccaletti S., Latora V., Moreno Y. et al. (2006) Complex networks: Structure and dynamics // Physics Reports. Vol. 424. p. 175-308.
- Karpachevsky, A. M., Kargashin P. E. Image interpreting of fuel and energy complex network infrastructure // 10th inter. youth school-conference Meridian: Modern approaches to the study of environmental problems in the physical and socio-economic geography thesis, 2017. p. 171-177.
- Novakovskiy B. A., Karpachevsky, A. M., Kargashin P. E. GIS mapping of electrical networks: approaches and methods // Voprosy geographii, 2017. Vol. 144. p. 264-279.
- 7. Fischer M. M. GIS and network analysis // Handbook 5 Transport Geography and Spatial Systems. Hensher D., Button K., Haynes K. and Stopher P. (eds.); Pergamon, 2003.
- 8. Kansky K. J. Structure of transportation networks: relationships between network geometry and regional characteristics // *Chicago University, Department of geography, Research Paper*, 1963. No 84. 156 p.
- 9. Barthelemy M. Morphogenesis of spatial networks, 2018. 331 p.
- Faddeev A. M. Vulnerability of transmission systems of Russia, other post-soviet states and European countries to the cascade faults // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya, 2016. No 1, p. 46-53.

## The study of the structure dynamics of the Kaliningrad power grid based on network analysis

A.M. Karpachevskiy, M.N. Shilyakina

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: karpach-am@yandex.ru

**Abstract.** Trends in recent years show that neighboring countries, which once formed a single energy system of the entire Soviet space, seek to disconnect

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3274972

from it and join the power grid of the European Union. As a result, this will inevitably lead to the isolation of the Kaliningrad power grid, which has no links with power grid of the united power grid of Russia. Such situation provides the predisposition towards structural vulnerability to emergency situations. The paper considers power grid of Kaliningrad region referred to the states of 2008 and 2018 years. For each object of the power system, structural indicators based on graph theory were calculated. Also, the obtained parameters for the network sections for two dates were analyzed, and their dynamics was revealed, which quantitatively describes the change in the structural features of the electric network for ten years. Described approach could be used in regional planning of power grid.

**Keywords:** GIS-analysis, Kaliningrad region, structural indicators, graph theory, power grid

УДК 621.47

## Возможности освещения парков Москвы с помощью солнечных батарей

С.П. Кошкин<sup>а</sup>

Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: spkoshkin@yandex.ru

Аннотация. Рынок уличного освещения на солнечной энергии быстро развивается, демонстрируя эффективность данного метода освещения. Статус «зеленых» технологий способствует их применению в парковых территориях, увеличивая рекреационный потенциал парков через самообеспечение энергией в отличие от стандартного освещения. В данном работе была исследована возможность установки уличного освещения на солнечной энергии в ПКиО «Кузьминки-Люблино». Установка освещения, объемы и стоимость которого рассчитывались двумя методами и впоследствии сравнены, вдоль дорожек приоритетного значения способна увеличить рекреационный потенциал парковых территорий. Придорожная растительность была картирования во время полевых исследований для того, чтобы определить как она сдерживает распространение света, способствуя средообразующей функции парка. В то же время установлено, что, при существующем объеме поступающей солнечной радиации на территории Москвы, рынок уличного освещения на солнечной энергии в России способен обеспечить 95% эффективность для системы менее чем с 50% фонарей с установленными солнечными панелями.

**Ключевые слова:** уличное освещение, солнечная энергетика, парковое освещение, рекреационные услуги, Москва, Кузьминки-Люблино.

### 1 Введение

Современные городские территории являются источником подавляющей доли негативного воздействия человека на окружающую среду. Промышленные и автомобильные выбросы, коммунальные отходы и канализационные стоки определяют качество окружающей среды не только в городах, но и ближайшей

\_

<sup>&</sup>lt;sup>a</sup> ORCID: 0000-0001-5881-2552

округе. В данных условиях развитие зеленой городской инфраструктуры становится одним из главных инструментов нивелирования экологического следа.

Одним из инструментов снижения негативной экологической обстановки в городе является создание и поддержание парковых территорий [1] [2]. Деревья способны сокращать концентрацию пыли в воздухе на 42% в период вегетации и на 37% в безлистный период. Городские парки с плотной растительностью могут снижать уровень шума на 15-18 дБ [3]. Желание оказаться в более экологически чистой среде является одним из факторов посещения парковых территорий. В то же время, наличие водных объектов, игровых площадок и другой рекреационной инфраструктуры повышает их привлекательность для местного населения [4] [5] [6]. То же можно утверждать в отношении уличного освещения, увеличивающего посещаемость парковых территорий в темное время суток [7].

В отношении экологической функции парков, развитие «зеленых» технологий на их территории является перспективным. Таким образом, и уличное освещение может развиваться в рамках «зеленых» технологий через использование местных «зеленых» ресурсов. Самообеспечение энергией является нарастающим трендом в рамках повышения энергоэффективности домовых хозяйств, экономии затрат на электроэнергию и выхода на рынок электроэнергии [8].

## 2 Предпосылки

Развитие рынка уличного освещения достигло коммерческих масштабов. Доля уличного освещения на солнечной энергии в США и Китае скоро достигнут 11% и 8% соответственно, в то время как общий объем рынка уличного освещения на солнечной энергии достигнет 5 млрд долларов [9]. Данные технологии также используются в социальных проектах, например, Управления Верховного комиссара ООН по делам беженцев [10].

Уличное освещение на солнечной энергии активно развивается и в России, где оно устанавливается на объектах дорожного регулирования: светофорах, фонарях, остановках и т.п.. В то же время, исследования показывают [11], что установка автономного уличного освещения на солнечной энергии является оптимальным вариантом для территории с плохо развитой электросетью. Опыт использования альтернативных источников энергии для уличного освещения накоплен во многих странах. Всё больше солнечных панелей устанавливается на уличных фонарях [12] [13] [14].

Наши недавние исследования в Берлине и Лейпциге в июне 2017 года показали, что эффективность уличного освещения на солнечной энергии зависит от внутренней структуры парков. Сочетание естественных и искусственных ландшафтов, их наполнение, определяет качество и спектр экосистемных услуг и влияет на доступность парковых территорий к производству электроэнергии на основе солнечной энергии [15] [16] [17].

### 3 Территория исследования

Разработка системы уличного освещения на солнечной энергии была произведена для территории ПКиО «Кузьминки-Люблино». Данная парковая территория расположена на юго-востоке Москвы в пределах 4 муниципальных районов (Выхино-Жулебино, Кузьминки, Люблино, Текстильщики), занимая 962 га (рис. 1, 2). На территории парка расположена разнообразная инфраструктура, парк совмещает культурно-просветительские, средообразующие и рекреационные функции. На его территории обитают 12 видов млекопитающих (зайцы, ежи, кроты, грызуны), 70 видов птиц (от ястребов до уток), 78 видов растений и кустарников, часть которых была интродуцирована в экосистему парка в декоративных целях [18]. Многие из данных видов, в том числе 20 видов редких травянистых растений, занесены в Красную книгу Москвы. Основную инфраструктуру парка составляют усадебные комплексы Кузьминки и Люблино, эколого-просветительский и культурно-рекреационный центры, спортивная и иная рекреационная инфраструктура.

Выбор ПКиО «Кузьминки-Люблино» обоснован разнообразием территорий и услуг, возможностью проведения качественного зонирования территории, большая площадь, а также большой личный опыт его посещения, который возымел значительную роль при проведении исследований.

### 4 Материалы и методы исследования

В ходе исследования автором выполнялись полевые, описательные и картографические работы. На основе имеющихся источников информации произведен анализ рынка уличного освещения с солнечными панелями, собрана основная информация по нынешнему состоянию и рекреационным услугам ПКиО «Кузьминки-Люблино».

Основой исследования стала разработка системы уличного освещения с солнечными панелями для территории ПКиО «Кузьминки-Люблино». Исходя из личного опыта посещения парка, а также географии размещения объектов рекреации, было проведено зонирование территории парка по посещаемости, определены территории, на которой посещаемость в темное время суток требует необходимости системы уличного освещения.

На основе проведенного зонирования, векторных данных Open Street Мар по дорожкам на территории парка [19], а также личного опыта его посещения, сформирована сеть дорожек приоритетного значения. Далее, по космическим снимкам IKONOS разрешением 1 м, были определены отрезки дорожек приоритетного значения, которые открыты по отношению к Солнцу и пригодны для установки уличного освещения с солнечными панелями. Произведены предварительные расчеты количества и структуры уличного освещения, стоимости его закупки – количество светильников определялось исходя из мощности освещения, приходящей инсоляции [20], определялась дистанция, на которой данные светильники выполняют требования российского законодательства (СНиП 23-

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019)

DOI: 10.5281/zenodo.3275266

05-2010, включая СП 52.1333.2011 и САНПиН 2.21/2.1.1.1278-03) [21]. Впоследствии была произведена более детальная проработка предполагаемой системы уличного освещения. Детальная проработка основана на технических характеристиках выбранного оборудования (удовлетворяемый радиус освещения) и потенциальном размещении светильников непосредственно на территории с указанием их статуса — с солнечными панелями или без. Проведено сравнение с предварительными данными.

Для характеристики воздействия потенциальной системы освещения на окружающую среду была собрана основная информация по биоразнообразию на территории ПКиО «Кузьминки-Люблино». Также проведены полевые исследования придорожной растительности, расположение и густота которой определяет, как далеко свет от фонарей распространяется за пределы дорожек. В ходе полевых исследований определен породный состав растительности и дальность пропускания света. С учетом технических характеристик выбранного светового оборудования, дальность определена по трем категориям — до 10 м, 10-20 м и более 20 м.

Для обоснования выбранного в качестве образца светового оборудования был произведен анализ рынка уличного освещения с солнечными панелями на территории Москвы и РФ. Определено, что 4 компании предлагают необходимое оборудование – СетьСвет, ЭнергоСток, Electro Trend и SunShines [22] [23] [24] [25]. В совокупности, данные компании предлагают 18 комплектаций уличного освещения на солнечной энергии. Солнечные панели своей мощностью варыруются от 15 до 240 Вт, а стоимость оборудования находится в промежутке с 11 до 118 тысяч рублей. Для определения наиболее оптимального варианта был рассчитан коэффициент эффективности оборудования, представляющий собой отношение стоимости оборудования к его самообеспечиваемости и радиусу освещения. Таковым стал комплект уличного освещения на солнечной энергии компании СетьСвет с солнечными батареями и фонарем мощностью 150 и 40 Вт соответственно.

С учетом объема солнечной инсоляции, приходящей на поверхность Московского региона, а также технических характеристик фонаря и солнечной панели, было рассчитана обеспечиваемость одного фонаря собственной производимой электроэнергией в течение года. В качестве временного отрезка, на протяжении которого должен работать фонарь, мы взяли периоды работы уличного освещения на территории Москвы [26], вычитав период с полуночи до 8 утра, когда посещаемость парка крайне мала и необходимость в его освещении минимальна. Таким образом, среднегодовая обеспечиваемость выбранной комплектации составила 213,4%, варьируясь от 33,6% в наименее солнечный период (12 декабря — 10 января) до 1172,0% в наиболее солнечный период (17 июня — 16 июля). Данная система может быть полностью самообеспечиваемой при доле фонарей с солнечными панелями от 46,9% и более.

### 5 Результаты и их обсуждение

Для ПКиО «Кузьминки-Люблино» характерно четкое зонирование территории в отношении ее посещаемости (рис. 1). Так, пространство вокруг Кузьминских и Люблинских прудов, к которому приурочены усадебные участки и основная рекреационная инфраструктура парка, является наиболее посещаемой среди жителей города. Меньшей популярностью пользуется лесная зона в пределах районов Выхино-Жулебино и Кузьминки, расположенная между жилыми кварталами, госпиталем и военной частью. И наименее посещаемой является южная часть парка, которая находится вдали от жилой инфраструктуры и потенциальных посетителей.

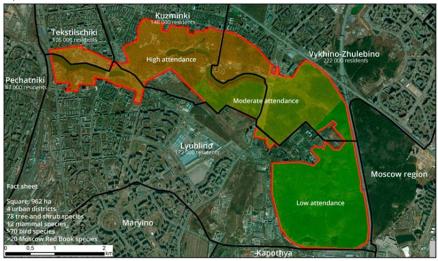
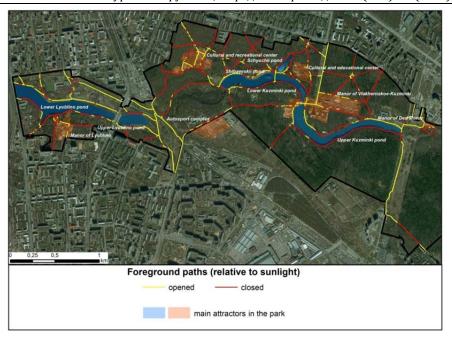


Рис. 1. Посещаемость ПКиО «Кузьминки-Люблино»

С учетом такого распределения рекреационной нагрузки мы предполагаем, что территория с низкой посещаемостью должна сосредоточить на себе природоохранные функции. Наличие большого лесного массива и наименьшее антропогенное воздействие крайне этому способствуют. Территория с умеренной посещаемостью будет переходной зоной. При некоторой популярности среди посетителей, данная территория не обладает объектами-аттракторами, что предполагает минимальное использование территории в рекреационных целях в ночное время суток. Данная зона станет переходной между природоохранной и рекреационной зоной, наиболее посещаемой, на территории которой мы предполагаем размещение сети уличного освещения на солнечной энергии.

Сеть дорожек приоритетного значения разработана с учетом действующей дорожной сети парка, расположения объектов-аттракторов и личного опыта посещения (рис. 2). Общая протяженность дорожек, которую предполагается оснастить уличным освещением, составляет чуть более 32 км.

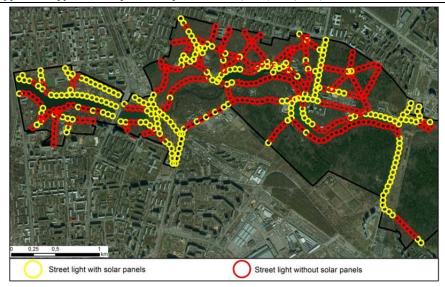


**Рис. 2.** Система дорожек приоритетного значения на территории ПКиО «Кузьминки-Люблино»

Открытость сети дорожек приоритетного значения солнечному свету составила 43,2%. С учетом того, что короткие затененные участки могут покрываться светом от близстоящих светильников, скорректированная открытость сети парка составляет 45,1%. Таким образом, с учетом количества перекрестков, которые уменьшают количество необходимых светильников, их общий требуемый объем составляет 505 светильников, из которых 228 могут быть оборудованы солнечными панелями. С учетом того, что данная комплектация фонаря и солнечной панели дает самообеспечиваемость при доле фонарей с солнечными панелями с 46,9%, предполагаемая система будет на 96% самостоятельно обеспечивать себя электроэнергией.

Данные предварительные расчеты были уточнены через непосредственное составление схемы расположения светильников на территории парка (рис. 3).

Данная, фактическая схема размещения светильников, предполагает расположение 530 светильников на территории парка, 237 из которых могут быть оборудованы солнечными панелями. Доля светильников с солнечными панелями составила 44,7%, вследствие чего самообеспечиваемость электроэнергией снизилась до 95,3%. Общая стоимость уличного освещения для ПКиО «Кузьминки-Люблино» составила 15,3 млн рублей.



**Рис. 3.** Схема размещения сети уличного освещения на территории ПКиО «Кузьминки-Люблино»

Нехватку производства возможно компенсировать за счет расположения дополнительных наземных солнечных модулей на неиспользуемых в рекреационных целях открытых территориях, например, вдоль линии ЛЭП на востоке предполагаемой сети. Заметим, что точность предварительного расчета количества и структуры паркового освещения для территории ПКиО «Кузьминки-Люблино» составила 91,7%. В таком случае, предварительная оценка, которую можно провести в более краткие сроки для большей территории, является достаточно качественной.

Полевые исследования придорожной растительности позволили определить предполагаемую распространяемость освещения за пределы дорожек в темное время суток (рис. 4). На данный фактор основное влияние имеет густота древесных насаждений и их породный состав. С учетом густоты нами выделены три дальности пропускания света (см. Материалы и методы исследования). В отношении породного состава можно дать следующую характеристику. Так, клены и ели имеют наиболее густые кроны, расположенные по всей высоте дерева, поэтому они обеспечивают наименьшее распространение освещения за пределы дорожек, что позитивным образом скажется на природоохранных и средообразующих функциях парка. Наиболее негативная ситуация в этом отношении наблюдается у берез и сосен, чьи кроны находятся на высоте большей, чем высота светильников, соответственно, не препятствуя распространению света по территории.

DOI: 10.5281/zenodo.3275266



Рис. 4. Придорожная растительность в ПКиО «Кузьминки-Люблино»

В целом для ПКиО «Кузьминки-Люблино» характерна плотная придорожная растительность, в том числе и на берегах прудов. Во многом этому способствует широкое распространение кленов, а также наличие плотного смешанного древостоя. В некоторой степени ограничителями распространения освещения являются и антропогенные объекты (здания, заборы), но их количество невелико.

