

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЕТРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В ОЛЕКМИНСКОМ УЛУСЕ ЯКУТИИ

Иванова И.Ю.¹, Ноговицын Д.Д.², Тугузова Т.Ф.¹, Шеина З.М.², Сергеева Л.П.²

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л. А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН), e-mail: nord@isem.sei.irk.ru;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук (ИФТПС СО РАН), e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru

В Якутии с её обширной территорией и суровой продолжительной зимой главной социальной проблемой является тепло- и электроснабжение удаленных населенных пунктов, изолированных от энергосистемы. Используемые в настоящее время дизельные электростанции (ДЭС) ограничены в работе вследствие сложной транспортной схемы завоза нефтепродуктов и часто имеют неудовлетворительное состояние из-за выработки своего моторесурса. В зимний период нередки случаи аварий, выхода из строя котельных, тепловых сетей и систем отопления жилых зданий и объектов соцкультбыта. Поскольку дизельные электростанции на ближайший период остаются основными и гарантированными источниками электроснабжения населенных пунктов, находящихся в децентрализованных зонах, использование ветроэлектростанций (ВЭС) рассмотрено в качестве дополнительного источника энергии, эксплуатация которого позволит частично снизить расход органического топлива. В статье дана оценка экономической эффективности использования ВЭС в Олекминском улусе Якутии исходя из возможности ветропотенциала в обеспечении годового графика потребления электроэнергии конкретного населенного пункта улуса.

Ключевые слова: использование энергии ветра, энергоснабжение, экономическая эффективность, децентрализованное электроснабжение, возобновляемые источники энергии, выработка электроэнергии, ветроэлектростанции.

ASSESSMENT OF ECONOMIC EFFICIENCY OF WIND POWER STATIONS IN OLEKMINSK DISTRICT, YAKUTIA

Ivanova I.Y.¹, Nogovitsyn D.D.², Tuguzova T.F.¹, Sheina Z.M.², Sergeeva L.P.²

¹Federal State Scientific Institution the L.A. Melentiev Institute of energy systems, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences (MIES SB RAS), e-mail: nord@isem.sei.irk.ru;

²Federal State Scientific Institution the V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North SB RAS, (IPTPN SB RAS), e-mail: dmitry-nogovitzyn@yandex.ru

On account of the vast territory and severe long winter, the main social problem in Yakutia is heat and electricity supply in remote communities that are isolated from the power system. Diesel power plants (DPP) used at present is limited due to complex transport scheme of oil product delivery and their poor condition over exhausted service life. In winter there are frequent cases of accidents, failures of boilers, heating systems and heating systems of residential buildings and social facilities. Since diesel powers for the nearest period remain the main and guaranteed sources of power supply to the settlements located in decentralized area, the use of wind power stations (WPS) is considered as a secondary source of energy, exploitation of which will allow reducing the consumption of fossil fuels. The economic efficiency of wind farms in Olekminsk district, Yakutia, proceeding from the possibility of wind potential in meeting the annual schedule of electricity consumption of a particular locality district is estimated in the article.

Keywords: wind energy use, energy supply, cost efficiency, decentralized power supply, renewable energy.

В целях реализации государственной социально-экономической политики на федеральном и региональных уровнях принимаются программы обеспечения надежного энергоснабжения районов Севера и приравненных к ним территорий с ограниченными сроками завоза грузов за счет использования возобновляемых природных энергоресурсов и местных видов топлива [8].

Местом приоритетного размещения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в России являются зоны децентрализованного электроснабжения. Применение таких энергоисточников позволило бы решить имеющиеся проблемы за счет сокращения объемов потребления органического топлива и ослабления зависимости от его поставок, снижения себестоимости производства энергии, уменьшения негативного влияния энергетики на природную среду, улучшения комфортности, стиля и качества жизни населения.

В этой связи возникает необходимость комплексных исследований по оценке экономической эффективности применения возобновляемых источников энергии для децентрализованных потребителей, учитывающих изменения в течение года показателей природного потенциала и значений потребности в электроэнергии. Авторы статьи не раз обращались к этой теме применительно к северным районам Республики Саха (Якутия) [4,7]. Объектом исследования в настоящей статье выступает юго-западный улус республики. На территории улуса расположено 17 населенных пунктов, электроснабжение которых осуществляется от автономных дизельных электростанций.