## 6 Выводы

Несмотря на сильную залесенность территории, ПКиО «Кузьминки-Люблино» показывает, что установка освещения на солнечной энергии в пределах парковых зон города Москвы является перспективным направлением развития рекреационных услуг города. Для рассмотренного парка получены следующие выходные данные:

Территория ПКиО «Кузьминки-Люблино» делится на 3 зоны по посещаемости, в связи с чем наименее посещаемую зону предполагается специализировать на природоохранной и средообразующей функции, а наиболее посещаемую – на рекреационной;

Для этого разработана сеть дорожек приоритетного значения общей длиной более 32 км, оснащение которой уличным освещением на солнечной энергии позволит качественно улучшить рекреационные услуги парка в темное время суток и повысить его посещаемость;

При доле светильников с солнечными панелями в 44,7%, самообеспечиваемость парка электроэнергией, в нынешней конфигурации разработанной сети, составит 95,3%. Оставшуюся незначительную долю возможно покрыть наземными солнечными панелями;

Общее количество необходимых светильников для сети ПКиО «Кузьминки-Люблино», по расчетам, составило 530 штук, 237 из которых должны быть оборудованы солнечными панелями. Общая стоимость оборудования составляет 15,3 млн рублей;

Придорожная растительность является ведущим фактором минимизации негативного воздействия искусственного освещения на биоритмы экосистемы — широкое распространение густой растительности, а также таких пород как клен и ель, являются благоприятствующими факторами для совмещения территорией рекреационной и средообразующей функций.

Как показал ход исследований, предварительная разработка сети паркового освещения является достаточно точной. Таким образом, возможны крупномасштабные исследования для создания программы по установке уличного освещения на парковых территориях на уровне городов. На уровне парка рекомендуется проводить более детальную оценку, как это сделано здесь на примере ПКиО «Кузьминки-Люблино». В целом, формат данной оценки позволяет определить местоположение и стоимость сети паркового освещения для любой парковой территории.

### Литература

- 1. Röbbel N. / Health co-benefits of climate change mitigation Housing sector. Health in the green economy // World Health Organization. 2011. https://www.who.int/hia/green\_economy/housing\_report/en/ [Дата обращения: 17.05.2019]
- 2. Project Evergreen / Environmental fact sheet. The environmental benefits of green spaces // https://projectevergreen.org/wp-content/uploads/2013/07/EnvironmentalBenefitsofGreenSpace.pdf [Дата обращения: 17.05.2019]
- Байтурина Р.Р. / Санитарно-гигиеническая роль зеленых насаждений // Матер. Всеросс. науч.-прак. конф. «Уралэкология. Природные ресурсы» – 2005 – Уфа-Москва, 2005. – 153-154 с.

DOI: 10.5281/zenodo.3275266

- 4. Cao X., Handy S.L., Mokhtarian P.L. / The influences of the built environment and residential self-selection on pedestrian behavior: Evidence from Austin, TX // Transportation. 2006. 33(1), 1-20 c.
- 5. Giles-Corti B., Donovan R.J. / Socioeconomic status differences in recreational physical activity levels and real and perceived access to a supportive physical environment // Preventive Medicine. 2002. 35 (6), 601-611 c.
- 6. Saelens B.E., Handy S.L. / Built environment correlates of walking: A review / Medicine and Science in Sports and Exercise. 2008. 40 (7 Suppl), 550-566 c.
- Федорищев А.Ю. / Концептуальные вопросы развития наружного освещения городов // Энергосбережение – Москва, 2008. – №4.
- 8. Ведомости / Домохозяйства переходят на самообеспечение электричеством // Перевод статьи Р. McGee, Financial Times. 2018. https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/07/747134-domohozyaistva-samoobespechenie-elektrichestvom [Дата обращения: 31.12.2018].
- 9. Global Market Insights / Global Solar Street Lighting Market to exceed \$5bn by 2024 // Global Market Insights Inc. 2018. https://www.gminsights.com/pressrelease/solar-street-lighting-market [Дата обращения: 31.12.2018].
- United Nations High Commissioner for Refugees / UNHCR Solar Street Light // 2014. https://www.unhcr.org/en-my/53fc7f2d9.pdf [Дата обращения: 17.05.2019].
- Мазов К.В. / Использование автономных систем, работающих за счет возобновляемых источников энергии для повышения надежности и экономичности электроснабжения уличного освещения г. Оренбурга // Московский технологический институт "ВГУ". – 2014.
- 12. Panguloori R., Mishra P., Kumar S. / Power distribution architectures to improve system efficiency of centralized medium scale PV street lightning system // Solar Energy, Elsevier, 2013. 97, 405-413 c
- 13. Liu G. / Sustainable feasibility of solar photovoltaic powered street lighting systems //International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Elsevier, 2014. 56, 168-174 p.
- Kumar N.M., Singh A.K., Reddy V.K. / Fossil Fuel to Solar Power: A Sustainable Technical Design for Street Lightning in Fugar City, Nigeria // Procedia Computer Science, Elsevier, 2016. 93, 956-966 c.
- 15. Haase, D. at al. / A quantitative review of urban ecosystem service assessments: concepts, models and implementation // Ambio, 2014. 43: 413-433 c.
- 16. Dushkova D., Haase D., Evseev A. / Ecosystem services assessment and its impact on human health a comparative analysis of expertise and approaches in Russian and German cities // Problems of regional geography, 2015. 4: 21-27 c.
- Kabisch, N., Qureshi, S., Haase, D. / Human-environment interactions in urban green spaces - A systematic review of contemporary issues and prospects for future research // Impact Assessment Review, 2015. – 50: 25-34 c.
- 18. ГПБУ «Мосприрода» / Природа парка «Кузьминки-Люблино» // http://www.kuzpark.ru/kuzpark/ru/nature [Дата обращения: 12.05.2019]
- 19. OpenStreetMap / Открытые векторные данные OpenStreetMap // https://www.openstreetmap.org [Дата обращения: 01.04.2018]
- Атлас возобновляемой энергии на территории России: науч. издание / Москва: РХТУ им. Д.И. Менделеева. – 2015. – 160 с.
- Министерство регионального развития Российской Федерации / СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение. – 2010.

- 22. Electro Trend / Автономное освещение // http://www.electrotrend.ru/avtonomnoe-osveschenie/ [Дата обращения: 01.01.2019]
- Energostok / LED-освещение с солнечными батареями // http://energystock.ru/solnechnye-batarei/avtonomnoe-osvewenie/sadovye-fonari [Дата обращения: 01.01.2019]
- 24. SetSvet / Комплект автономной уличной системы // https://www.ceтьcвeт.pф/komplekt-avtonomnoj-sistemy-23 [Дата обращения: 01.01.2019]
- 25. Sunshines / Уличное освещение с солнечными батареями // http://sunshines.ru/product/street-light/ [Дата обращения: 01.01.2019]
- 26. Моссвет / График включения и отключения установок наружного освещения города Москвы // http://mossvet.ru/klientam/grafik-otklyucheniya/ [Дата обращения 12.05.2019]

### References

- Röbbel N. / Health co-benefits of climate change mitigation Housing sector. Health in the green economy // World Health Organization. - 2011. https://www.who.int/hia/green\_economy/housing\_report/en/ [Accessed: 17.05.2019]
- Project Evergreen / Environmental fact sheet. The environmental benefits of green spaces // https://projectevergreen.org/wp-content/uploads/2013/07/EnvironmentalBenefitsofGreenSpace.pdf [Accessed: 17.05.2019]
- Baiturina R.R. / Sanitarno-gigienicheskaya rol zelenykh nasazhdenii // Mater. vseross. nauch.-prak. conf. "Uralecologia. Prirodnye resursy – 2005" – Ufa-Moskva, 2005. – 153-154 p.
- Cao X., Handy S.L., Mokhtarian P.L. / The influences of the built environment and residential self-selection on pedestrian behavior: Evidence from Austin, TX // Transportation.

   2006. 33(1), 1-20.
- 5. Giles-Corti B., Donovan R.J. / Socioeconomic status differences in recreational physical activity levels and real and perceived access to a supportive physical environment // Preventive Medicine. 2002. 35 (6), 601-611.
- 6. Saelens B.E., Handy S.L. / Built environment correlates of walking: A review / Medicine and Science in Sports and Exercise. 2008. 40 (7 Suppl), 550-566.
- Fedorischev A.Yu. / Kontseptualnye voprosy razvitiya naruzhnogo osveschenia gorodov // Energosberzhenie – Moskva, 2008. – №4.
- 8. Vedomosti / Domokhozyaistva perekhodyat na samoobespechenie electrichestvom //Perevod statyi P. McGee, Financial Times. 2018. https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/01/07/747134-domohozyaistva-samoobespechenie-elektrichestvom [Accessed: 31.12.2018].
- BIS Research / Global Solar LED Street Lighting Market: Focus on Configuration Type, Applications, Competitive Landscape and Countries -Analysis and Forecast, 2018-2024 – 2018. – https://www.reportbuyer.com/product/5605440/global-solar-led-street-lighting-market-focus-on-configuration-type-applications-competitive-landscape-and-countries-analysis-and-forecast-2018-2024.html [Accessed: 20.05.2019].
- United Nations High Commissioner for Refugees / UNHCR Solar Street Light // 2014. https://www.unhcr.org/en-my/53fc7f2d9.pdf [Accessed: 17.05.2019].
- 11. Mazov K.V. / Ispolzovanie avtonomnykh system, rabotayuschikh za schyot vozobnovlyaemykh istochnikov energii, dlya povysheniya nadezhnosti i ekonomichnosti elektrosnab-

- zheniya ulichnogo osvescheniya g. Orenburga // Moskovskii Tekhnologicheskii Institut "VGU". 2014.
- 12. Panguloori R., Mishra P., Kumar S. / Power distribution architectures to improve system efficiency of centralized medium scale PV street lightning system // Solar Energy, Elsevier, 2013. 97, 405-413 p.
- Liu G. / Sustainable feasibility of solar photovoltaic powered street lighting systems //International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Elsevier, 2014. – 56, 168-174 p.
- Kumar N.M., Singh A.K., Reddy V.K. / Fossil Fuel to Solar Power: A Sustainable Technical Design for Street Lightning in Fugar City, Nigeria // Procedia Computer Science, Elsevier, 2016. 93, 956-966 p.
- 15. GPBU Mospriroda / Priroda parka Kuzminki-Lyublino // http://www.kuzpark.ru/kuzpark/ru/nature [Accessed: 12.05.2019]
- OpenStreetMap / Free vector data of OpenStreetMap // https://www.openstreetmap.org [Accessed: 01.04.2018]
- Atlas vozobnovlyaemoi energii na territorii Rossii: nauch. izdanie / Moskva: RKhTU after D.I. Mendeleev. – 2015. – 160 p.
- 18. Ministry of regional development of Russian Federation / СНиП 23-05-2010 Natural and artificial lighting. 2010.
- Electro Trend / Autonomous lighting // http://www.electrotrend.ru/avtonomnoeosveschenie/ [Accessed: 01.01.2019]
- Energostok / Led light with solar battery // http://energystock.ru/solnechnye-batarei/avtonomnoe-osvewenie/sadovye-fonari [Accessed: 01.01.2019]
- 21. SetSvet / The kit of autonomous lighting system // https://www.ceтьсвeт.pф/komplekt-avtonomnoj-sistemy-23 [Accessed: 01.01.2019]
- 22. Sunshines / Street lighting with solar batteries // http://sun-shines.ru/product/street-light/ [Accessed: 01.01.2019]
- 23. Mossvet / Grafik vklyucheniya i otklyucheniya ustanovok naruzhnogo osvescheniya goroda Moskvy // http://mossvet.ru/klientam/grafik-otklyucheniya/ [Accessed: 12.05.2019]
- Vedomosti / Kak Moskva potratit na parki 50 milliardov rublei // 2017. https://www.vedomosti.ru/realty/articles/2017/08/28/731207-moskve-obhoditsya-parkov [Accessed: 04.01.2019]

## The possibility to light Moscow parks with solar panels

### S.P. Koshkin

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: spkoshkin@yandex.ru

**Abstract.** Solar street lighting market is growing rapidly demonstrating effectiveness of this lightning method. Technologies greening vector promoted its application in parks. It benefits recreational potential of parks providing by energy self-sufficiency instead of many unfavorable factors connected with traditional lighting methods. Installation possibility of solar street

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3275266 lighting system in Kuzminki-Lyublino park was studied. Lighting installation along foreground paths may increase recreational potential. Two methods were used to calculate needed amount of lamp posts and possible amount of solar panels, results were compared. The cost of solar street lighting system for Kuzminki-Lyublino park was calculated as well. Roadside vegetation was mapped during field studies to find restraining of artificial light and its support of environmental function of the park. It was found that the incoming solar radiation in Moscow and the current state of solar street lighting market in Russia enable annual energy-self supply about 95% for street lighting systems with less than 50% share of lamps with solar panels.

**Key words:** street lighting, solar energy, park lighting, recreation territories, Moscow, Kuzminki-Lyublino.

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)  $N\!\!\!^{\circ}\!\!\!^{\circ} 2(2019)$ 

DOI: 10.5281/zenodo.3275266

УДК 550.34, 550.36

# Флюидонасыщенные тела в земной коре и возможные механизмы вулканических извержений и землетрясений

#### А.М. Нечаев<sup>а</sup>

Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: logata@yandex.ru

**Аннотация.** Рассмотрены результаты теоретических исследований механизмов землетрясений и вулканических извержений. Особая роль в этих механизмах отводится глубинным флюидонасыщенным зонам, физические параметры которых (давление, объем) определяют условия начала тех или иных катастрофических событий внутри земной коры.

**Ключевые слова:** вулкан, земная кора, флюид, механизм землетрясения, механизм вулканического извержения, флюидонасыщенные зоны

О глубинном строении земной коры мало что известно. В основном, о нем судят по данным сейсмозондирования, интерпретация которых не всегда удовлетворительна. В любом случае, литосфера не имеет сплошной структуры – в ней присутствуют многочисленные зоны, заполненные так называемыми флюидами, то есть жидкими или газообразными субстанциями, находящимися в толще земли при соответствующих давлениях и температуре. К флюидам, таким образом, можно отнести самые различные природные вещества, в том числе магму, воду в виде жидкости или пара, а также горючие газы водород и метан. Летучие флюиды – это те, которые находятся в газообразном состоянии или могут перейти в него при снижении давления. Об этом «нестандартном» строении земной коры свидетельствуют, например, результаты бурения на знаменитой «Кольской сверхглубокой» [1]. В ней на глубинах до 5 км были выявлены четко выраженные трещинные зоны мощностью от 30 до 80 см, которые повторялись каждые 500-1500 м. Породы вне этих зон были практически непроницаемыми. Ниже 9 км наблюдались интенсивные зоны мощностью 10-20 м высокой прони-

.

a ORCHID ID: 0000-0001-8833-4096

цаемости. Можно предположить, что сходная картина существует и на больших глубинах, где флюиды и, в частности, вода уже находятся в закритическом состоянии.

Если в трещинную зону поступает магма, поднявшаяся из глубин мантии, то в ней может сформироваться магматический очаг — замкнутое скопление магмы, достигающее порой объема в несколько кубических километров. Там, где присутствует водяной пар или другие газы, может образоваться так называемое субгоризонтальное флюидонасыщенное тело (СГФТ), представление о котором развито в [2], и которое определим для себя как некий замкнутый объем V, содержащий газообразный флюид. Вертикальный размер СГФТ (средняя толщина h) намного меньше ее поперечных размеров:  $h \ll (S)^{1/2}$ ;  $V \sim hS$ , где S — сечение СГФТ.

Существенно, что породы, заполняющие СГФТ, должны быть проницаемыми (пористыми) для того, чтобы давление флюида устанавливалось одинаковым по объему. Мы предполагаем, что ведущую роль в развитии таких катастрофических явлений, как землетрясения и вулканические извержения, играют подобные СГФТ, которые могут быть «замкнуты» между собой посредством тектонических трещин [3,4].

# 1 О механизме землетрясения

Землетрясение – одно из самых грозных и загадочных явлений природы. Его разрушительные последствия очевидны для всех, т.к. «лежат на поверхности», но «корни» страшных событий спрятаны глубоко под землей. Землетрясение является неотъемлемой частью рифтогенеза как геотектонического процесса. Можно сказать, что они генетически связаны друг с другом. Но физический механизм землетрясения, также как и его движущие силы, пока не установлены. Традиционные представления целиком основаны на механистическом подходе и теории упругости: тектонические напряжения, достигающие предела прочности пород, приводят к образованию разломов, трещин, подвижек и т.д. [5,6]. Однако этот механизм не способен дать ясную физическую интерпретацию всему разнообразию фактов и закономерностей, присущих землетрясениям и их непременным атрибутам, таким как форшоки и афтершоки.

Традиционным является также представление о том, что флюиды в сейсмических зонах, играя роль своеобразной «смазки» внутри разломов и трещин, могут снижать силу взаимного трения блоков и пороговое значение напряжений, приводящих к подвижкам и землетрясению.

Возможность нестандартного влияния глубинных флюидов на возникновение и развитие землетрясения рассматривалась в ряде работ [6,7]. Описан механизм вертикального подъема флюидной области в верхние слои коры, в зону низких давлений [7]. Избыточное давление флюида, таким образом, способно вспарывать трещины, продвигаясь по ним вверх, вплоть до поверхности земли. Авторы [6,7] приводят многочисленные свидетельства эмиссии различных газов перед и во время землетрясений, что в ряде случаев оказывалось более достоверным

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3328532

предвестником главного удара, чем трудно фиксируемое усиление напряженного состояния коры.

Как известно, состояние флюида, находящегося в закритическом состоянии, удовлетворяет с хорошей точностью уравнению идеального газа [8]. Следовательно, давление флюида можно оценивать по формуле:

$$p = \frac{M_f(t)}{V}RT\tag{1}$$

где  $M_f(t)$  — масса флюида, которая может меняться со временем, R - универсальная газовая постоянная флюида, T — температура.