Основные проблемы обеспечения электроэнергией потребителей Олекминского улуса обусловлены территориальной рассредоточенностью и их небольшими энергетическими нагрузками. В связи с этим – дальность и сложность доставки топлива, зависимость от его поставок, ограниченность сроков сезонного завоза, и, как следствие, удорожание и недопоставки топлива, нерегулярное электроснабжение потребителей и высокая себестоимость производства электроэнергии на автономных энергоисточниках.

Суммарная мощность ДЭС Олекминского улуса составляет около 9 МВт, ими ежегодно производится более 8 млн. кВт·ч электроэнергии. Удельный расход топлива на ДЭС в большинстве населенных пунктов улуса превышает 450 г у.т./кВт·ч. Суммарная потребность в топливе оценивается в 2,6 тыс. т/год. Цена топлива для ДЭС в настоящее время составляет 35,2 тыс. руб./т, в связи с чем себестоимость производства электроэнергии на относительно крупных ДЭС превышает 32 руб./кВт·ч, на мелких – достигает 60-90 руб./кВт·ч.

Поскольку установленная мощность автономных ДЭС по условиям резервирования превышает максимум нагрузки потребителей в 3-5 раз, при обосновании использования возобновляемого источника энергии возникает проблема выбора его мощности. Дублирование мощности ДЭС возобновляемым источником приводит к завышению капиталовложений.

Кроме того, вследствие изолированности потребителя от энергосистемы и стохастичности проявления в течение года ветропотенциала, возникает проблема несовпадения графиков потребления энергии и ее производства возобновляемым источником

энергии. Этот фактор усугубляется преобладанием у децентрализованных потребителей коммунально-бытовых нагрузок, что проявляется в выраженной неравномерности потребления энергии. Неучет этого фактора приводит к завышению коэффициента использования установленной мощности при оценке финансово-экономической эффективности проектов, вследствие чего формируется отрицательное отношение применения возобновляемых источников энергии из-за неполучения на практике ожидаемого эффекта.

Все это обусловило необходимость определения оптимальной мощности возобновляемого источника энергии при оценке экономической эффективности его применения для энергоснабжения децентрализованного потребителя.

Методика определения оптимальной мощности возобновляемого источника энергии для децентрализованного потребителя

Данная методика основана на соотношении капиталовложений в ВИЭ и стоимости вытесненного органического топлива, которая в большой мере зависит от показателей потенциала возобновляемых природных энергоресурсов [3].

На первом этапе выявляются характеристики исследуемого объекта: максимальная и минимальная нагрузка потребителя и годовой график потребления энергии, показатели потенциала каждого вида возобновляемого энергоресурса для конкретного пункта. Предварительный выбор типа и состава оборудования производится, исходя из нагрузки потребителя, из базы данных, содержащей характеристики данного типа энергоисточника.

При этом на первой итерации мощность ВИЭ выбирается приблизительно равной (с учетом дискретности оборудования) минимальной нагрузке потребителя с целью полного использования природного потенциала.

На втором этапе выполняется расчет возможной выработки энергии на основе распределения значений потенциала возобновляемого энергоресурса в годовом разрезе и рабочих характеристик оборудования. Для различных видов энергоресурсов проводится предварительный перерасчет значений показателей природного потенциала, данных в справочниках, применительно к параметрам выбранного типа энергоустановки.

Так, в расчетах возможной выработки электроэнергии ветроустановкой (ВЭУ) используются среднегодовая скорость ветра, вероятности распределения скоростей ветра по градациям в течение года на высоте флюгера гидрометеостанции, представленные в справочниках [6], а также рабочие характеристики ветроустановок и высота их ветробашен [2,5]. В результате выполнения исследований на втором этапе для каждого месяца определяются расчетные значения выработки энергии.

Третий этап включает совмещение графиков производства и потребления энергии, а также формализованный расчет полезной выработки энергии ВИЭ посредством последовательного сравнения значений потребления и выработки энергии для каждого месяца.