СГФТ размещается на глубине H, предположительно, там, где присутствует непроницаемый для флюида слой, создающий ряд ловушек или покрышек. Образование подобных СГФТ может происходить в соответствии с механизмом подъема субвертикальных флюидных областей, описанном в [7]. Избыточное давление флюида расширяет и удлиняет микротрещину, а разность литостатических давлений между верхом флюидной области и ее низом продвигает всю флюидную область вверх (в сущности, она «всплывает» как некий снаряд), до тех пор, пока не достигнет преграды – непроницаемого слоя на глубине H.

В принципе, давление внутри стабильной СГФТ должно стремиться к литостатическому  $\rho gH$ , где  $\rho$  - средняя плотность коры. Избыточное или недостаточное давление флюида может компенсироваться изменением объема СГФТ за счет микроразрушений. Таким образом, в соответствии с [7] мы предполагаем, что формирование СГФТ происходит за счет аккумуляции флюида при его подъеме из областей верхней мантии или при химических преобразованиях породы (например, дегидратации).

Для СГФТ должна существовать еще одна механическая характеристика: предел прочности  $P_{str}$  (предельное вертикальное давление на кровлю), при котором происходит разрушение («схлопывание») СГФТ. Если  $P_{str} > \rho gH$ , то разрушения СГФТ не происходит, даже если в ней вакуум. Если  $P_{str} < \rho gH$ , то СФГТ сохраняет целостность за счет давления флюида p, пока  $\rho gH - p < P_{str}$  или  $p > \rho gH - P_{str}$ . При давлении флюида меньшем, чем ( $\rho gH - P_{str}$ ), происходит обрушение кровли СГФТ и возможный сброс вышележащего блока на глубину h, если это позволяет существующая в данный момент система трещин. В сущности, это и есть сейсмический удар.

Максимально возможная энергия этого удара будет, очевидно, равна (при свободном падении блока) величине mgh, представляющей собой потенциальную энергию блока массой m, находящегося над СГФТ. Эта энергия (за вычетом работы на трение) преобразуется сначала в кинетическую энергию, затем в энергию удара при торможении и далее в энергию сейсмических волн.

Каким образом может быть осуществлен сброс давления в СГФТ? Это произойдет, если некая трещина, совокупность трещин или разлом соединит эту СГФТ с поверхностью земли или с другой СГФТ, находящейся на существенно меньшей глубине и при соответственно меньшем давлении. Подобное «короткое замыкание» может иметь место в зонах тектонического напряжения – зонах субдукции, серпентинизации, рифтогенеза – везде, где кора подвергается механическому сжатию или растяжению.

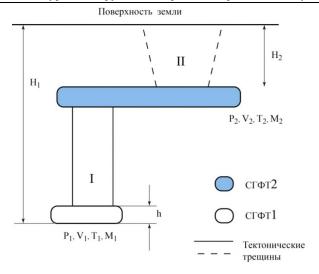
СГФТ сами могут являться ядрами зарождения и распространения трещин, которые, как правило, идут в направлении, перпендикулярном направлению сжатия. Таким образом, трещины от разных СГФТ могут пересекаться, обеспечивая их «короткое замыкание» и перераспределение флюида.

Рассмотрим ход предполагаемого землетрясения на примере двух СГФТ, расположенных на разных уровнях (Рис. 1). Давление в каждой СГФТ равно литостатическому, с другой стороны, оно должно удовлетворять уравнению состояния (1). При возникновении трещины, соединяющей СГФТ, происходит перераспределение давления в соответствии с параметрами каждой СГФТ и гидродинамическим условиями всей системы «СГФТ-трещина». Среднее давление  $p_3$ , которое будет устанавливаться в обоих СГФТ, определяется их параметрами и прежде всего объемами и уровнями залегания. Не учитывая разницу температур и гидростатическое давление флюида в системе трещин, результирующее давление можно оценить по формуле:

$$p_3 \approx \rho g H_2 \frac{V_2}{V_1 + V_2} + \rho g H_1 \frac{V_1}{V_1 + V_2}$$
 (2)

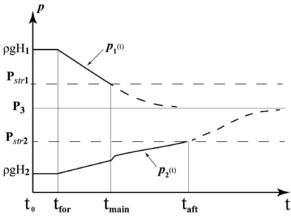
Если уменьшение давления в СГФТ1 достигнет предела прочности, то произойдет обрушение блока I (Рис.1). Если увеличение давления в СГФТ2 достигнет своего предела прочности, то произойдет взброс блока II. Если вторичная система трещин II (Рис.1) приведет к контакту СГФТ2 с атмосферой, то после взброса может произойти обратное падение блока II, т. к. давление в СГФТ2 станет равным атмосферному. Описанное выше обрушение блока I можно отнести к моменту главного удара. Максимальная энергия этого удара будет, очевидно, равна  $\rho g(H_2-H_1)S_I$ , где  $S_I$ - сечение блока I. Отметим, что известное эмпирическое соотношение между магнитудой землетрясения и линейным размером сейсмического очага [9] хорошо согласуется с формулой для энергии главного удара. Действительно, эта энергия пропорциональна сечению обрушившегося блока, или квадрату его линейного размера. Следовательно, увеличение линейного размера блока в три раза (сечение увеличивается в 9 раз), должно увеличивать магнитуду землетрясения приблизительно на единицу, что и подтверждают данные, приведенные в [9].

Вскрытие трещин в зоне I, соответствующие сейсмические толчки, перекачка флюида из СГФТ1 в СГФТ2 (поскольку этот процесс идет под давлением в узких трещинах, он может сопровождаться гулом) разумно рассматривать как форшоковые события. При обрушении блоков I и II происходит инжекция флюида (он может находиться в закритическом состоянии) внутрь всей системы трещин и активизация других СГФТ, которые оказались в зоне «короткого замыкания», то есть в сейсмическом очаге.



**Рис. 1.** Условное изображение двух СГФТ на разных глубинах. Тектонические трещины соединяют («замыкают») их между собой и (или) с поверхностью Земли.

Уменьшение температуры флюида при его адиабатическом расширении, а также его выход в зону более низких температур, запускает процесс конденсации флюида с соответствующим падением давления насыщенных паров. Это может служить дополнительной причиной разнообразных афтершоковых проявлений. Особенности процесса землетрясения в модельной структуре демонстрирует качественный вид зависимости от времени давления в двух СГФТ (Рис.2).



**Рис. 2.** Зависимость от времени давлений флюида в двух СГФТ (Рис.1), замкнутых тектонической трещиной.  $P_{\it str}$  - значения предельных давлений флюида, при которых происходит обрушение или взброс блоков в соответствующих СГФТ

В момент  $t_0$  начинается образование тектонических трещин в породе.  $t_{\it for}$  - это момент «короткого замыкания» флюидных областей одной или несколькими трещинами. Начинается перераспределение давления между СГФТ и соответствующий отсчет форшоковых событий. В момент  $t_{\it main}$  давление на СГФТ1 достигает предела прочности и происходит обрушение блока І. Это момент главного удара. Давление в СГФТ2 продолжает расти, этот процесс может усилиться после обрушения СГФТ1 и инжекции флюида из СГФТ1 через систему трещин внутрь СГФТ2 (скачок на кривой  $p_2$ ). Если давление внутри СГФТ2 достигает своего предела прочности (момент  $t_{\it aft}$ ), происходит взброс блока ІІ и начало афтершоковых событий, которые могут продолжаться, пока поле давления в системе трещин и СГФТ не придет в равновесное состояние. Длительность афтершоков будет зависеть от протяженности и параметров системы трещин, по которым происходит перекачка флюида.

Понятно, что рассмотренная система СГФТ является чрезвычайно упрощенной. В роли СГФТ2 может выступать и сама система трещин, имеющая суммарный объем  $V_2$ , по которой будет распределяться поступающий из СГФТ1 флюид. Соответствующее повышение флюидного давления в СГФТ2 будет предшествовать главному удару – сбросу блока I над СГФТ1.

Ряд наблюдений и эмпирических данных, опубликованный в работах [5,6,9], хорошо согласуется с вышеизложенным механизмом землетрясения. Речь идет, прежде всего, об эмиссии различных газов (в том числе и горючих) перед, во время и после главного удара. Эти газы, часто имеющие повышенную температуру, - суть флюиды, поднявшиеся по трещинам и разломам из зоны «глубоких» СГФТ1 в зону «мелких» СГФТ2 или непосредственно на поверхность земли. Они могут увеличивать поровое давление флюидов на соответствующих уровнях, как это произошло во время землетрясения в Аквиле (2009 г.) перед форшоком, а также изменять соотношения  $v_p / v_s$  в области, примыкающей к сейсмическому очагу, что свидетельствует о появлении дилатансий, заполненных флюидом [10]. События в Аквиле вполне могут трактоваться как следствие перекачки флюида из СГФТ1 в зону СГФТ2, где был сначала превышен порог прочности (произошел форшок с М=4), а затем преодолен и предел прочности кровли в СГФТ1 с обрушением соответствующего блока и главным ударом (М=6,3).

Интенсивное движение и перекачка флюидов из нижних горизонтов в верхние в процессе «короткого замыкания» СГФТ, расположенных на разных уровнях, может приводить к разного рода геофизическим явлениям. Если трещины, по которым перемещается флюид, не достигают поверхности, то рост давления в верхних СГФТ может сопровождаться «разбуханием» соответствующих геологических структур, увеличением их размеров, что было зафиксировано в Японии в качестве предвестника землетрясения [9]. Таким образом, подготовка землетрясения, с нашей точки зрения, включает в себя два процесса: накопление флюидов в виде СГФТ на разных глубинах и накопление тектонических напряжений в соответствующей системе блоков. Вскрытие трещин и замыкание

нескольких СГФТ — необходимое условие землетрясения. Разрушение СГФТ — достаточное условие. Сила землетрясения зависит от того, какие СГФТ и на каких глубинах задействованы в процессе их «короткого замыкания». Магнитуда главного удара землетрясения должна определяться параметрами H,h,S,T,R наиболее глубокой СГФТ и размерами обрушившегося блока.

Зоны разломов (рифт, субдукция) облегчают замыкание СГФТ, делая его более вероятным. Зоны высокой сейсмичности – это области, где тектоническое (или иное) образование трещин происходит наряду с относительно высокой скоростью генерации и аккумуляции флюидов при наличии достаточного количества непроницаемых для них слоев (ловушек и покрышек). «Затишье» может быть объяснено накоплением флюида в опустошенных землетрясением СГФТ. Возможно, «затишье» наступает, когда аккумуляция флюида идет в самом крупном СГФТ, и понадобится достаточно протяженная макротрещина, чтобы «замкнуть» СГФТ и, например, атмосферу. В этом случае падение давления в СГФТ и соответствующий сейсмический удар будут максимальными.

Таким образом, мы не отвергаем механизм тектонических напряжений и образования макроразрывов путем самоорганизации трещин при достижении некоторого критического состояния. Мы утверждаем, что этот механизм необходим, но не достаточен. Он приводит в действие механизм гидродинамического замыкания флюидонасыщенных тел, благодаря которому и осуществляется сейсмический удар и высвобождение сейсмической энергии. Фрактальность блоковой структуры может существовать сама по себе. Она формирует сеть трещин, которые дают пути перекачки флюидов, а те, в свою очередь, перераспределяются по соединенным трещинами СГФТ. В результате образуется новое поле порового давления флюида. В тех местах, где это давление превысило предел прочности, происходит подвижка и сейсмоудар.

# 2 Вулканические извержения и их возможный механизм

Современные научные представления о структуре земного шара базируются на том, что твердая оболочка Земли – земная кора – образовалась вследствие остывания ювенильного магматического расплава, который до сих пор находится на глубинах в несколько десятков километров и время от времени прорывается на поверхность земли в результате вулканических извержений. Вопрос о природе и механизме этих извержений пока остается открытым. Существует немало теорий вулканизма [11], но они пока полностью не удовлетворяют научное сообщество. Разнообразие типов вулканов создает простор для научной мысли, однако потребность в простом, физически ясном и «универсальном» механизме вулканического извержения нисколько не уменьшается. Возможно, знание подобного механизма (если он, действительно, существует) позволило бы уверенно предсказывать извержения с катастрофическими последствиями.

Механизм перегретого «парового котла», предложенный еще в начале XIX века, был отвергнут, т. к. не нашел ни теоретических, ни экспериментальных подтверждений. Взамен этой идеи был предложен комплекс представлений об

избыточном давлении магмы, ее обогащении летучими или, наоборот, дегазации [11,12]. Нелинейная теория катастроф, популярная в последнее время, объяснила многие важные обстоятельства, но не смогла ответить на главные вопросы. Необходим универсальный механизм, способный объяснить и медленное, спокойное истечение лавы, и ее фонтанирование, и выбросы со сверхзвуковой скоростью раскаленной пирокластики, и кальдерообразующие катастрофы с кубическими километрами извергнутых пемз и туфов, и плинианские извержения с палящими тучами, и многолетнее, едва заметное выжимание экструзивных куполов, прерываемое катастрофическими взрывами-пароксизмами.

Далее перейдем к описанию достаточно простого физического механизма, позволяющего с единых теоретических позиций обосновать различные типы вулканических извержений. В сущности, это развитие и наполнение содержанием старой идеи о том, что водяной пар (или некий его газообразный аналог) может играть ведущую роль в вулканических извержениях [11]. Однако конкретизация этой идеи стала возможной только после того, как был обнаружен и описан новый, ранее неизвестный физический механизм неустойчивости в структуре «гидростатическая жидкость» - «идеальный газ». Суть этого механизма заключается в том, что при определенных параметрах контактирующих жидкости и газа начинается их неконтролируемое взаимное перемещение: столб жидкости извергается под действием давящего на нее газа. Данный механизм, поддающийся легкой экспериментальной проверке, был описан и апробирован в работах [13,14]. Он позволил объяснить не только феномен гейзера как такового, но и многие особенности поведения природных гейзеров Камчатки и Йеллоустона. Механизм «газового поршня» носит фундаментальный характер: природа жидкости и газа, так же как и их плотность, вязкость и температура не играют в нем принципиальной роли. Ниже мы приводим теоретическое описание этого механизма на модельной структуре «жидкость - газ», даем основные уравнения динамики и критерий неустойчивости. В дальнейшем мы покажем, как этот механизм может функционировать в случае вулканических извержений.

Суть этого механизма, названного в [4] GLI (Gas-Liquid-Imbalance)-механизмом, заключается в следующем (Рис.3). Если жидкость, заполняющая до краев резервуар (например, вертикальный канал) с твердыми стенками, имеет контакт на глубине H с замкнутым объемом газа, то их равновесие становится неустойчивым, когда объем газа V превышает критическую величину  $V_{cr}$ :

$$V_{cr} = \gamma S(H + p_0 / \rho g) \tag{3}$$

где S — сечение канала в области контакта,  $\gamma$  - коэффициент адиабаты для данного газа,

 $\rho$  - плотность жидкости,  $p_{\scriptscriptstyle 0}$  - атмосферное давление, g - ускорение силы тяжести.

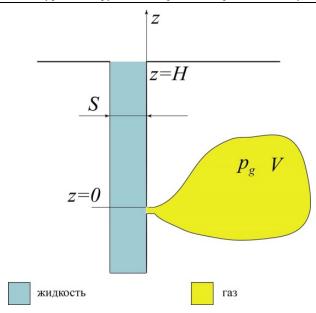


Рис. 3. Схема контактирующих объемов газа и жидкости

Критерий (3) возникает из следующих простых соображений. Предположим, что объем газовой полости увеличился на малую величину  $\Delta V$  за счет того, что часть газа проникла в канал. В этом случае из канала будет вытеснен такой же объем жидкости  $\Delta V$ , равный  $S\Delta z$ , где  $\Delta z$  - уменьшение высоты столба жидкости, S — сечение канала. Соответствующее уменьшение гидростатического давления жидкости  $\Delta p_l$  в области контакта равно:  $\Delta p_l = \rho g\Delta z = -\rho g\Delta V/S$ . Давление в объеме газа тоже упало на величину  $\Delta p_g$ , которая в соответствии с уравнением состояния идеального газа  $p_g V^\gamma = A = const$  равна:

$$\Delta p_{g} = \frac{\partial p_{g}}{\partial V} \Delta V = -\frac{\gamma A}{V^{\gamma+1}} \Delta V$$

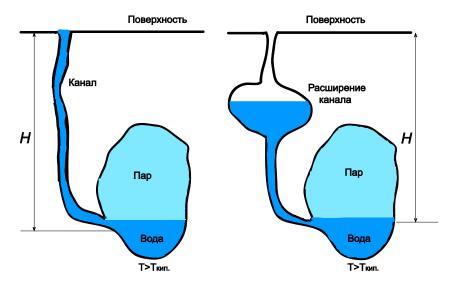
Условие неустойчивости  $|\Delta p_g| < |\Delta p_l|$  с учетом изначального равенства давлений жидкости и газа в области контакта непосредственно приводит к критерию (3). Если  $V > V_{cr}$ , то при расширении газа в область канала (и удалении из канала соответствующего объема жидкости), давление в газовом объеме будет оставаться больше гидростатического давления жидкости, в зоне контакта возникнет нарастающий перепад давления, и столб жидкости начнет извергаться под давлением газа. Критическое условие (3) не зависит от формы канала и наличия в нем расширений.

Например, в случае гейзерного извержения, жидкость – это вода, газ – водяной пар, скапливающийся при кипении воды в подземной полости («бойлере»). Соответственно,  $\gamma=1,4;\;p_0$  /  $\rho g=10$  м. Величина, стоящая справа в (3), пред-

ставляет собой некий критический объем  $V_{cr}$ . Если объем газовой полости V значительно превышает  $V_{cr}$ , то перепад давления между газом и жидкостью будет увеличиваться, извержение жидкости будет носить ускоряющийся характер до тех пор, пока, например, вся жидкость не будет вытолкнута из канала и газ не выйдет наружу. Если  $V < V_{cr}$ , неустойчивости нет, газ спокойно проникает в жидкость, не выталкивая ее, и выходит на поверхность в виде всплывающих пузырей.

Таким образом, достаточным условием неустойчивости и извержения воды является превышение объема пара в бойлере над критическим объемом, равным  $(H+10)S\gamma$  м<sup>3</sup>, где H - глубина залегания бойлера (Рис.3), S - сечение канала в месте его контакта с бойлером,  $\gamma$  - коэффициент адиабаты, для водяного пара равный 1,4. Извержение начинается, как только пар проникает в канал, а вода в канале достигает поверхности земли (Рис.4).

Если объем бойлера и соответствующий объем пара достаточно велики, то падение давления пара во время извержения будет незначительным, и пар будет выбрасывать наружу не только всю содержащуюся в канале воду, но и воду из возможных расширений канала (Рис.5). Последнее обстоятельство объясняет весьма длительные по времени (несколько часов) извержения некоторых гейзеров Йеллоустона и Камчатки.



**Рис. 4.** Начало извержения гейзера: пар начинает проникать в канал.

**Рис. 5.** Структура гейзера с расширением канала. Извержение может продолжаться до тех пор, пока не освободится от воды все расширение канала.

«Классическая» теория работы гейзера предполагает нагрев воды в канале до температуры кипения и затем ее вскипание снизу вверх по высоте канала с сопутствующим увеличением объема и извержением. Для GLI — механизма в случае гейзера кипение так же необходимо, но только как источник водяного пара в верхней части «бойлера» (Рис.5). Накапливающийся при кипении пар расширяется и выдавливает воду в канал и затем наружу — этот процесс и составляет, так называемую, фазу излива. Ее длительность, очевидно, зависит от параметров бойлера. Кстати «классическая» теория гейзера не способна объяснить длительный излив воды перед извержением. Излив может совсем отсутствовать, если пар начинает проникать в канал до того, как вода в канале достигнет поверхности земли. Извержение в этом случае наступает сразу, как только при выходе воды на поверхность происходит сброс гидростатического давления в канале. Так без излива извергаются гейзеры Фонтан и Двойной в Долине Гейзеров на Камчатке.

Опыт, необъяснимый с точки зрения классической теории гейзера, был «поставлен» самой природой во время катастрофы 3 июня 2007 года в Долине гейзеров на Камчатке, когда колоссальная обломочная лавина перегородила русло реки Гейзерной и образовала подпрудное озеро глубиной 20 метров. В результате гейзер Большой, который находился на склоне в 15 метрах над уровнем реки (Рис. 6), оказался под водой и, естественно, перестал извергаться. В сентябре 2007 года уровень озера упал на несколько метров, и грифон гейзера «высунулся» из-под воды. И сразу же гейзер начал извергаться почти в том же режиме, что и раньше (Рис. 7).



**Рис. 6.** Гейзер Большой (в левом углу) до катастрофы 2007 года



**Рис. 7.** Извержение гейзера Большой над поверхностью нового озера.

При этом после извержения опустевший канал гейзера быстро заполнялся водой из озера через неровные края грифона (Рис.8). Отметим, что температура озерной воды составляла 25°C, в канал гейзера поступало несколько тонн такой воды (поперечник канала примерно 1м х 1м, глубина 4 м). Очевидно, что нагреть это количество воды за час до температуры кипения невозможно даже на открытом огне, а температура на дне канала была всего 120°C. Но всего через час гейзер вновь начинал извергаться (Рис. 9), и этому извержению предшествовал излив.

Очевидно, для GLI – механизма принципиально, что внутренняя, подземная, структура гейзера Большой сохранилась неизменной после катастрофы, и поэтому, как только у гейзера появилась возможность сброса гидростатического давления воды в канале (уровень озера упал ниже краев грифона), гейзер начал извергаться.



**Рис. 8.** Канал Большого заполняется водой озера.



**Рис. 9.** Гейзер Большой. Начало извержения.

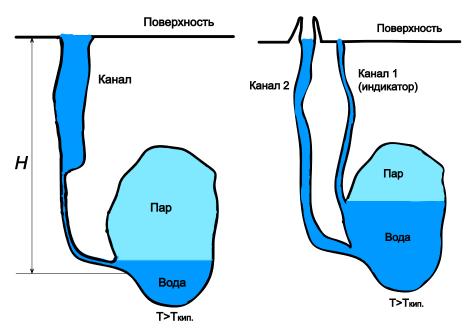
Эффективность работы гейзера зависит от соотношения объема пара в бойлере и критического объема, пропорционального глубине залегания бойлера и сечению канала в месте его контакта с бойлером. У ряда гейзеров (например, Большой и Великан в Долине Гейзеров) имеется достаточно широкий выход канала на поверхность, и извержение происходит не ровной, мощной струей воды (как из брандспойта), а чередой «кинжальных» выбросов, идущих друг за другом. Возможно, это обусловлено наличием узкой щели (трещины), связывающей бойлер с каналом, по аналогии с Рис.10.

Предполагаемое существование подобной «щели» было подтверждено фиксацией процесса подготовки извержения гейзера Большой с помощью термостойкой видеокамеры, опущенной в канал гейзера [13]. Непосредственно перед началом извержения был зафиксирован интенсивный выброс пара из боковой трещины, находящейся вблизи дна канала гейзера. Никакого кипения воды в канале при этом не наблюдалось.

Показательным примером верификации GLI- механизма является объяснение необычного поведения гейзера Вее Hive (Пчелиный Улей) в Йеллоустонском Национальном парке (США). Этот гейзер известен тем, что за 10-15 минут до его основного извержения начинает извергаться маленький фонтанчик из отверстия в нескольких метрах от главного грифона гейзера. Его называют Индика-

тором (Bee Hive Indicator). Рейнджеры национального парка могут, таким образом, предсказывать начало главного извержения, период которого достигает иногда десяти часов и которое выбрасывает воду на высоту до 60 метров.

Подобное «парадоксальное» поведение гейзера достаточно легко объясняет GLI-механизм с предполагаемой структурой гейзера, изображенной на Рис. 11. Вначале пар в бойлере достигает канала 1 и начинается извержение Индикатора. Поскольку, вероятно, этот канал очень узкий, скорость выброса воды относительно мала (фонтанчик невысокий) и извержение не успевает закончиться до того момента, как пар в бойлере достигнет основного канала и не начнется главное извержение Пчелиного Улья. Таким образом, давление пара в бойлере поддерживается на высоком уровне (оба канала заполнены водой) и оба фонтана работают одновременно.



**Рис. 10.** Предполагаемая структура гейзера с широким каналом и узкой щелью, соединяющей бойлер и канал.

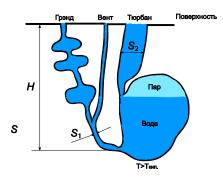
**Рис. 11.** Предполагаемая структура гейзера Пчелиный Улей. Бойлер соединен с поверхностью двумя каналами

Покажем также, каким образом GLI-механизм дает объяснение работе другой примечательной группы гейзеров Йеллоустонского национального парка. Это гейзеры Грэнд (Великий), Вент (Клапан, Отверстие) и Тюрбан. Извержение этих, расположенных близко друг от друга, гейзеров отличается своеобразностью. Период покоя составляет от 5 до 15 часов. Сначала заполняются водой пустые грифоны гейзеров. Это может продолжаться несколько часов. Затем начинает работать гейзер Тюрбан. Его невысокое «извержение» длится не-

сколько минут, потом может прекратиться, потом возобновляется, и так может повторяться до десятка раз. Наконец, после одного из подобных извержений Тюрбана начинает извергаться Грэнд. Одновременно с ним начинает работать Вент. Извержение Грэнда длится до 10 минут и может состоять из нескольких мощных выбросов, в промежутке между которыми фонтан Грэнда резко ослабевает или исчезает совсем. При этом Вент продолжает работать. Когда Грэнд перестает извергаться, Вент продолжает парить — фаза парения у него очень хорошо выражена. Грэнд и Тюрбан вообще не парят.

Вряд ли «классическая» теория гейзера способна объяснить такую сложную конфигурацию поведения трех взаимосвязанных гейзеров. GLI-механизм, одна-ко, позволяет это сделать достаточно просто. Рассмотрим гипотетическую структуру гейзера с одним бойлером и тремя каналами с расширениями (Рис.12).

Скапливающийся у свода бойлера водяной пар выжимает воду в каналы гейзеров, они заполняются, начинается фаза излива. Вначале пар достигает канала гейзера Тюрбан. Сечение этого канала  $S_2$ , вероятно, достаточно велико, и критический объем для гейзера Тюрбан всегда больше, чем объем накапливающегося пара. Полноценное извержение гейзера не происходит, пар выталкивается порциями, которые всплывают на поверхность в виде бурунов, имитирующих небольшое извержение. Продолжается излив из каналов гейзеров Грэнд и Вент, но настоящее их извержение наступает, когда пар в бойлере достигает глубины, где расположен выход в их совместный канал с сечением  $S_1$  (Puc.13).



S S<sub>1</sub> Boga

Поверхность

Рис. 12. Предполагаемая структура гейзеров Грэнд, Вент и Тюрбан. Канал Грэнда имеет несколько расширений. Канал Вента очень узкий. Канал Тюрбана, напротив, широкий. Источники воды, питающие гейзеры, не показаны.

**Рис. 13.** Структура гейзера Грэнд перед началом основного извержения

Теперь объем пара значительно превышает критический объем, равный приблизительно величине  $1,2HS_1$ , и начинается извержение из обоих каналов. Поскольку канал Вента — узкий, гидродинамическое сопротивление в нем потоку воды очень большое, скорость выброса воды соответственно невелика и фонтан невысокий. У гейзера Грэнд, очевидно, канал более свободен и скорость разгона воды в нем выше, фонтан бьет на высоту десятков метров. По мере извержения и выбрасывания воды, пар распространяется из бойлера внутрь канала гейзера Грэнд, где ему приходится заполнять расширения канала (Рис.14).

В эти моменты давление пара может уменьшаться сильнее, чем гидростатическое давление воды в канале, фонтан будет слабеть, извержение может почти прекратиться. Но как только пар в канале достигнет очередного сужения между расширениями, перепад давления между паром и столбом воды опять начнет нарастать и извержение начнет усиливаться.

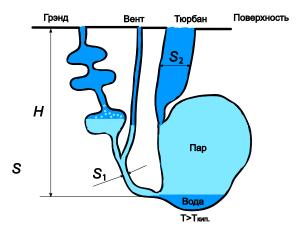


Рис. 14. Извержение гейзеров Грэнд и Вент.

При этом Вент перейдет в фазу парения, что хорошо видно на всех видеосюжетах, размещенных на youtube.com. Фактически Вент оправдывает свое название (на русский он переводится как «отверстие» или «клапан»): в фазе парения он стравливает давление пара внутри общего для всех гейзеров бойлера, что само по себе может приводить к ослаблению извержения Грэнда. Характерно, что Тюрбан и до, и во время извержения Грэнда ведет себя одинаково «скромно», подтверждая, что его критический объем значительно превышает объем пара в бойлере. Извержение заканчивается потому, что давление пара в бойлере уменьшается благодаря Венту. Оставшаяся вода в каналах гейзеров Грэнд и Тюрбан, предотвращая их парение, уходит вниз, внутрь структуры, сохраняя и сжимая оставшийся пар в бойлере. Гейзер начинает новый цикл, заполняясь водой из подземных источников.

# 3 Заключение

Результаты выполненных теоретических исследований механизмов землетрясений и вулканических извержений говорят о том, что важная роль в этих механизмах отводится глубинным флюидонасыщенным зонам, физические параметры которых (давление, объем) определяют условия начала тех или иных катастрофических событий внутри земной коры.

Аналогия между извержениями гейзеров и фонтанированием базальтовой магмы при извержениях вулканов достаточно очевидна, а GLI-механизм дает ее физическое обоснование. При этом скорость истечения магмы напрямую определяется длиной и сечением магматического канала, наличием в нем расширений, а также вязкостью магмы. Для случая вулканов жидкость — это магма, а газ — это флюид (например, водяной флюид), находящийся в закритическом состоянии (для воды это состояние возникает при  $T > 647\,K$  и давлении, превышающем 220 Бар), что обуславливает его поведение по закону идеального газа и соответственно работу GLI-механизма.

# Литература

- 1. Кольская сверхглубокая. М., Недра, 1984, 492 с.
- 2. Киссин И.Г. Флюиды в земной коре. М., Наука, 2009, 328 с.
- A.Nechayev. Tectonic "short-cirquit" of sub-horizontal fluid-saturated bodies as a possible mechanism of the earthquake. Arxiv: 1307.4915, 2013
- Nechayev A. Magma, Crust and Fluid: Critical Conditions of their Interaction and Types of Volcanic Eruptions. Applied Physics Research, v.7, №6, pp75-84, 2015
- Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М., Наука, 2003. 270с.
- Thomas Gold. Earthquakes. "Taking the Back of the Watch". Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2012
- T.Gold, S.Soter Fluid Ascent through the Solid Lithosphere and its Relation to Earthquakes. PAGEOPH, vol.122 (1984/85), p.492-522
- 8. Зубарев В.Н., Козлов А.Д., Кузнецов В.М. Термофизические свойства технически важных газов при высоких температурах и давлениях. М., Энергоатомиздат, 1989, 232с.
- 9. Никонов А.А. Землетрясения. Прошлое, современность, прогноз. М., URSS, 2009, 192c
- M.K.Savage. The role of fluids in earthquake generation in the 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Italy, earthquake and its foreshocks. Geology, 2010, v.38, № 11, p.1055-1056
- 11. Parfitt, E.A., & Wilson, L. (2008). Fundamentals of Physical Volcanology. Oxford: Blackwell Publishing. http://dx.doi.org/10.1017/S0016756809006074
- 12. Parfitt, E.A. (2004). A discussion of the mechanisms of explosive basaltic eruptions, J. Volcanol. Geoth. Res., 134, 77-107, http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.01.002
- 13. Belousov, A., Belousova, M., & Nechayev, A. (2013). Video observations inside conduits of erupting geysers in Kamchatka, Russia, and their geological framework: Implications for geyser mechanism, Geology, 41, 387-390. http://dx.doi.org/10.1130/G33366.1

#### References

- 1. Kol'skaya sverkhglubokaya. M., Nedra, 1984, 492 s.
- 2. Kissin I.G. Flyuidy v zemnoy kore. M., Nauka, 2009, 328 s.

- 3. A.Nechayev. Tectonic "short-cirquit" of sub-horizontal fluid-saturated bodies as a possible mechanism of the earthquake. Arxiv: 1307.4915, 2013
- 4. Nechayev A. Magma, Crust and Fluid: Critical Conditions of their Interaction and Types of Volcanic Eruptions. Applied Physics Research, v.7, №6, pp75-84, 2015
- 5. Sobolev G.A., Ponomarev A.V. Fizika zemletryaseniy i predvestniki. M., Nauka, 2003,
- 6. Thomas Gold. Earthquakes. "Taking the Back of the Watch". Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, 2012
- 7. T.Gold, S.Soter Fluid Ascent through the Solid Lithosphere and its Relation to Earthquakes. PAGEOPH, vol.122 (1984/85), p.492-522
- 8. Zubarev V.N., Kozlov A.D., Kuznetsov V.M. Termofizicheskiye svoystva tekhnicheski vazhnykh gazov pri vysokikh temperaturakh i davleniyakh. M., Energoatomizdat, 1989,
- 9. Nikonov A.A. Zemletryaseniya. Proshloye, sovremennost', prognoz. M., URSS, 2009, 192s.
- 10. M.K.Savage. The role of fluids in earthquake generation in the 2009 Mw 6.3 L'Aquila, Italy, earthquake and its foreshocks. Geology, 2010, v.38, № 11, p.1055-1056
- 11. Parfitt, E.A., & Wilson, L. (2008). Fundamentals of Physical Volcanology. Oxford: Blackwell Publishing. http://dx.doi.org/10.1017/S0016756809006074
- 12. Parfitt, E.A. (2004). A discussion of the mechanisms of explosive basaltic eruptions, J. Volcanol. Geoth. Res., 134, 77-107, http://dx.doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2004.01.002
- 13. Belousov, A., Belousova, M., & Nechayev, A. (2013). Video observations inside conduits of erupting geysers in Kamchatka, Russia, and their geological framework: Implications for geyser mechanism, Geology, 41, 387-390. http://dx.doi.org/10.1130/G33366.1

# Fluid-saturated bodies in the Earth's crust and possible mechanisms of volcanic eruptions and earthquakes

#### A.M. Nechayev

Faculty of Geography, Lomonosov MSU, Moscow, Russia

E-mail: logata@yandex.ru

Abstract. The results of theoretical studies of the mechanisms of earthquakes and volcanic eruptions are accumulated. A special role in these mechanisms is assigned to deep-seated fluid-saturated zones, whose physical parameters (pressure, volume) determine the conditions for the onset of certain catastrophic events inside the earth's crust.

Keywords: volcano, earth crust, fluid, earthquake mechanism, volcanic eruption mechanism, fluid-saturated zones.

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019)

#### УДК 577.171.4

# Роль лептина в регуляции энергетического обмена и функционировании организмов живой природы

#### А.А. Осипова<sup>а</sup>

Факультет фундаментальной медицины Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, отделение «Фармация», Москва, Россия

E-mail: alinaosipov@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается роль и функции лептина в регуляции энергетического обмена и функционировании организмов живой природы.