На четвертом этапе, исходя из значений полезной выработки энергии и экономических показателей, характеризующих потребителя, рассчитывается объем и стоимость вытесненного органического топлива и оцениваются капиталовложения в возобновляемый источник энергии для расчетной мощности.

Далее проводятся итерационные расчеты для принятой единичной мощности ВИЭ с увеличением числа агрегатов. Условием для завершения цикла перебора мощности служит полное покрытие потребности в энергии за счет возобновляемого источника, когда минимальное в месяц значение выработки энергии не меньше максимальной потребности.

Мощность ВИЭ в выбранном варианте единичной мощности установки будет являться оптимальной для данного потребителя при минимальном значении соотношения капиталовложений в возобновляемый источник энергии и стоимости вытесненного топлива.

Для более точного определения значения оптимальной мощности ВИЭ в расчетах предусматривается организация дополнительного цикла итераций в диапазоне мощностей с выработкой электроэнергии, близкой к оптимальной, выбранной для первоначальной единичной мощности.

Выходной информацией исследований по данной методике являются оптимальная расчетная мощность, а также соответствующие ей полезная выработка энергии, капиталовложения в возобновляемый источник энергии и объем вытесняемого органического топлива в ходе его эксплуатации. Эти показатели служат исходной информацией для оценки финансово-экономической эффективности проекта сооружения возобновляемого источника энергии у данного потребителя.

Оценка эффективности использования энергии ветра на цели электроснабжения в Олекминском улусе

На основе представленной методики проведены расчеты по определению оптимальной мощности ветроэлектростанции и оценке экономической эффективности их применения для условий выбранного населенного пункта Олекминского улуса с учетом особенностей его потребности в электроэнергии.

В Олекминском улусе наилучшие условия для использования ветропотенциала для энергоснабжения потребителей наблюдаются в п. Саняхтах и г. Олекминск. Так как г. Олекминск подключен к энергосистеме, оценка эффективности применения ВЭС проводилась для п. Саняхтах. В то же время вероятностное распределение скоростей ветра

по градациям в справочнике приведено только для г. Олекминск. В связи с тем, что гидрометеорологические условия этих населенных пунктов достаточно близки (находятся в одной ветровой зоне, оба расположены на берегу р. Лена, одинаково удалены от побережья морей) с определенной степенью точности, не превышающей допустимые погрешности инженерных расчетов, можно использовать градационное распределение скоростей ветра г. Олекминск для п. Саняхтах.

Максимальное потребление электроэнергии в поселке приходится на период с ноября по февраль, летом оно снижается практически вдвое и минимальное значение составляет 55% от максимального. Зимний максимум нагрузки составляет 205 кВт, летний минимум – 30 кВт. Установленная мощность ДЭС – 1230 кВт. Ежегодное электропотребление оценивается в 1 млн кВт·ч.

Среднегодовая скорость ветра в п. Саняхтах, по данным справочников, составляет 2,4 м/с. График изменения скорости ветра в течение года характеризуется небольшими колебаниями и имеет два небольших пика усиления – в весенний и осенний периоды.

В связи с тем, что ветровой потенциал в окрестностях п. Саняхтах незначителен, и в условиях такого ветрового режима ветроэнергетические установки не могут выйти на номинальную мощность, для обеспечения необходимой выработки электроэнергии рассматривались ветростанции мощностью, значительно превышающей максимальную нагрузку потребителей населенного пункта.

Для определения оптимальной мощности ВЭС рассматривались несколько вариантов ветроустановок различной единичной мощности, соответственно, с различными рабочими характеристиками: NW 22-150 NY, Turbowinds T-400-34, NW 44-850 VN [1,9].

Удельные капиталовложения в ВЭС по обобщенным данным различных источников [2,5] с учетом транспортировки оборудования и строительно-монтажных работ для условий рассматриваемого улуса приведены в таблице 1.