Ключевые слова: лептин, функции организма, энергетический обмен

# 1 Введение

Ов модель ожирения впервые была описана на мышах в 1950 г. Тучный фенотип передаётся аутосомно-рецессивным методом. Эксперименты показали, что ов мыши страдают генетическим расстройством, приводящим к неэффективной продукции гуморального фактора, снижающего питание в ответ на ожирение. В 1994 году последовательность ов гена была описана. Белок — продукт гена был назван лептином от греческого слова leptos (тонкий). Именно мутации в этом гене, приводящие к гиполептинемии, могут быть одной из причин ожирения. Лептин играет роль и в других важных процессах, например, регулируя работу репродуктивной системы и участвуя в кроветворении [10].

Открытие лептина доказало тот факт, что жировая ткань является сложным гормонально активным органом, играющим важнейшую роль в регуляции функционирования организма [13]. Было обнаружено, что секретируемые жировой тканью вещества — адипокины — обладают разнообразными эффектами. Оказывая воздействие аутопаракринным способом, они регулируют работу адипоцитов. Поступая в кровь, адипокины влияют на функции различных органов и систем организма: мозг, печень, мышцы, почки, эндотелий, иммунную систему и др. Кроме того, было обнаружено, что жировая ткань экспрессирует

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3328788

a ORCID: 0000-0003-2846-8230

ряд рецепторов, позволяющих ей реагировать на афферентные сигналы из эндокринных органов и нервной системы. Многие гормоны – катехоламины, инсулин, кортикостероиды, андрогены и др. – в свою очередь оказывают влияние как на функцию адипоцитов, так и на эффекты адипокинов [5,7,8,14].

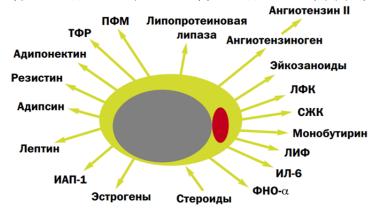


Рис. 1. Адипоцит как секреторная клетка. Источник: [5].

Таким образом (см. Рис.1 и 2), помимо депонирования энергии, жировая ткань через адипокины обладает способностью взаимодействовать с различными органами и системами, включая ЦНС, тем самым регулируя функции организма, а через взаимодействие с нейроэндокринной системой участвовать в адаптации организма к различным внешним воздействиям, таким как, например, голод и стресс [1,5,15].



Рис. 2. Области влияния жировой ткани. Источник: [5].

# 2 Структура лептина

Лептин – мономерный белок (по разным данным, содержащий 145, 146 или 167 аминокислотных остатков), экспрессирующийся почти исключительно адипоцитами. Молекулярная масса составляет 16 кДа. По пространственной структуре он относится к группе альфа-спиральных белков, в которую входят также гормоны роста, пролактин и цитокины.

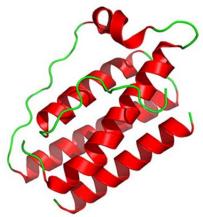


Рис. 3. Строение лептина. Источник: http://sci-lib.com/article515.html.

4 антипараллельные α-спирали (A, B, C, D) с восходяще-нисходящим соединением связаны одной короткой (BC) и двумя длинными (AB и CD) петлями. Лептин имеет два консервативных цистеиновых остатка (один в CD-петле и Сконцевом остатке), которые образуют дисульфидный мостик, соединяющий петлю CD с С-концевой частью D спирали (Рис. 3). Дисульфидный мостик имеет решающее значение для его структурной стабильности, секреторной и биологической активности. Также данные структурные характеристики напоминают обнаруженные в общем в цитокинах: гранулоцитарно-колониестимулирующем факторе (G-CSF) и интерлейкине-6 (IL-6), так что лептин классифицируется как длинноцепочечный цитокин.

#### 2.1 Биосинтез и секреция

Ген, кодирующий продукцию лептина, называется геном ожирения (ob ген), то есть лептин является продуктом его экспрессии.

Подавляющее количество лептина секретируется гормонально адипоцитами в белой жировой ткани (подкожный жир) и в небольшом количестве – в бурой (внутренний жир). Паракринная и аутокринная секреция наблюдается в гонадах,

гипоталамусе, гипофизе и плаценте. Кроме того, экспрессия гена лептина отмечается в желудке, скелетных мышцах и эпителии молочной железы.

Размер адипоцита является важной детерминантой синтеза лептина: крупные жировые клетки содержат гораздо большее количество гормона, чем мелкие адипоциты.

Адипоциты выделяют лептин в кровь прямо пропорционально массе жировой ткани. Экспрессия и секреция лептина регулируется также посредством многообразия других факторов: увеличивается под влиянием инсулина, глюкокортикоидов, TNF- $\alpha$ , эстрогенов, а снижается посредством  $\beta$ 3-адренэргической активности, андрогенов, свободных жирных кислот, гормона роста, грелина [11].

#### 2.2 Транспортные белки

Лептин циркулирует в кровотоке как в свободной, так и связанной со специфическими белками форме. Считается, что короткие формы рецепторов, экспрессирующиеся в хориоидном сплетении, вовлечены в его транспорт и могут облегчать процесс проникновения лептина через гематоэнцефалический барьер для взаимодействия с длинной формой в гипоталамусе, а также участвуют в почечном клиренсе. Также речь идет о растворимом рецепторе лептина.

### 2.3 Рецепция и проведение сигнала

Как любой гормон, лептин проявляет свои эффекты на организм через рецепторы. Лептиновый рецептор кодируется геном диабета (db ген). Рецепторы лептина — члены суперсемейства рецепторов цитокинов 1-го класса и характеризуются экспрессией как в центральной нервной системе, так и на периферии.

Идентифицировано три различных варианта рецептора:

- Растворимый рецептор лептина;
- Связанный с мембраной рецептор лептина, который имеет короткий внутриклеточный домен и не способен осуществлять трансдукцию гормонального сигнала;
- Связанный с мембраной рецептор, имеющий длинный внутриклеточный домен и способный передавать гормональный сигнал.

В то же время, известно не менее 6 изоформ рецепторов лептина: obRa, obRb, obRc, obRe,

obRf, obRa, obRc, obRf принадлежат к коротким формам, а obRe является растворимой.

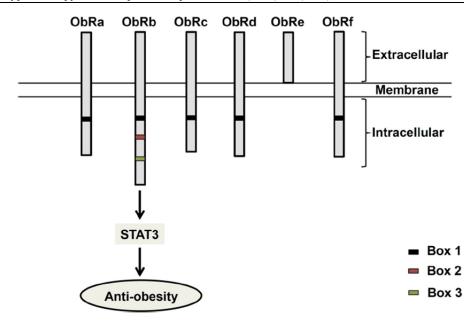


Рис. 4. Структура различных изоформ рецепторов лептина. Источник: [3].

Все изоформы имеют идентичную внеклеточную часть, состоящую из шести доменов: N-концевого домена (NTD), двух доменов CRH (CRH1 и CRH2), иммуноглобулиноподобного домена (IGD) и двух дополнительных мембраннопроксимальных фибронектинов типа III (FN III) (Puc. 4).

Из числа различных видов коротких изоформ лучше всего изучена obRa. Наибольшая концентрация рецептора отмечена в почках (в мезангиуме и сосудах).

Полнофункциональной является единственная удлиненная форма obRb, через которую и осуществляется действие лептина. У человека и животных данные рецепторы были обнаружены в гипоталамусе, надпочечниках, поджелудочной железе и жировой ткани. Эта форма рецептора лептина с длинным цитоплазматическим доменом наиболее активно экспрессируется в гипоталамусе и имеется, главным образом, в аркуатном ядре (ARC) и вентромедиальном ядре (VMH), а также в паравентрикулярном ядре (PVN), латеральном гипоталамусе (LH), вентральном премамиллярном ядре (PMv) и дорсомедиальном ядре (DMN).

Механизм проведения сигнала рецепторов цитокинов включает в себя активацию ассоциированных с рецептором тирозинкиназ, фосфорилирование рецептора этими киназами с формированием сайтов посадки для ряда белковых эффекторов и фосфорилирование некоторых из них теми же тирозинкиназами.

Рецепторы лептина взаимодействуют с внутриклеточными мессенджерами: киназой митоген-активированного белка (МАР), инсулин-рецепторным суб-

стратом (IRS-1; IRS-2), Janus-киназой, оксидом азота (NO) и сигнальным трансдуктором и фактором активации транскрипции (STAT).

ObRb содержит последовательности, которые определяют взаимодействие цитоплазматического домена с киназой Януса и белками активаторами транскрипции.

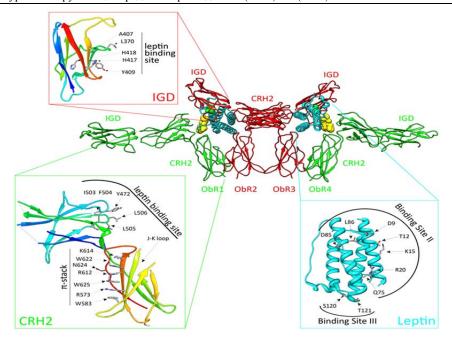
ObRb активация зависит от CRH2 (cytokine receptor homology domain), IGD (иммуноглобулиноподобного) и FN (фибронектинового) III доменов. Домен CRH2 является определяющим фактором связывания лептина. Область из четырех последовательных гидрофобных остатков была идентифицирована как сайт связывания лептина в CRH2 домене. IGD и проксимально-мембранные домены не имеют сродства к лиганду, но, тем не менее, необходимы для активации рецептора. Лептин содержит сайт связывания III, который делает возможным контакт с IGD со второй частью ObRb, чтобы произошла димеризация и последующая активизация. В FN III доменах содержится два консервативных цистеина, которые требуются для активации рецепторного комплекса (Рис. 5 и 6).

До взаимодействия с лептином рецепторы пребывают в форме мономера. После прикрепления гормона формируется димер-активный гормон-рецепторный комплекс, который проникает в ядро и оказывает эффекты на экспрессию соответствующих генов.

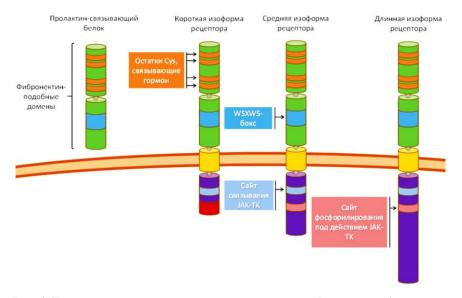
При малой концентрации гормона (число молекул гормона много меньше числа рецепторов) он связывается с двумя молекулами рецептора, позволяя их внутриклеточным доменам связать Jak-киназы, которые начинают фосфорилировать друг друга, активируя передачу сигнала. Однако при равной концентрации агониста и рецептора передача сигнала по такому механизму невозможна, так как каждый рецептор связан с лигандом, что препятствует их димеризации.

Структурно каждый мономерный рецептор, ассоциированный с тирозинкиназой класса Janus, состоит из 3 частей:

- Внеклеточная часть, связывающая гормон, содержащая:
  - Остатки Cys, связывающие лиганд
  - WSXWS-бокс, обеспечивающий свёртывание, транспортировку и димеризащию
- Трансмембранная гидрофобная часть
- Внутриклеточная часть, содержащая:
  - Участок связывания Jak-киназ
  - Участок фосфорилирования Jak-киназами (за наличие во внутриклеточной части данных противоположных доменов эти соединения назвали Janus-киназами в честь древнеримского бога двуликого Януса).



**Рис. 5.** Активированный ObR комплекс: части ObR окрашены в зелёный и красный цвета, а молекулы лептина — в голубой. Гормон связывается своим сайтом связывания II с C2H2 домене рецептора, в то время как сайт III взаимодействует с IGD доменом второго рецептора. Источник:[4].



**Рис. 6.** Доменная организация рецепторов, сопряженных с Jac-киназами (на примере рецептора пролактина). Источник: http://biomedia.pro/physiology/endocrinology/.

DOI: 10.5281/zenodo.3328788

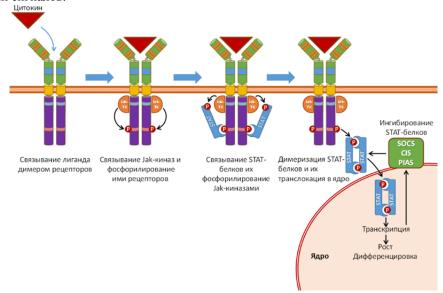
В целом, рецепторы, ассоциированные с тирозинкиназами класса Janus, передают сигнал по нескольким сигнальным каскадам: STAT, MAP-киназному и фосфатидилинозитольному путям.

#### 2.4 STAT-путь (англ. «Signal Transducers and Activators of Transcription»)

STAT белки — это семейство факторов транскрипции эукариот, которые участвуют в передаче сигнала от большого числа цитокинов и факторов роста.

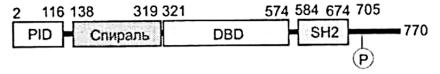
Активированные Jak-киназы передают сигнал по STAT-пути {рис.8}. После связывания гормона, димеризации рецепторов и фосфорилирования их внутриклеточных доменов Jak-киназами на них садятся STAT-белки. STAT-белки содержат SH2 домен, который связывается с фосфотирозином рецептора. Под действием Jak-киназ они претерпевают активирующее фосфорилирование, после чего диссоциируют от рецептора направляются в ядро, где активируют транскрипцию генов-мишеней и генов, кодирующих ингибиторы STAT-пути (белки SOCS, CIS и PIAS).

Активация происходит за счёт того, что димеры STAT взаимодействуют в этих генах со специфическими, как правило, полинуклеотидными последовательностями TTCCGGGAA. Каждый цитокин активирует характерный для него набор STAT и, следовательно, индуцирует характерный именно для него набор генов (Рис. 7). Сложность данного процесса возрастает в виду того, что участники разных путей взаимодействуют друг с другом, образуя целые сети передачи сигналов.



**Рис. 7.** STAT-путь передачи сигнала. Источник: http://biomedia.pro/physiology/endocrinology/.

Если говорить точнее, то в случае лептина при активации JAK2 консервативный ObRb фосфотирозиновый 1138 мотив служит сайтом связывания для SH2 домена STAT3. Одновременно лептином активируется STAT-1, STAT-5 и STAT-6 пути, однако in vivo наблюдали лишь STAT-5 фосфорилирование (Рис. 8).

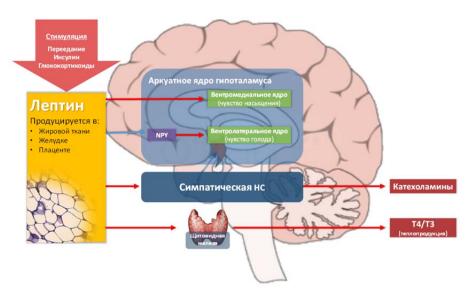


**Рис. 8.** Доменная организация транскрипционного фактора STAT-3. Источник: [2].

Кроме того, ObRb лептина имеет три консервативных остатка тирозина, где также имеется сайт связывания SH2 домена. Фосфорилирование SH2 через JAK в конечном итоге приведет и к активации MAPK (активированной митогеном протеинкиназой) ERK 1,2 (внеклеточной сигнальной киназы 1,2). Фармакологическое ингибирование ERK 1,2 приводит к блокированию анорексигенных эффектов лептина в гипоталамусе. Кроме того, также была продемонстрирована важная роль PI3K (фосфатидилинозитольно-киназного пути) в передаче сигнала от ObR при введении инъекций с ингибиторами PI3K. В данном случае анорексигенный эффект лептина также блокируется. Но этот путь является общим с другими рецепторами, поэтому сложно оценить ObR-специфичный вклад PI3K в поддержание энергетического гомеостаза.

# 3 Эффекты, функции и связи лептина

Основной функцией лептина является обеспечение баланса между жировыми запасами и расходованием и потреблением пищи. Лептин оказывает два ряда эффектов: тормозит пищевое поведение и стимулирует сжигание жиров в энергообмене. Анорексический эффект воспроизводится N-концевым фрагментом лептина 1-35: он стимулирует центр насыщения, угнетая секрецию центра аппетита и орексигенного NPY (нейропептида Y). В рамках целого организма это приводит к торможению пищевого поведения и активации центра теплопродукции.



**Puc. 9.** Регуляция **лептином термогенеза и аппетита**. Источник: http://biomedia.pro/physiology/endocrinology/.

Существенно, что эффективность лептина сохраняется при его введении в желудочек мозга, т.е. основной мишенью лептина является центральная нервная система, преимущественно гипоталамические структуры. Стимул секреции лептина адипоцитами - приём пищи (Рис. 9). Этот быстрый эффект опосредован, по-видимому, повышением секреции инсулина и глюкокортикоидов. Негативный регулятор секреции лептина — голодание и стимуляция рецепторовактиваторов пролиферации пероксисом PPAR. Выявлен ещё один механизм действия противодиабетических препаратов — торможение через PPAR $\gamma$  образования адипоцитами TNF $\alpha$  и лептина, оказывающих липолитическое действие (в частности, антидиабетическим препаратом троглитазоном).

Кроме того, лептин является главным стимулятором экспрессии CART в гипоталамусе. CART (cocaine-amphetamine regulated transcript) — семейство пептидов транскрипта, регулируемого кокаином и амфетамином, - нейромедиатор/нейромодулятор и, возможно, паракринный фактор, поскольку перифирическое введение даже в высоких дозах не оказывает действия. Центральное введение CART оказывает мощное анорексигенное действие и интенсификацию энергообмена.

Описан ряд мутаций генов лептина (линия мышей ob/ob) и его рецепторов (линия мышей db/db, линия крыс Zucker, мутация fa); мутации сопровождаются сходными симптомами – ожирением, гиперфагией, сниженным энергообменом (гипотермия, пониженное потребление кислорода) и физической активностью, резистентностью тканей к инсулину при гиперинсулинемии и гипергликемии.