Таблица 1

Удельные капиталовложения в ВЭС, тыс. руб./кВт

Тип ВЭУ	Удельные капиталовложения в ВЭС
NW 22-150 NY	143
Turbowinds T-400-34	100
NW 44-850 VN	91

Расчет возможной и полезной выработки электроэнергии ВЭС. Для расчета возможной выработки электроэнергии мощность ВЭУ при различной скорости ветра определялась по рабочим характеристикам установок с учетом пересчета скоростей ветра с высоты флюгера метеостанции на высоту ветробашни.

Следует отметить, что для рассмотренных типов ВЭУ электроэнергия начинает вырабатываться при разных скоростях ветра. Так, для ВЭУ NW 22-150 NY из-за меньшей высоты ветробашни выпадают из рабочего диапазона скорости ветра до 3-х м/с (на высоте флюгера), в то время, как у более мощных установок в пересчете на высоту ветробашни этот диапазон скоростей позволяет вырабатывать электроэнергию.

На первой итерации к рассмотрению принята ветроустановка NW 22-150 NY мощностью 150 кВт. Совмещение графиков потребления электроэнергии в п. Саняхтах и ее возможной выработки рассмотренным набором ВЭУ 150 кВт, позволило определить полезную выработку электроэнергии посредством последовательного сравнения значений потребления и выработки энергии в течение каждого месяца (рисунок 1). В таблице 2 приведена расчетная выработка электроэнергии различным набором таких ветроустановок.

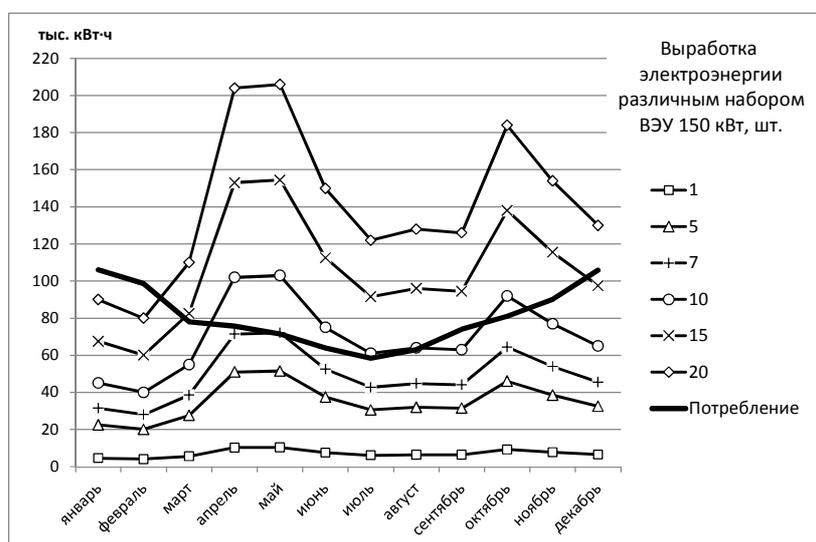


Рис. 1. Совмещение графиков потребления и возможной выработки электроэнергии различным набором ВЭУ 150 кВт

Таблица 2

Расчетная выработка электроэнергии ВЭС с различным набором ВЭУ 150 кВт

Показатель	Количество ВЭУ 150 кВт, шт.					
	1	5	7	10	15	20
Установленная мощность ВЭС, кВт	150	750	1050	1500	2250	3000
Выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч						
возможная	84,2	421,0	589,4	842,0	1263,0	1684,0
полезная	84,2	421,0	588,7	769,5	880,6	931,5

По показателям ветропотенциала п. Саняхтах годовые графики выработки электроэнергии рассмотренным набором ВЭУ 150 кВт имеют два максимума – весенний и осенний, при этом, чем больше мощность станций, тем эти максимумы более выражены.

Для ВЭС с набором ВЭУ 150 кВт до 7 штук возможная выработка электроэнергии полностью является полезной. При увеличении количества установок доля полезной выработки электроэнергии в возможную сокращается вплоть до 55% в варианте максимального замещения ДЭС в покрытии графика потребления.

Определение оптимальной мощности ВЭС. В зависимости от мощности ветроустановки изменяются не только доля покрытия потребности в электроэнергии, но и, соответственно, объем вытесняемого дизельного топлива с дизельных электростанций и суммарные капиталовложения в ВЭС. Основные технико-экономические показатели вариантов ВЭС с различным набором ВЭУ 150 кВт приведены в таблице 3.

Критерием оптимальности при определении мощности является минимальное соотношение затрат на сооружение и стоимости вытесненного дизельного топлива (простой срок окупаемости).

Таблица 3

Технико-экономические показатели вариантов ВЭС
с различным набором ВЭУ 150 кВт

Показатель	Количество ВЭУ 150 кВт, шт.					
	1	5	7	10	15	20
Объем вытесненного топлива на ДЭС, т у. т.	38,9	194,5	272,0	355,5	406,9	430,3
Стоимость топлива, млн. руб.	0,9	4,7	6,6	8,6	9,9	10,5
Стоимость ВЭС, млн. руб.	21,5	107,3	150,2	214,5	321,8	429,0
Срок окупаемости, лет	22,7	22,7	22,7	24,8	32,5	41,0

Анализ полученных результатов показывает, что наименьший срок окупаемости имеют ветроэлектростанции мощностью до 1050 кВт – варианты с набором до 7 ВЭУ 150 кВт. Причем во всех вариантах пока вся выработанная ВЭС электроэнергия является полезной, срок окупаемости будет одинаковым – 22,7 года. При дальнейшем увеличении мощности ВЭС срок окупаемости растет вследствие увеличения доли неиспользуемой энергии.

На последующих итерациях проводился расчет всех технико-экономических показателей ветроэлектростанций с ВЭУ единичной мощности 400 кВт и 850 кВт в диапазоне мощностей с выработкой электроэнергии, близкой к оптимальной, выбранной для первоначальной единичной мощности.

На рисунке 2 представлено совмещение графиков потребления электроэнергии и возможной ее выработки ВЭС с выбранным набором ВЭУ различной единичной мощности. Установленная мощность ВЭС и расчетная выработка электроэнергии приведены в таблице 4, технико-экономические показатели – в таблице 5.

По результатам исследований оптимальной мощностью ВЭС для п. Саньяхтах Олекминского улуса Республики Саха (Якутия) является 800-850 кВт, поскольку с точки зрения экономической эффективности наименьший срок окупаемости (14,5 лет) имеет ВЭС с одной ВЭУ мощностью 850 кВт. В то же время с позиций эксплуатации и надежности, учитывая сложность проведения текущих и капитальных ремонтов, наиболее привлекательным является строительство ВЭС в составе двух ВЭУ по 400 кВт: срок окупаемости 16,6 года.

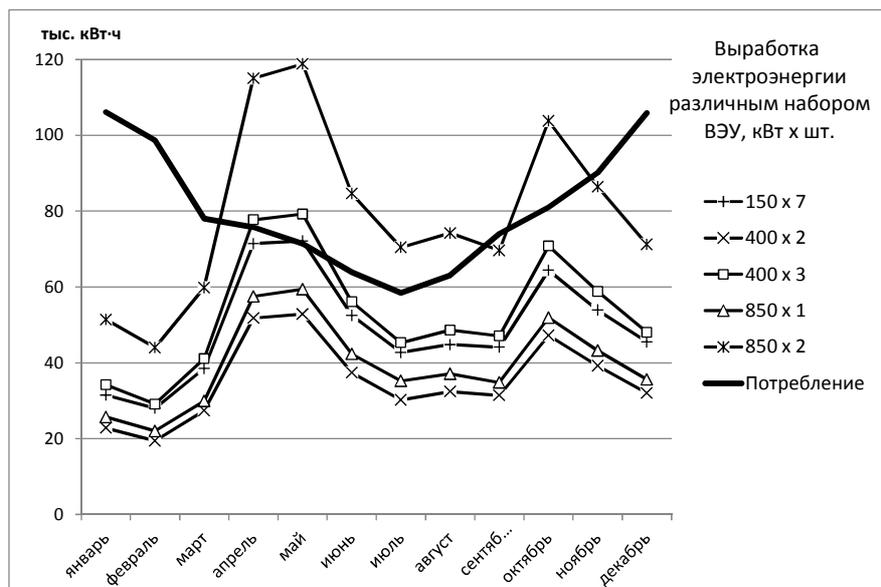


Рис. 2. Совмещение графиков потребления и возможной выработки электроэнергии с набором ВЭУ различной единичной мощности