Мутации лептина и его рецептора – причина небольшой части случаев ожирения человека.

Помимо регуляции энергетического баланса, лептин опосредует нейроэндокринную адаптацию к голоданию, в частности, изменения репродуктивной и тиреоидной функций. Лептин служит пермиссивным фактором в отношении полового созревания (Рис. 10).

Обобщая функции лептина, можно отметить следующие:

- Анорексигенное действие
- Угнетение пищевого поведения и снижение активности центра аппетита
- Стимуляция энергетического обмена
- Активация центра теплопродукции
- Утилизации жиров и снижение массы тела
- Индукция начала и увеличение скорости полового созревания
- Поддержание репродуктивной функции
- Стимуляция секреции Гн-РГ, ЛГ и ФСГ

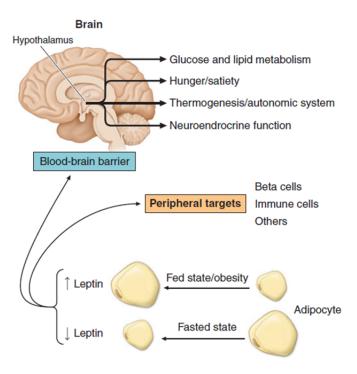


Рис. 10. Физиологические эффекты лептина. Источник: [16].

- Регуляция функций тиреоидной оси
- Адаптация функций щитовидной железы к голоданию

- Снижение синтеза и секреции NPY в мозге
- Стимуляция синтеза и секреции КРГ
- Стимуляция секреции грелина
- Стимуляция секреции адипонектина
- Снижение секреции инсулина

Перейдем к более детальному рассмотрению.

# 4 Лептин и ожирение

# 4.1 Ожирение

Ожирение - избыточное отложение триглицеридов в адипоцитах - увеличивает риск смерти человека репродуктивного возраста (20–50 лет) на 50%. Ожирение способствует развитию сердечно-сусудистых заболеваний, сахарного диабета, желчно-каменной болезни, цирроза печени, рака эндометрия и молочной железы (из-за увеличенной ароматизации андрогенов в эстрогены в адипоцитах).

Различают детское и взрослое ожирение. В первом случае к ожирению ведет увеличение количества адипоцитов, вызываемое усиленной дифференцировкой преадипоцитов в адипоциты под действием избыточного потребления/образования жирных кислот в детском возрасте.

Одним из сигналов дифференцировки служит активация жирными кислотами РРАКу. Взрослое ожирение связано только с гипертрофией адипоцитов. С точки зрения энергетики, подтверждаемой данными практической медицины, ожирение возникает из-за нарушения баланса между потреблением пищевых продуктов и их расходованием на образование тепла и выполнение физиологической и физической работы.



Рис. 11. Потребление и расходование пищи. Источник: [2].

Дисбаланс может возникнуть вследствие нарушений на любой из стадий. Наиболее частой причиной ожирения служит несоответствие потребления пищи (ее количества и качества) и физической активности (Рис. 11). Однажды возникнув, избыток жиров способствует поддержанию нового состояния, в частности, за счет модуляции уровня секретируемого лептина: попытка похудания сопровождается снижением секреции лептина, оказывающего анорексигенное и энергозатратное действие. Аналогичным образом снижение уровня жирных кислот ведет к увеличению секреции инсулина, способствующего увеличению жировых запасов. Как уже упоминалось, к ожирению может вести разрушение у лабораторных животных вентромедиального гипоталамуса, служащего центром «насыщения». В результате развиваются гиперфагия и снижение энергозатрат. К аналогичным последствиям с преобладанием компонентов потребления пищи или расходования энергии ведут инактивирующие мутации системы возникновения/проведения

анорексигенных сигналов (например, мутации генов лептина и его рецептора, ob/ob и db/db соответственно) или активирующие мутации системы орексигенной стимуляции (например, «желтое» ожирение, или ожирение агути).

Дисбаланс между потреблением пищи и энергозатратами может возникнуть и на периферии, за счет звеньев запасания, окисления и сопряжения окисления с синтезом и расходом макроэргов. Одним из примеров может служить ожирение при гипотиреозе или инактивирующих мутациях Т-рецепторов. К настоящему времени выявлены мутации/полиморфизмы многих десятков генов, ассоциированные с ожирением. В силу полифакторности ожирения его рассматривают не как болезнь, а как симптом.

# 4.2 Гипоталамическая регуляция аппетита

В регуляции пищевого поведения принимает участие целый ряд структур мозга, но базовые процессы протекают в гипоталамусе, куда поступает информация о внешних раздражителях, с рецепторов желудка, об уровне глюкозы и аминокислот в крови, об уровне гормонов и других сигнальных соединений, связанных с пищеварением и энергообменом. Принятие решения об изменении пищевого поведения и реализация этого решения осуществляются с участием множества сигнальных соединений, которые делятся на две основные группы: стимулирующие и подавляющие пищевое поведение (орексигенные и анорексигенные соединения) (Табл. 1).

Таблица 1. Орексигенные и анорексигенные соединения. Источник: [2].

Орексигенные соединения	Анорексигенные соединения
Нейропептид Y(NPY)	α-Меланоцитстимулирующий гормон
Опиопды динорфин, β-END, met-	(αΜСΓ)
ENK, leu-ENK	Пептиды, кодируемые регулируемым
Галанин (GAL)	кокаином и амфетамином транскрип-
ГАМК	том (CART)
Глчтамат	КРГ
Меланин-концентрирующий гормон	Урокортин

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)  $N\!\!^{\circ}2(2019)$ 

DOI: 10.5281/zenodo.3328788

Орексигенные соединения	Анорексигенные соединения
(МКГ)	Нейротензин (NT)
Орексины А и В	Глюкагоноподобный пептид I (GLP-I)
Норадренашн. адреналин	Лептин
Белок агути	Инсулин
Родственный агути белок (AgrP)	Серотошш
Эндоканнабиноиды	Воспалительные иитокины (ИЛ-1,
	CNTF)
	Амилин

#### 4.3 Области мозга, связанные с регуляцией потребления пищи

Аркуатное ядро. (ARC): экспрессирует мРНК многих орексигенных и анорексигенных пептидов. Терминали соответствующих нейронов идут в другие отделы мозга, в частности, те, микроинъекции данных пептидов в которые вызывают изменения в потреблении пищи. Многие нейроны ARC экспрессируют одновременно по меньшей мере два регулирующих потребление пищи пептида (например, NPY и AgrP). Внутри ARC терминали NPY-ергических нейронов обнаруживаются на телах GAL- и β-END-ергических нейронов, терминали GAL-ергических нейронов — на телах β-END-ергических нейронов. ARC не защищено гематоэнцефалическим барьером, что обеспечивает возможность его регуляции соединениями, поступающими через кровь и цереброспинальную жидкость.

Вентромедиальное ядро (VMN) и латеральный гипоталамус (LH): VMN чувствительно к орексигенным и анорексигенным соединениям. Его разрушение ведет к гиперфагии и ожирению («центр насыщения»). Терминали из VMN обнаружены в паравентрикулярном и дорзомедиальном ядрах. Через LH проходит переднемозговой пучок. Разрушение LH вызывает временную афагию, а электоростимуляция или микроинъекции орексигенных соединений — повышение потребления пищи («центр питания»).

Дорсомедиальное ядро (DMN): разрушение DMN слабо увеличивает потребление пищи. Микроинъекции орексигенных и анорексигенных соединений соответственно влияют на потребление пищи. Терминали из DMN обнаружены в VMN и паравентрикулярном ядре. Экспрессия NPY в DMN резко возрастает при разрушении VMN и других типах гиперфагии.

Паравентрикулярное ядро (PVN) и околосводный гипоталамус (PFH): чувствительны к микроинъекциям орексигенных и анорексигенных соединений. Разрушение PVN ведет к гиперфагии. PVN — единственная область гипоталамуса, в которой повышается выделение NPY при голодании.

**Супрахиазматическое ядро (SCN)**: повреждения SCN нарушают регулярность приема пищи. Сигналы о светопериодичности направляются через SCN в ARC, VMN, DMN, LH.

**Нейроанатомический субстрат контроля аппетита.** Рецептивная область для анорексигенных сигналов (лептина, инсулина, КРГ, урокортина, САКТ) перекрывает рецептивную область для орексигенных сигналов (Рис. 13).

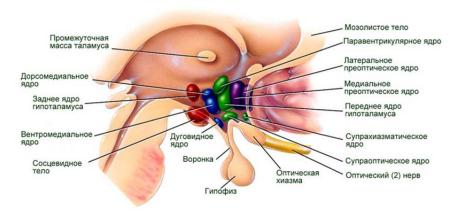


Рис. 12. Ядра гипоталамуса. Источник: https://anatomus.ru/nervy/gipotalamus.html.

Недостаточность лептина у мышей ob/ob (мутация гена лептина), нечувствительность к лептину у мышей db/db и у крыс Zucker (fa/fa) (мутации генов рецептора лептина) сопровождаются повышением экспрессии и выделения NPY в гипоталамусе и гиперфагией.

При разрушении VMN развивается гиперфагия. При этом мРНК NPY в ARC и уровень, и выделение NPY в PVN снижены. Но при этом гиперфагия остается зависимой от NPY, поскольку иммунонейтрализация NPY блокирует потребление пищи.

При разрушении VMN микроинъекцией колхицина наступает преходящая (4–5 дней) гиперфагия. Сразу же снижается продукция и выделение NPY в ARC и PVN соответственно. Гиперфагия развивается по меньшей мере отчасти за счет повышения чувствительности к NPY и увеличения рецепторов NPY типа Y1 в гипоталамусе.

Параллельно возникает резистентность к лептину. Кроме того, повышается продукция GAL и возрастает чувствительность к нему.

При химической блокировке норадреналинового пучка, идущего из BS, развивается гиперфагия.

При этом исчезает подъем продукции лептина после еды в ночное время и возрастает ночная секреция NPY.

**Гипокретины/орексины.** Hcrt1 и Hcrt2, или орексины A и B, продуцируются нейронами в дорзальном и латеральном гипоталамусе и PFH.

Терминали обнаружены в ARC, паравентрикулярном ядре таламуса, преоптической области, ядрах перегородки, BS. Внутрижелудочковое введение этих пептидов, а также микроинъекции в LH, PVN и PFH, но не в VMN и POA, стимулируют потребление пищи. Голодание повышает их экспрессию.

Пищевое действие орексинов, по-видимому, определяется рецептором орексинов типа 2. В ARC терминали с орексинами обнаружены на нейронах, коэкспрессирующих NPY и лептин. Вероятно, орексины стимулируют выделение NPY в PVN. И наоборот, терминали с NPY обнаруживаются на нейронах, экспрессирующих орексины, в LH.

Глюкагоноподобный пептид 1 (GLP-1. ). GLP-1 (7-36) амид возникает при процессинге проглюкагона в кишечнике. Иммунореактивный GLP-1 выявлен в нейронах ARC и PVN. Основная часть GLP-1-содержащих терминалей в гипоталамусе идет из ядра одиночного тракта. Внутрижелудочковое введение GLP-1 голодным животным снижает прием пищи. У сытых животных антагонист GLP-1 стимулирует прием пищи и ожирение. GLP-1 ослабляет действие NPY, что позволяет предполагать участие NPY в опосредовании действия GLP-1. Эффект, видимо, связан с ингибированием постсинаптического действия NPY в PVN. Показана коэкспрессия мРНК GLP-1 и рецептора лептина в нейронах BS. Антагонист GLP-1 блокировал тормозное действие

лептина на потребление пищи. Возможно, GLP-1 служит одним из посредников анорексического действия лептина. Интересно, что при нокауте GLP-1-R изменений в потреблении пищи не наблюдается.

Меланокортин ( $\alpha$ -МСГ) и белок агути. У мышей с синдромом ожирения при летальной мутации агути (AY/a) при созревании развиваются ожирение, гиперинсулинемия, гипергликемия, что связано с действием белка агути через меланокортиновые рецепторы МС4.

α-МСГ, как полагают, ингибирует потребление пищи через те же рецепторы. МС4-R обнаружены во многих отделах мозга, включая PVN, VMN, DMN. Мутации МС4-R ведут к последствиям, сходным с синдромом ожирения агути. Введение агониста МС4-R снимает гиперфагию, вызванную введением NРУ или мутацией в локусе агути (АУ). Введение антагониста МС4-R ведет к повышению потребления пищи сытыми животными. У мышей оb/оb и у нормальных голодных мышей экспрессия ПОМК в АRС снижена. Введение таким животным лептина восстанавливает экспрессию ПОМК. Нейроны, экспрессирующие ПОМК, содержат рецепторы лептина. По-видимому, потребление пищи тонически подавляется системой лептин-ПОМК-αМСГ-МС4-R.

В ARC обнаружены нейроны, коэкспрессирующие NPY и ART (ген, кодирующий родственный агути белок, AgrP ). Экспрессия AgrP возрастает у мышей ob/ob и db/db. AgrP является сильным антагонистом MC3-R и MC4-R. Возможно, AgrP блокирует тормозное действие  $\alpha$ -MC $\Gamma$  в PVN на потребление пищи.

Ещё одним медиатором действия лептина является меланинконцентрирующий гормон (МКГ). Действие МКГ противоположно влиянию  $\alpha$ -МСГ. МКГ вызывает усиление аппетита и потребления пищи.

Транскрипт, регулируемый кокаином и амфетамином (CART). Внутрижелудочковое введение CART тормозит потребление пищи (Рис. 14). Иммунонейтрализация CART повышает ночной прием пищи. мРНК CART обнаружена в ARC, PVN, SON, VMH, переднем PVN и др. областях. Экспрессия CART при голодании и у fa/fa крыс, и оb/оb мышей снижается в ARC и DMH. Введение лептина мышам ob/оb повышает экспрессию CART в ARC. В PVN обнаружены

NPY-терминали на экспрессирующих CART нейронах. Таким образом, посредником биологического действия лептина является CART, содержание которого увеличивается после введения животным кокаина и амфетамина. Лептин стимулирует экспрессию гена CART и вызывает увеличение содержания мРНК CART в гипоталамусе. Эксперименты по введению CART в желудочек мозга крыс выявили уменьшение потребления пищи, стимулированное NPY.

Таким образом, лептин может стимулировать аппетит через подавление экспрессии генов и биосинтеза NPY и МКГ, так и снижать потребление пищи через активацию экспрессии генов ПОМК (МСГ) и CART в нейронах.

Введение лептина подавляет потребление пищи с лаг-периодом 8 – 10 ч. Активная, длинная форма рецептора лептина (OBRb) экспрессируется в ARC, VMH, PVN, LH, вентральном премамиллярном ядре (PMv), DMN. Микроинъекции лептина в ARC, VMH, LH тормозят потребление пищи. В ARC обнаружена коэкспрессия OB-Rb и NPY. Лептин снижает экспрессию NPY в ARC, DMN, PVN. OB-Rb коэкспрессируется в ряде областей с ПОМК, МСН, GAL, орексинами,

GLP-1, что предполагает, что такие нейроны могут быть мишенями для лептина.

У человека циркадный ритм уровня лептина в крови характеризуется базальным уровнем с 8.00 до 12.00 и максимумом между 24.00 и 4.00. Пульсаторный характер с интервалами 44 мин. Циркадные изменения связаны с высотой пульсов. Лептин ингибирует экспрессию гена NPY и секрецию NPY, а также подавляет стимулирующее аппетит действие экзогенного NPY.

Лептин стимулирует экспрессию ПОМК в гипоталамусе и соответственно продукцию α-МСГ. У мышей ob/ob экспрессия ПОМК снижена. Инсулин ингибирует экспрессию NPY и стимулирует экспрессию и секрецию КРГ, который, в свою очередь, индуцирует экспрессию ПОМК и секрецию α-МСГ.

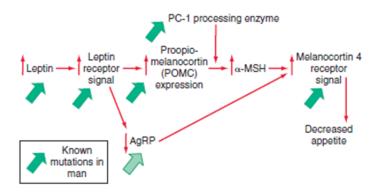


Рис. 13. Центральный путь регуляции лептином аппетита и массы тела. Источник: [16].

Лептин действует через ПОМК в гипоталамусе, увеличивая продукцию  $\alpha$ -МСГ, который, в свою очередь приводит к ингибированию аппетита, влияя на меланокортиновые рецепторы 4 типа. Кроме того, снижается продукция нейропептида AgRP, который в норме выступает антагонистом меланокортиновых рецепторов 4 типа.

Как уже говорилось, адипоциты выделяют лептин в кровь прямо пропорционально массе жировой ткани и состоянию питания. Однако экспрессия и секреция лептина регулируется также посредством многообразия других факторов, что нагляднее всего отражается в таблице (Табл. 2):

Таблица 2. Экспрессия и секреция лептина. Источник: [2].

1. Образование лептина увеличи-	2. Образование лептина снижает-
вается под влиянием:	ся под влиянием:
• Инсулина	<ul> <li>β3-адренэргической актив-</li> </ul>
• Глюкокортикоидов	ности
<ul> <li>TNF-α</li> </ul>	• Андрогенов
• Эстрогенов	• Свободных жирных кислот
•	• Гормона роста
	• Грелина

Различные биологические эффекты лептина проявляются через его связывание с рецепторами на нейронах. Гормон вызывает снижение аппетита, связываясь с рецепторами на нейронах гипоталамуса, в которых нейромедиаторами являются  $\alpha$ -МСГ и NPY.  $\alpha$ -МСГ синтезируется в виде предшественника проопиомеланокортина (ПОМК), из которого высвобождается после протеолитического расщепления. Помимо  $\alpha$ -МСГ, из ПОМК образуется АКТГ и  $\beta$ -эндорфин.

Лептин тормозит экспрессию гена NPY в нейронах гипоталамуса. Повышенное потребление пищи, вызванное NPY, подавляется лептином. Таким образом, лептин не только снижает синтез NPY, но и тормозит его физиологический эффект.

Снижение продукции лептина примерно через сутки после ограничения поступления пищи может быть опосредовано снижением концентрации в плазме инсулина и увеличением концентрации адреналина. Инсулин увеличивает экспрессию гена лептина, тогда как катехоламины снижают её. Спад сочетается с адаптивными физиологическими реакциями на голодание в виде увеличения аппетита и снижения расходования энергии. Такие реакции обычно наблюдались у мышей с недостаточностью лептина и людей с выраженным ожирением. Следует отметить, что терапия малыми дозами приводила к уменьшению гиперфагии и потере массы тела у экспериментальных животных. Напротив, обычные (не связанные с генетическими дефектами) формы ожирения характеризовались повышенным содержанием циркулирующего лептина. Ни эндогенно высокие уровни лептина, ни лечебные мероприятия при помощи введения экзогенного лептина не оказывали влияние на снижение количества жира в организме. Высказано предположение о том, что это связано с развитием лептино-

резистентности. Хотя лептин рассматривается как гормон, противодействующий ожирению, при этом состоянии нередко наблюдается гиперлептинемия, как возможное следствие развития лептинорезистентности. Лептинорезистентность может быть следствием дефектов в механизме сигнализации или транспорта лептина через гематоэнцефалический барьер. При лептинорезистентности, наряду с высокой концентрацией лептина в плазме крови, в спинно-мозговой жидкости уровень гормона остаётся минимальным, что позволило высказаться в пользу недостаточного поступления гормона через ГЭБ. Также стало известно, что имеющееся увеличение уровня гипоталамического SOCS3 (супрессор передачи сигналов цитокина) может рассматриваться как молекулярный медиатор приобретенной резистентности к лептину. SOCS3 сдерживает передачу сигналов на рецептор лептина и на другие рецепторы семейства цитокинов, подавляя активность SAK2 и, следовательно, STAT-активации.

Интересно отметить, что гиперфагия и повышение уровня лептина вместе с повышением инсулина являются обычными признаками ожирения. Но в то же время лептин сам по себе является мощным ингибитором потребления пищи и предполагает снижение уровня инсулина путём подавления его секреции и более качественного расходования. Складывается впечатление, что лептин на самом деле не выполняет своей функции как метаболический гормон, ограничивающий избыточную прибавку в весе. Однако видно, что на самом деле лептин не может достигнуть этой цели при гиперлептинемии и лептинорезистентности. Оригинальное объяснение было предложено с позиции «селективной лептинорезистентности», которое основано на сохранении симпатовозбуждающего действия лептина, несмотря на резистентность к потреблению пищи (пресыщению) и на способность гормона снижать массу тела. Если селективная лептинорезистентность имеет место у тучных людей, то лептин может способствовать избыточной симпатической активности и гипертензии, несмотря на резистентность к его метаболическому воздействию.

Сначала было установлено влияние лептина на энергетический метаболизм, связанное с его действием в гипоталамусе. Со временем стало понятно, что действие лептина намного разнообразнее. Кроме ЦНС, он действует на поджелудочную железу, почки, иммунную и симпатическую нервную системы, оказывает влияние на ангиогенез, гематопоэз.

#### 5 Лептин и симпатическая нервная система

Полагают, что симпатическая нервная система является ключевым ингибитором высвобождения лептина. Катехоламины, такие как норадреналин и адреналин, непосредственно ингибируют синтез лептина. В свою очередь, лептин может активизировать симпатическую нервную систему как через гипоталамус, так и путём стимуляции высвобождения адреналина в мозговом слое надпочечников. Такая «раздвоенность» в действии лептина очень важна, так как происходит формирование отрицательной петли обратной связи между лептином и симпатической нервной системой.

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019)

DOI: 10.5281/zenodo.3328788

#### 6 Лептин и сердечно-сосудистая система

Анализ литературных данных позволяет утверждать, что лептин обладает мощным сосудистым воздействием и участвует в регуляции симпатического тонуса и артериального давления. Регуляторное воздействие на сосудистый тонус и кровяное давление наглядно показано посредством вливания внутривенно или внутрь желудочков мозга животных лептина, что указывает как на центральное, так и на периферическое воздействие гормона. Введение лептина внутрь желудочков мозга вызывает у кроликов повышение артериального давления. Прессорный эффект пропорционален уровню гормона в спинно-мозговой жидкости. Интересно, что доза лептина, необходимая для усиления выброса катехоламинов, по меньшей мере в 100 раз выше для внутривенного, чем для введения внутрь желудочков мозга, что подтверждает взгляд о преобладании центрального механизма в стимуляции симпатической нервной системы и сосудистого тонуса над периферическим. Периферическое воздействие лептина на сосудистый тонус реализуется через некоторые вазоактивные медиаторы, а именно NO и эндотелин-1. Показано, что лептин стимулирует синтез NO и продукцию ЭТ-1 и способствует накоплению активных форм кислорода (АФК) в эндотелиальных клетках пупочной вены у человека. Также известно, что лептин непосредственно индуцирует расширение кровеносных сосудов через NOнезависимые пути метаболизма у здоровых мужчин. Таким образом, интегрирующий механизм действия лептина на регуляцию сосудистого тонуса и артериального давления носит, скорее всего, комплексный характер, если учитывать прессорные воздействия (симпатическая активация) и депрессорные воздействия (увеличение NO).

Внутривенное введение лептина животным в течение 90 минут не вызывала увеличения числа сердечных сокращений, в то время как недельная внутрисосудистая инфузия или введение гормона в желудочки мозга вызывали тахикардию параллельно с активацией симпатической нервной системы.

Кроме того, была обнаружена высокодостоверная позитивная корреляция между гиперлептинемией и тахикардией у лиц с избыточной массой тела (за счёт жира) и умеренной гипертензией. Длительная гиперлептинемия может способствовать развитию сердечной недостаточности и инфаркта миокарда у людей с ожирением. Обнаружена прямая корреляция между индексом массы тела (ИМТ) и гипертрофией левого желудочка (ГЛЖ) на моделях животных и человека. Механизм воздействия лептина на сердце, по-видимому, носит смешанный характер — через симпатическую стимуляцию, а также за счёт воздействия на кардиальные рецепторы лептина.

Ещё одно важное направление в действии лептина, которое необходимо отметить, связано с повреждающим влиянием его на внутреннюю структуру сосудистой стенки. Это действие заключается в снижении релаксации артерий, усилении кальцификации сосудов и в потенцировании протромботической агрегации тромбоцитов. Все эти воздействия могут быть отнесены к факторам, способствующим развитию атеросклеротического повреждения сосудов и форми-

рованию атеросклеротической бляшки. Их значимость возрастает ещё больше у пациентов с ожирением, у которых регистрируется повышенные плазменные уровни многих протромботических факторов. Эффективному снижению этих протромботических рисков могут способствовать диетические рекомендации, направленные против ожирения.

#### 7 Лептин и почки

Почки являются органом, где происходит основная часть процесса деградации эндогенного лептина. Наблюдалась более низкая его концентрация в почечной вене по сравнению с почечной артерией. Величина же экскреции гормона почками не зависит от концентрации лептина в крови, артериального давления, наличия или отсутствия стеноза почечной артерии. Следует отметить, что лептин в моче не обнаруживался вообще или определялся в следовых количествах, что позволило высказать предположение о внутриканальцевых превращениях гормона.

В почках (эндотелиальных клетках и мезангиуме) определяются только укороченные формы рецептора лептина obRa. Было показано, что лептин стимулирует пролиферацию эндотелиальных клеток клубочков и экспрессию TNF-β, который в свою очередь активирует механизмы, участвующие в продуцировании внеклеточного матрикса, а именно, коллагена типа IV. Увеличение отложения коллагена и повреждение эндотелиальных клеток может в конечном счёте привести к гломерулосклерозу и хронической почечной недостаточности.

Кроме того, поскольку элиминация лептина происходит, главным образом, почками, то концентрация лептина в плазме у больных хронической почечной недостаточностью заметно выше. Успешная трансплантация почек приводит к нормализации концентрации лептина.

### 8 Поджелудочная железа и другие отделы желудочнокишечного тракта

Под действием лептина отмечается подавление секреции инсулина, что осуществляется либо путём активации АТФ-зависимых калиевых каналов, либо при участии цАМФ-зависимой протеинкиназы А. Содержание инсулина в крови мышей оb/оb увеличено примерно в 100 раз, уровень гликемии повышен в 6 раз; при хроническом введении лептина концентрация инсулина и глюкозы восстанавливается. Предположительно, поступающие с периферии сигналы насыщения формируются во многом благодаря локальной экспрессии лептина в желудке. Лептин, вырабатывающийся в кишечнике, участвует в процессах всасывания нутриентов, а также в обеспечении моторики ЖКТ.

Лептин, который может поступать к клеткам кишечника как через системный кровоток, так и через просвет кишечника после его секреции желудком, повышает экспрессию PepT1 на транскрипционном уровне. PepT1 – H+-пептидный

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3328788

котранспортёр, осуществляющий транспорт олигопептидов в кишечнике через апикальную мембрану его клеток (Рис. 15). Активность PepT1 регулируется субстратами на транскрипционном уровне, однако данные о направленности этой регуляции противоречивы.

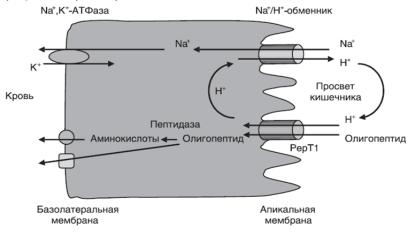


Рис. 14. Транспорт олигопептидов в клетки слизистой кишечника. Источник: [2].

#### 9 Лептин и иммунная система

Тучные люди в большей степени предрасположены к воспалительным и инфекционным заболеваниям. Секретируя компоненты системы комплемента, цитокины и факторы гемопоэза, адипоциты выступают как медиаторы иммунного ответа. В условиях іп vitro лептин повышает секрецию провоспалительных цитокинов из адипоцитов, активирует лимфоциты, а также ускоряет дифференцировку клеток-предшественников в гранулоциты и лимфоциты. В свою очередь, такие цитокины, как интерлейкины и фактор-ингибитор лейкемии стимулируют секрецию лептина в адипоцитах, что сопровождается снижением аппетита.

#### 10 Лептин и СТГ

Лептин способен действовать прямо на соматотрофы гипофиза, увеличивая синтез и секрецию СТГ. Кроме того, лептин подавляет высвобождение соматостатина и стимулирует высвобождение ГРРГ гипоталамусом, что также должно способствовать секреции СТГ. Лептин служит также пермиссивным фактором для активации репродуктивной системы, которая через половые гормоны стимулирует секрецию СТГ [14]. Физиологическое значение стимулирующего действия лептина на продукцию СТГ, по-видимому, заключается в поддержании массы тела на постоянном уровне через систему обратной связи: наполнение

адипоцитов жиром — повышение секреции лептина — увеличение уровня СТГ — стимуляция липолиза, ингибирование липосинтеза.

#### 11 Лептин, тиреоидные гормоны и термогенез

Тиреоидные гормоны наряду с симпатической нервной системой, служат эффекторами в стимулирующем действии лептина на энергообмен. Интенсивность энергообмена определяется не только температурными условиями окружающей среды, но и доступностью пи-

щи. Так, при голодании в тканях адаптивно снижается экспрессия дейодиназы-2, что приводит к снижению локально образующегося Т3 и соответственно уменьшению интенсивности обменных процессов и сохранению питательных веществ в организме. И напротив, увеличивающиеся жировые запасы при избытке пищи стимулируют секрецию адипоцитами лептина, который через активацию симпатико-адреналовой системы и тиреоидной функции повышает термогенез, что ограничивает дальнейший рост массы тела. Однако связь между терморегуляцией и режимом питания осуществляется не только на уровне периферических тканей, но и на уровне ЦНС (Рис. 16).

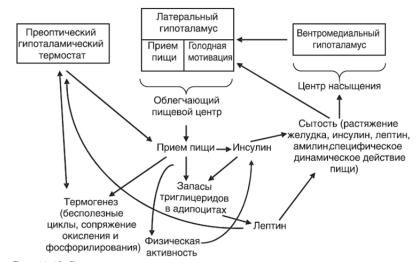


Рис. 15. Взаимосвязи центров терморегуляции и пищевого поведения. Источник: [2].

#### 12 Лептин и половая система

Пермиссивным фактором для пубертатного подъема секреции половых гормонов гонадами служит лептин (Рис. 17).

Мутация гена лептина у человека приводит к развитию ожирения и гипогонадизма. У ob/ob мышей с генетическим отсутствием лептина введение данного гормона восстанавливает фертильность. Действие лептина на половое созревание может происходить как на уровне гипоталамуса, так и на уровне половых желез. В гипоталамусе данный механизм может осуществляться через производные соединения проопиомеланокортина или через NPY. В течение менструального цикла уровень лептина постепенно нарастает на протяжении фолликулярной фазы, достигая пика в лютеиновую фазу. В норме отмечается также синхронность пульсового выброса лептина и лютеинизирующего гормона гипофиза. Во время беременности уровень лептина повышается вместе со сроком гестации в большей степени, чем это соответствует нарастанию массы тела, что предполагает развитие физиологической лептинорезистентности. После родов уровень лептина резко снижается, что может отражать энергетические затраты лактационного процесса. Хотя достаточный уровень лептина необходим для достижения фертильности, у об/ов мышей с генетическим отсутствием лептина после наступления беременности прекращение экзогенного введения данного гормона не препятствовало дальнейшему развитию беременности. Было обнаружено, что лептин содержится в фолликулярной жидкости в тех же концентрациях, что и в сыворотке крови

Кроме того, концентрация гормона в крови после наступления половой зрелости в 2-3 раза выше у женщин, чем у мужчин. В фертильном возрасте снижается содержание лептина у мужчин и увеличивается у женщин из-за более выраженного подавляющего воздействия андрогенов на синтез лептина, чем стимулирующего — эстрогенов. В то же время, у женщин отмечается большее содержание общего жира в организме, чем у мужчин, что также сказывается на его концентрации. Подкожные адипоциты продуцируют в два раза больше лептина из расчета на клетку, чем внутриабдоминальные клетки, возможно, отчасти по причине большего объема подкожных, нежели висцеральных адипоцитов.

Существуют противоречивые данные о влиянии лептина на развитие молочной железы. С одной стороны, у мышей с недостаточностью лептина (линия ob/ob) или его рецептора (линия db/db) развитие молочной железы было минимальным, что свидетельствует о стимуляции лептином пролиферации эпителия. С другой стороны, экспрессия лептина в молочной железе подавляется лактогенными гормонами.

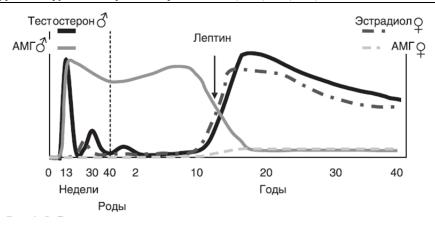


Рис. 16. Лептин и половые гормоны. Источник: [2].

Интересно отметить исследования о взаимодействии лептина и кортизола. Результаты довольно неоднозначны. Суточный ритм лептина и кортизола носит противоположный характер: пик секреции лептина совпадает с минимальным уровнем кортизола. В культуре клеток коры надпочечника физиологические дозы лептина тормозят продукцию кортизола, стимулированную АКТГ [12]. А в паравентрикулярных ядрах гипоталамуса лептин, наоборот, увеличивает экспрессию кортиколиберина. По-видимому, лептин и гипоталамо-гипофизарнонадпочечниковая система находятся в реципрокных отношениях и осуществляют своё взаимодействие на различных уровнях. Значимость лептина в регуляции гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой активности у человека, как в норме, так и при патологии в настоящее время активно изучается.

Важно сказать и про связи с инсулином. Поскольку лептин и инсулин являются главными регуляторами энергетического гомеостаза, внимание исследователей фокусируется на их взаимоотношениях, которые до сих пор уточняются. Показано, что лептин влияет на метаболизм

глюкозы, независимо от анорексигенного эффекта. Внутривенное введение лептина увеличивает продукцию глюкозы и уменьшает содержание гликогена в печени. Предполагается, что лептин влияет непосредственно на метаболизм глюкозы в печени, но не известно, противоположно ли оно действию инсулина или аналогично. Показано, что инсулин участвует в регуляции уровня лептина сыворотки. Продемонстрировано, что уровень лептина у пациентов при впервые диагностированном сахарном диабете 1 типа низок, но увеличивается после начала инсулинотерапии. Больные, получающие интенсифицированную инсулинотерапию, имеют более высокий уровень лептина, чем пациенты на стандартной инсулинотерапии. Это, вероятно, является следствием стимулирующего влияния инсулина на продукцию лептина. Другие авторы не отметили существенного влияния инсулина на сывороточную концентрацию лептина у здоровых людей. У больных сахарным диабетом 2 типа уровень лептина сыворотки выше, независимо от объема висцерального жира. Наиболее высокая лептине-

DOI: 10.5281/zenodo.3328788

мия натощак наблюдается у пациентов с максимально выраженной инсулинорезистентностью. Показано, что при липодистрофии, характеризующейся отсутствием жировой ткани и крайне низким уровнем лептина, часто развивается сахарный диабет 2 типа. Описаны влияния лептина на изолированные панкреатические островки, где он блокирует базальный и стимулируемый глюкозой выброс инсулина путем воздействия на чувствительные к АТФ калиевые каналы. С другой стороны, имеются свидетельства действия лептина как медиатора выработки инсулина β-клетками. Показано, что гормон может уменьшать степень инсулинорезистентности, вероятно, не только за счет периферических, но и за счет центральных эффектов. Обсуждаются также внутриклеточные механизмы передачи сигналов, стимулируемые и лептином, и инсулином.