Таблица 4

Расчетная выработка электроэнергии ВЭУ различной единичной мощности

Показатель	Единичная мощность ВЭУ, кВт (количество, шт.)				
	150 (7)	400 (2)	400 (3)	850 (1)	850 (2)
Установленная мощность ВЭС, кВт	1050	800	1200	850	1700
Выработка электроэнергии, тыс. кВт·ч					
возможная	589,4	424,0	636,0	474,6	949,2
полезная	588,7	424,0	626,2	474,6	795,9

Таблица 5

Технико-экономические показатели ВЭУ различной единичной мощности

Показатель	Единичная мощность ВЭУ, кВт (количество, шт.)				
	150	400	400	850	850

	(7)	(2)	(3)	(1)	(2)
Объем вытесненного топлива на ДЭС, т у. т.	272,0	195,9	289,3	219,3	367,7
Стоимость топлива, млн. руб.	6,6	4,8	7,0	5,3	8,9
Стоимость ВЭС, млн. руб.	150,2	79,0	118,6	77,4	154,7
Срок окупаемости, лет	22,7	16,6	16,9	14,5	17,3

Результаты проведенных исследований позволили сделать вывод об экономической неэффективности применения ветроэлектростанций для электроснабжения децентрализованных потребителей Олекминского улуса (на примере п. Саньяхтах): сроки окупаемости достаточно высоки – более 14,5 лет, что объясняется низкими значениями ветропотенциала. В дальнейшем требуется проведение исследований по оценке экономической эффективности использования других альтернативных возобновляемых природных энергоресурсов, например, солнечной энергии, учитывая географическое расположение улуса и показатели гелиопотенциала.

Список литературы

1. Ветроэнергетическое оборудование. URL: <http://www.wind-diesel.ru> (дата обращения: 20.12.2013).
2. Виссарионов В.И., Белкина С.В., Дерюгина Г.В. и др. Энергетическое оборудование для использования нетрадиционных возобновляемых источников энергии / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: ООО фирма «ВИЭН». – 2004. – 448 с.
3. Иванова И.Ю., Тугузова Т.Ф., Халгаева Н.А. Определение оптимальной мощности возобновляемого источника энергии для изолированного от энергосистемы потребителя // Известия Академии наук. Энергетика. – 2014. – №3. – С. 22-28.
4. Иванова И.Ю., Ноговицын Д.Д., Тугузова Т.Ф., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Ветроэнергетические ресурсы г. Верхоянск Республики Саха (Якутия) и возможность их использования для энергоснабжения // Фундаментальные исследования. – 2013. – №4(1). – С.30-38.
5. Оборудование возобновляемой и малой энергетики. Справочник-каталог / Под ред. П.П. Безруких. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ» – 2005. – 248 с.
6. Справочник по климату СССР. Вып. 24. Якутская АССР. Ч. 3. Ветер. Л.: Гидрометеиздат. – 1967. – 271 с.
7. Шакиров В.А., Ноговицын Д.Д., Ефимов А.С., Шеина З.М., Сергеева Л.П. Анализ эффективности использования энергии ветра в северных районах Республики Саха (Якутия) // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – №6. – с.935-945.

8. Энергетическая стратегия Республики Саха (Якутия) на период до 2030 г. / Под ред. Алексеева Г.Ф., Петрова Н.А. – Якутск; Иркутск: Медиа-холдинг «Якутия». –2010. – 328 с.
9. Clean energy for our future. URL:<http://www.turbowinds.com> (дата обращения: 20.12.2013).

Рецензенты:

Кобылин В.П., д.т.н., старший научный сотрудник, зав. отделом электроэнергетики ИФТПС СО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск;

Афанасьев Д.Е., д.т.н., ведущий научный сотрудник отдела электроэнергетики ИФТПС СО РАН Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова Сибирского отделения Российской академии наук, г. Якутск.