#### 13 Методы тестирования уровня гормона

Уровень лептина измеряется путём стандартного анализа крови. Венозная кровь является материалом для исследования. Применяют Наиболее распространенной методикой проведения анализа является иммуноферментный анализ (ИФА), в основе которого лежит специфическая реакция антиген-антитело. Искомое вещество (лептин) обнаруживается, благодаря добавлению меченного реагента (коньюгата), который, специфически связываясь только с этим веществом (лептин), окрашивается. Интенсивность окраски пропорциональна количеству определяемого вещества в сыворотке крови. Предлагается реагент Leptin Human ELISA.

Как уже отмечалось, концентрация гормона в крови зависит от многих факторов: пола, возраста, времени суток и состояния организма, а также уровень лептина в крови коррелирует с запасами жировых депо. У грызунов концентрация гормона повышается спустя несколько часов после приема пищи, а у человека — через несколько дней (по некоторым данным, спустя 18-24 часа после ограничения поступления пищи); снижение показателей у животных и человека наблюдается в течение нескольких часов после начала голодания.

Однако концентрация циркулирующего лептина может значительно различаться среди лиц с одинаковой массой жира, что может быть следствием воздействия на экспрессию лептина инсулина, глюкокортикоидов и половых гормонов.

Как и у большинства гормонов, секреция лептина носит пульсовой характер с колебаниями в течение суток. Максимальный уровень лептина в крови отмечается после полуночи (22.00-03.00), минимальный — около полудня.

Концентрация в крови здорового человека составляет  $7,5\pm8,5$  мкг/л и  $3,8\pm17,3$  мкг/л у мужчин и женщин соответственно.

#### Литература

- 1. Смирнов А.Н. Элементы эндокринной регуляции / А.Н.Смирнов М.: ГЭОТАР Медиа, 2008.
- Смирнов, А.Н. Эндокринная регуляция. Биохимические и физиологические аспекты: учебное пособие / А.Н. Смирнов; под ред. В.А. Ткачука — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009.
- Thon Mina, Hosoi Toru, Ozawa Koichiro Possible Integrative Actions of Leptin and Insulin Signaling in the Hypothalamus Targeting Energy Homeostasis, Frontiers in Endocrinology, 2016.
- 4. Wauman Joris, Zabeau Lennart, Tavernier Jan The Leptin Receptor Complex: Heavier Than Expected? Frontiers in Endocrinology, 2017.
- 5. Дедов И. И., Мельниченко Г. А., Бутрова С. А. Жировая ткань как эндокринный орган // Ожирение и метаболизм. 2006. №1.
- 6. МакДермотт М. Секреты эндокринологии / под ред. Ю.А. Князева, М.А. Борисовой, Л.Я. Рожинской М.: Бином, 2001.
- 7. Романцова Т. И., Волкова Г. Е. Лептин и грелин: антагонизм и взаимодействие в регуляции энергетического обмена // Ожирение и метаболизм. 2005. № 2 С.2-9.
- Чубриева С. Ю., Глухов Н. В., Зайчик А. М. Жировая ткань как эндокринный регулятор (обзор литературы) // Вестник СПбГУ. Серия 11. Медицина. 2008. №1 С.32-44.
- 9. Кучер А.Г., Смирнов А.В., Каюков И.Г., Добронравов В.А., Яковенко А.А. Лептин новый гормон жировой ткани: значение в развитии ожирения, патологии сердечнососудистой системы и почек // Нефрология. 2005. Том 9. № 1.
- Аблаев Н.Р. Лептин и его роль в организме человека // Лабораторная медицина. 1-2
   (4) 2012-2013 С.30-36
- 11. Романцова Т.И., Волкова Г.Е. Лептин и грелин: антагонизм и взаимодействие в регуляции энергетического обмена // Ожирение и метаболизм. 2005. №2.
- 12. Коваренко М.А., Руяткина Л.А., Петрищева М.С., Бодавели О.В. Лептин: физиологические и патологические аспекты действия // Вестник НГУ. Серия: биология, клиническая медицина. 2003. Т.: 1, Вып.: 1. С. 59-74.
- 13. Чубриева С.Ю., Глухов Н.В., Зайчик А.М. Жировая ткань как эндокринный регулятор (обзор литературы) // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2008. Сер.11. Вып.1.
- 14. Верин, В. К. Гормоны и их эффекты: справочник / В. К. Верин, В. В. Иванов. СПб.: Фолиант, 2012.
- 15. Физиология эндокринной системы. http://biomedia.pro/physiology/endocrinology/
- J. Larry Jameson Harrison's Endocrinology / Derived from Harrison's Principles of Internal Medicine, 17th Edition, 2010.

#### Reference

- Smirnov A.N. Elements of endocrine regulation / A.N. Smirnov M .: GEOTAR Me-dia, 2008
- Smirnov, A.N. Endocrine regulation. Biochemical and physiological aspects: study guide / A.N. Smirnov; by ed. V.A. Tkachuka - Moscow; GEOTAR-Media, 2009.
- 3. Thon Mina, Hosoi Toru, Torting Energy Homeostasis, Frontiers in Endocrinology, 2016.

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES)  $N\!\!\!\!\!\!\!^{\circ} 2(2019)$ 

DOI: 10.5281/zenodo.3328788

- 4. Wauman Joris, Zabeau Lennart, Tavernier Jan The Leptin Receptor Complex: Heavier Than Expected? Frontiers in Endocrinology, 2017.
- Dedov I. I., Melnichenko G. A., Butrova S. A. Adipose tissue as an endocrine organ // Obesity and metabolism. 2006. №1.
- McDermott M. Secrets of Endocrinology / ed. Yu.A. Knyazev, M.A. Borisova, L.Ya. Rozhinsky - M.: Binom, 2001.
- 7. Romantsova T.I., Volkova G.E. Leptin and ghrelin: antagonism and interaction in the regulation of energy metabolism // Obesity and Metabolism. 2005. №2 C.2-9.
- 8. Chubrieva S. Yu., Glukhov N. V., Zaichik A. M. Adipose tissue as an endocrine regulator (literature review) // SPbSU Bulletin. Series 11. Medicine. 2008. №1 C.32-44.
- 9. Kucher A.G., Smirnov A.V., Kayukov I.G., Dobronravov V.A., Yakovenko A.A. Leptin a new hormone of adipose tissue: importance in the development of obesity, pathology of the cardiovascular system and kidneys // Nephrology. 2005. Volume 9. № 1.
- Ablaev N.R. Leptin and its role in the human body // Laboratory medicine. 1-2 (4) 2012-2013 P.30-36
- 11. Romantsova T.I., Volkova G.E. Leptin and ghrelin: antagonism and interaction in the regulation of energy metabolism // Obesity and metabolism. 2005. №2.
- 12. Kovarenko M.A., Ruyatkina L.A., Petrishcheva M.S., Bodaveli O.V. Leptin: physiological and pathological aspects of action // Bulletin of the NSU. Series: biology, clinical medicine. 2003. T.: 1, Issue: 1. p. 59-74.
- 13. Chubrieva S.Yu., Glukhov N.V., Zaychik A.M. Adipose tissue as an endocrine regulator (literature review) // Bulletin of St. Petersburg University, 2008. Ser.11. Issue 1.
- 14. Verin, V. K. Hormones and their effects: a handbook / V. K. Verin, V. V. Ivanov. SPb .: Foliant, 2012.
- 15. The physiology of the endocrine system. http://biomedia.pro/physiology/endocrinology/
- J. Larry Jameson Harrison's Endocrinology / Derived from Harrison's Principles of Internal Medicine, 17th Edition, 2010.

# The role of leptin in the regulation of energy metabolism and the functioning of living organisms

#### A.A. Osipova

Faculty of Fundamental Medicine, Lomonosov Moscow State University, Department of Pharmacy, Moscow, Russia

E-mail: alinaosipov@mail.ru

**Annotation.** The article discusses the role and functions of leptin in the regulation of energy metabolism and the functioning of living organisms.

Keywords: leptin, body functions, energy metabolism

#### УДК 349.6

## Правовые проблемы «степени локализации» генерирующих объектов ВИЭ

Е.Н. Попова<sup>1а</sup>, А.А. Соловьев<sup>2b</sup>

 $^1$ Университет Лазурного Берега, Франция, Ницца  $^2$ Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, Москва

E-mail: e.popova@lenaslaw.com

Аннотация. В статье рассматриваются правовые проблемы государственного механизма определения «степени локализации» генерирующего оборудования для производства энергии на ВИЭ в качестве одного из препятствий для получения предприятиями статуса квалифицированного производителя энергии на ВИЭ.

**Ключевые слова:** зеленые сертификаты, энергетика, энергоэффективность, возобновляемая энергетика, право, экономика, закон, государственная поддержка, степень локализации.

Для того, чтобы получить статус квалифицированного производителя энергии на ВИЭ и впоследствии получить «зеленый» сертификат, предприятие должно соответствовать критериям, установленным в законе.

Такие критерии установлены в Постановлении Правительства РФ о квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования ВИЭ [1].

Согласно п. 1 Постановления, при квалификации генерирующих объектов ВИЭ определяется:

- а) соответствие указанных объектов целевым показателям объема производства и потребления электроэнергии, произведенной на ВИЭ в совокупном балансе производства и потребления электроэнергии;
- б) «степень локализации» соответствие целевым показателям степени локализации на территории РФ производства основного и (или) вспомогательного генерирующего оборудования для производства энергии на ВИЭ.

<sup>b</sup> ORCID 0000-0002-4376-1120

a ORCID: 0000-0003-4229-6586

Процедура квалификации имеет заявительный характер. В ходе данной процедуры проверяются представленные предприятием документы, а также в некоторых случаях предполагается выездная проверка генерирующих объектов. Предприятие, которое успешно прошло данную процедуру, вносится в специальный реестр и в его пользу выпускаются «зеленые» сертификаты в объеме подтвержденной генерации.

На практике только ограниченному количеству предприятий ВИЭ удается успешно пройти процедуру квалификации (аккредитации) из-за наличия следующих препятствий.

Как следует из вышеуказанного Постановления Правительства РФ, при квалификации генерирующих объектов ВИЭ определяется «степень локализации» по генерирующему объекту, то есть соответствие целевым показателям степени локализации на территории РФ производства основного и (или) вспомогательного генерирующего оборудования для производства энергии на ВИЭ.

Степень локализации по генерирующему объекту определяется как сумма вкладов каждого элемента оборудования (оборудования в сборе) и работ, выполняемых при проектировании и строительстве, в степень локализации по генерирующему объекту. Вклады элементов оборудования (оборудования в сборе) и работ, выполняемых при проектировании и строительстве, в степень локализации по генерирующему объекту определяются согласно приложениям N 1 - 4(1) к вышеуказанному Постановлению Правительства РФ.

Суть правила о «степени локализации» заключается в том, чтобы обеспечить в приоритетном порядке использование оборудования и комплектующих российского производства при реализации инвестиционных проектов в сфере ВИЭ.

Проблема в том, что в России отрасль производства оборудования и комплектующих для сферы ВИЭ только начинает развиваться. Поэтому часто необходимое оборудование для инвестиционного проекта либо не производится в России, либо его стоимость намного выше стоимости зарубежного оборудования, что делает его приобретение экономически невыгодным для реализации проекта.

При таких обстоятельствах предприятия ВИЭ, реализующие инвестиционный проект, не могут выполнить требование закона о «степени локализации», соответственно не могут пройти процедуру квалификации (аккредитации) и в итоге получить государственную помощь.

Прежде всего, данная проблема касается ветроэнергетики. Сооружать ветроэлектростанции для инвесторов сегодня не выгодно, поскольку невозможно выполнить требование российского законодательства о «степени локализации». В России существуют всего лишь 15 предприятий по производству ветроэлектроустановок малой мощности. Российская промышленность не производит комплектующие для строительства ветроэлектростанции. Как правило, комплектующие покупаются в Европе. Но в таком случае, предприятие ВИЭ не может рассчитывать на государственную поддержку. Поэтому инвесторы мало заинтересованы в строительстве ветропарков.

Отсутствие интереса инвесторов по причине наличия данной проблемы подтверждается результатами конкурсных отборов проектов ВИЭ на 2016 - 2019гг.

Так, согласно результатам отбора, «отборы по ветровой генерации на 2017 - 2019 годы и по гидрогенерации на 2016, 2017 и 2018 годы фактически не состоялись ввиду отсутствия заявок, а для отборов по солнечной генерации на 2017 и 2018 годы соответствующие квоты были выбраны на предыдущих конкурсах. Участники подали заявки в отношении 23 объектов: 1 в отношении ветровой генерации, 20 в отношении солнечной генерации и 2 в отношении гидрогенерации.

На втором этапе отбора, проводившемся с 7 по 15 декабря, в рамках которого у участников первого этапа отбора была возможность подавать заявки со сниженными капитальными затратами, были незначительно скорректированы заявки в отношении 3 объектов солнечной генерации с поставкой на 2019 год.

В отношении проектов по строительству объектов ветровой генерации и гидрогенерации уточняющие заявки не подавались в силу отсутствия конкуренции [2].

Если сравнить результаты отбора 2013 и 2014 гг., то в 2013 году отбор прошли 7 проектов по строительству ветропарков, а в 2014 году — всего лишь 1 (один) проект ООО «АЛТЭН», которое намерено построить и ввести в эксплуатацию первую очередь Приютненской ВЭС мощностью 51 МВт в Калмыкии.

Несмотря на это, проект ООО «АЛТЭН» по строительству указанного ветропарка столкнулся с трудностями и не был реализован.

В качестве примера наличия проблемы «степени локализации» можно привести проект строительства ветропарка в Ростовской области на месте бывшей игорной зоны «Азов-Сити». Общий размер инвестиций в проект составит 132 млн евро (около 10 млрд рублей по текущему курсу). Проект реализует немецкая компания SoWiTec Group через специальное созданное на территории РФ для этих целей юридическое лицо – ООО «СоВиТек Рус». «В начале этого года инвестор отложил старт на год - его перенесли на конец 2019 года. "Перенос сроков обусловлен решением вопросов локализации производства оборудования и взаимодействия с инвесторами", - сказал «Интерфаксу» представитель компании. Ввести в эксплуатацию и начать поставку электроэнергии с ВЭС в Ростовской области собираются в 2020 году» [3].

Из приведенной информации следует, что инвесторы проявляют больший интерес к проектам в сфере солнечной энергетики, поскольку они наименее проблемные. Это объясняется тем, что Россия на сегодняшний день имеет более подготовленную производственную базу в сфере солнечной энергетики, что позволяет инвесторам выполнить требование о «степени локализации». Предприятия по производству оборудования для солнечной генерации начали развиваться в России в последние годы, благодаря трансферу технологий из Европы.

Более того, оборудование солнечных электростанций легче установить, смонтировать и в дальнейшем обслуживать, чем оборудование других электростанций. Этот факт также привлекает инвесторов, поскольку сокращает их расходы на реализацию проекта.

Также нет особых проблем с выполнением требования «степени локализации» для малой гидроэнергетики, поскольку на территории России давно налажено производство оборудования. Надо сказать, что импортное оборудование

Journal of Environmental Earth and Energy Study (JEEES) №2(2019) DOI: 10.5281/zenodo.3329183

все же является более качественными. Но инвесторы вынуждены выбирать: либо качественное европейское оборудование, либо государственная поддержка.

Благодарность. Работа выполнена при научном соруководстве НИЛ ВИЭ Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

#### Литература

- 1. Постановление Правительства РФ от 03.06.2008 N 426 (ред. от 23.05.2017) "О квалификации генерирующего объекта, функционирующего на основе использования возобновляемых источников энергии"
- 2. «Подведены итоги отбора проектов ВИЭ на 2016 2019 годы», журнал «С.О.К.», 18 декабря 2015 года: https://www.c-o-k.ru/market\_news/podvedeny-itogi-otbora-proektovvie-na-2016-2019-gody
- 3. «С энергией ветра», Interfax-Russia.ru, 20 апреля 2017 года: http://interfaxrussia.ru/South/view.asp?id=826104

#### Reference

- 1. Resolution of the Government of the Russian Federation of 03.06.2008 N 426 (as amended on 05.23.2017) "On the qualification of a generating facility operating on the basis of the use of renewable energy sources"
- 2. "The results of the selection of renewable energy projects for 2016 2019" were summed up, "S.O.K." magazine, December 18, 2015: https://www.cok.ru/market\_news/podvedenyitogi-otbora-proektov- vie-na-2016-2019-gody
- 3. "With the energy of the wind", Interfax-Russia.ru, April 20, 2017: http://interfaxrussia.ru/South/view.asp?id=826104

### Legislative problems of the "Degree of localization" for renewable energy power plants

E.N. Popova<sup>1</sup>, A.A. Solovyev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université Côte d'Azur, Batiment M, 28 Avenue de Valrose 06108 Nice CEDEX 2, France <sup>2</sup>Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Russia, Moscow

E-mail: e.popova@lenaslaw.com

**Abstract.** The article discusses legal problems of state mechanism of determination of "extent of localization" of the generating equipment on energy production on the basis of renewable sources in quality of one of obstacles for obtaining by the enterprises the status of the qualified producer of energy based on renewable sources.

**Keywords:** green certificates, renewable energy, energy, economy, law, state support, extent of localization.

**Acknowledgement.** The work was carried out with the scientific guidance of the Laboratory of RES of the Geographical Faculty of Lomonosov Moscow State University.